

AUTOMAÇÃO, EFICIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE EM TERMINAIS DE CONTÊINERES: DESAFIOS DA CONECTIVIDADE MULTIMODAL NO PORTO DE SANTOS.

Automation, efficiency, and sustainability in container terminals:
challenges of multimodal connectivity at the Port of Santos.

Germano Luiz Cardoso¹
Gisele S. Esteves C. Prado²
Jefferson Campos Lopes³
Milton Carvalho Lopez⁴

RESUMO

O crescimento da movimentação de cargas containerizadas no Brasil, especialmente no Porto de Santos, intensifica a necessidade de compreender como os terminais portuários articulam eficiência operacional, transformação tecnológica, sustentabilidade e conectividade multimodal. Nesse contexto, este estudo tem por objetivo analisar as relações entre essas dimensões à luz da logística portuária contemporânea. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, aplicada, de caráter exploratório-descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental de publicações institucionais, relatórios técnicos e documentos de órgãos reguladores divulgados entre 2022 e 2026. O corpus documental foi organizado nas categorias eficiência operacional, automação e digitalização, integração multimodal e sustentabilidade. A análise indica que iniciativas como sistemas de agendamento de caminhões, investimentos na integração ferroviária, eletrificação de equipamentos e digitalização dos processos apresentam potencial para ampliar a previsibilidade dos fluxos logísticos, otimizar a utilização da infraestrutura e reduzir impactos ambientais. Por outro lado, os documentos também evidenciam limitações relacionadas à capacidade dos acessos terrestres, à coordenação entre os agentes da cadeia logística, ao consumo energético e às implicações sociais da automação. Conclui-se que a competitividade dos terminais de contêineres depende da integração entre tecnologia, gestão logística, governança e estratégias de transição energética, superando abordagens centradas exclusivamente na expansão da infraestrutura física. O estudo contribui

¹ FATEF. coordtecnico@fortec.edu.br

² FATEC RUBENS LARA. gisele.prado@cps.sp.gov.br

³ FATEC RUBENS LARA e FATEF. jeffted@uol.com.br

⁴ UNIBR e FATEF. milton.lopez@fortec.edu.br

para sistematizar evidências documentais recentes sobre os desafios da modernização portuária brasileira sob a perspectiva da conectividade multimodal.

Palavras-chave: Terminais de contêineres; Porto de Santos; conectividade multimodal; automação portuária; sustentabilidade.

ABSTRACT

The growth of containerized cargo handling in Brazil, particularly at the Port of Santos, increases the need to understand how port terminals integrate operational efficiency, technological transformation, sustainability, and multimodal connectivity. This study analyzes the relationships among these dimensions through a qualitative, applied, exploratory-descriptive approach based on a literature review and documentary analysis of institutional publications, technical reports, and regulatory documents published between 2022 and 2026. The documentary corpus was organized into the categories of operational efficiency, automation and digitalization, multimodal integration, and sustainability. The analysis indicates that truck appointment systems, rail integration, equipment electrification, and process digitalization have the potential to improve logistics flow predictability, optimize infrastructure use, and reduce environmental impacts. The documents also reveal limitations related to landside access capacity, coordination among logistics stakeholders, energy consumption, and the social implications of automation. It is concluded that the competitiveness of container terminals depends on integrated strategies involving technology, logistics management, governance, and energy transition rather than solely on physical infrastructure expansion. The study contributes to the systematization of recent documentary evidence regarding the modernization of Brazilian ports from the perspective of multimodal connectivity.

Keywords: Container terminals; Port of Santos; multimodal connectivity; port automation; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A intensificação do comércio internacional nas últimas décadas consolidou o transporte marítimo como elemento estruturante das cadeias logísticas globais, atribuindo aos portos um papel cada vez mais estratégico na circulação de mercadorias. Nesse contexto, a containerização transformou profundamente as operações portuárias ao promover padronização, ganhos de escala e maior integração entre diferentes modais de transporte. Como consequência, os terminais de contêineres passaram a enfrentar o desafio de ampliar sua capacidade operacional sem perder eficiência, ao mesmo tempo em que respondem às crescentes exigências relacionadas à sustentabilidade, à inovação tecnológica e à conectividade multimodal.

No Brasil, esse cenário se manifesta de forma particularmente expressiva no Porto de Santos, principal complexo portuário da América Latina e responsável por parcela significativa da movimentação nacional de cargas containerizadas. Sua relevância econômica é acompanhada por elevada complexidade operacional, caracterizada pela intensa movimentação de caminhões, pela necessidade de integração com o sistema ferroviário e pela crescente demanda por operações mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Nesse contexto, compreender como os terminais vêm reorganizando seus processos torna-se relevante tanto para o aprimoramento da gestão portuária quanto para o fortalecimento da competitividade logística brasileira.

Embora a literatura especializada reconheça a importância da automação, da digitalização e da sustentabilidade para a modernização dos portos, ainda são relativamente escassos os estudos que analisam essas dimensões de forma integrada, considerando simultaneamente seus reflexos sobre a eficiência operacional e a conectividade entre os diferentes modais de transporte. Essa lacuna evidencia a necessidade de investigações que articulem aspectos tecnológicos, logísticos e ambientais em uma mesma perspectiva analítica.

Diante desse cenário, o presente estudo busca responder ao seguinte problema de pesquisa: **de que maneira os terminais de contêineres do Porto de Santos podem conciliar o aumento da produtividade com a redução dos impactos ambientais e o fortalecimento da conectividade multimodal?** A resposta a essa questão exige compreender como diferentes estratégias de gestão, investimentos em infraestrutura, incorporação de tecnologias e iniciativas voltadas à sustentabilidade vêm sendo implementados e discutidos no contexto portuário brasileiro.

A modernização das operações portuárias tem sido acompanhada pela incorporação de tecnologias de automação, sistemas digitais de gerenciamento de fluxo, mecanismos de agendamento de caminhões e iniciativas voltadas à eletrificação de equipamentos, à eficiência energética e à gestão ambiental. Tais medidas vêm sendo apresentadas na literatura e nos documentos institucionais como instrumentos capazes de otimizar a utilização da infraestrutura existente, ampliar a previsibilidade operacional e contribuir para a redução dos impactos ambientais. Entretanto, sua efetividade depende da integração entre infraestrutura, governança, planejamento logístico e articulação entre os diferentes agentes envolvidos nas operações portuárias.

Nesse contexto, o objetivo geral desta pesquisa consiste em analisar a relação entre eficiência operacional, automação e sustentabilidade nos terminais de contêineres do Porto de Santos, considerando seu papel na integração logística e na conectividade multimodal. Como objetivos específicos, busca-se: analisar indicadores relacionados à eficiência operacional; examinar a contribuição dos sistemas de agendamento de caminhões para a organização dos fluxos rodoviários; discutir a integração entre os modais rodoviário e ferroviário; e identificar práticas voltadas à eficiência energética, à redução de emissões e à gestão ambiental adotadas pelos operadores portuários.

Quanto aos procedimentos metodológicos, desenvolveu-se uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza aplicada e caráter exploratório-descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental. O estudo baseou-se em literatura científica, relatórios institucionais, documentos de órgãos reguladores e informações disponibilizadas por operadores portuários, analisados de forma interpretativa para compreender as relações entre eficiência operacional, automação, conectividade multimodal e sustentabilidade.

Além de contribuir para o debate sobre a modernização da logística portuária brasileira, esta pesquisa procura sistematizar evidências documentais recentes acerca dos desafios enfrentados pelos terminais de contêineres diante das transformações tecnológicas, operacionais e ambientais que caracterizam o setor. Ao integrar essas diferentes dimensões, pretende oferecer subsídios para futuras pesquisas e para a formulação de estratégias voltadas ao fortalecimento da competitividade e da sustentabilidade do Porto de Santos.

Este artigo está organizado em cinco seções. Após esta introdução, apresenta-se a fundamentação teórica, seguida dos procedimentos metodológicos. Na sequência, são discutidos os resultados obtidos a partir da análise documental dos terminais de contêineres do Porto de Santos. Por fim, apresentam-se as considerações finais, destacando as principais contribuições do estudo, suas limitações e possibilidades para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A análise dos desafios enfrentados pelos terminais de contêineres no Porto de Santos requer a articulação de diferentes referenciais teóricos que permitam compreender a complexidade das operações portuárias contemporâneas. Entre esses referenciais, destacam-se a logística portuária, a eficiência operacional, a automação e a sustentabilidade, dimensões que, embora frequentemente analisadas de forma isolada, apresentam forte interdependência na dinâmica dos sistemas logísticos. A competitividade dos portos depende cada vez mais da capacidade de integrar infraestrutura, tecnologia, gestão e conectividade territorial, fatores que influenciam diretamente o desempenho das cadeias de suprimentos.

Nesse contexto, a evolução da containerização, a digitalização das operações e a crescente incorporação de práticas sustentáveis vêm redefinindo o papel dos portos na economia global. Os terminais de contêineres deixaram de atuar exclusivamente como pontos de transbordo de cargas para desempenhar funções estratégicas na coordenação dos fluxos logísticos nacionais e internacionais, assumindo papel relevante na integração entre os diferentes modais de transporte e na competitividade do comércio exterior (Notteboom; Rodrigue, 2005; Rodrigue, 2020).

A compreensão dessas transformações exige uma abordagem integrada, capaz de relacionar os fatores que condicionam a eficiência operacional, os impactos da inovação tecnológica e os desafios decorrentes da incorporação da sustentabilidade às operações portuárias. Sob essa perspectiva, os referenciais apresentados nas seções seguintes constituem o suporte teórico para a análise desenvolvida neste estudo.

2.1 Logística portuária, containerização e integração multimodal

A intensificação do comércio internacional consolidou a containerização como um dos principais marcos da transformação da logística contemporânea. A adoção do contêiner padronizado revolucionou o transporte de cargas ao reduzir custos operacionais, diminuir o tempo de movimentação, aumentar a segurança das mercadorias e facilitar a integração entre diferentes modais de transporte. Essas mudanças ampliaram a previsibilidade das operações logísticas e contribuíram para o desenvolvimento de cadeias de suprimentos mais eficientes e integradas em escala global (Notteboom; Rodrigue, 2005).

Paralelamente à expansão da containerização, a função econômica dos portos também passou por profundas transformações. Tradicionalmente concebidos como espaços destinados à transferência de cargas entre o transporte marítimo e terrestre, os portos passaram a atuar como plataformas logísticas integradas, responsáveis pela coordenação dos fluxos de mercadorias, informações e serviços ao longo das cadeias produtivas. Nessa perspectiva, o desempenho portuário deixou de depender exclusivamente da capacidade física instalada e passou a refletir a qualidade da articulação entre operadores, transportadores, órgãos reguladores e demais agentes envolvidos na cadeia logística (Notteboom; Rodrigue, 2005).

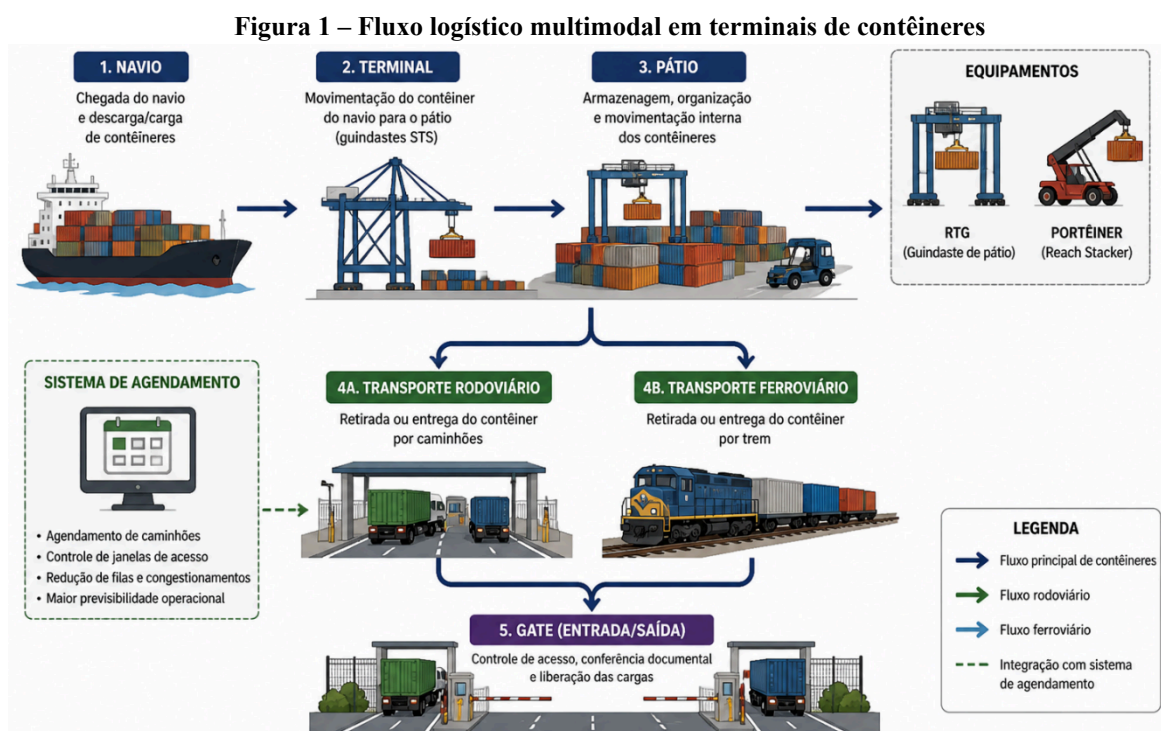
Nesse processo, ganha relevância o conceito de *hinterland*, entendido como a área terrestre de influência econômica atendida pelo porto e responsável pela geração e recepção dos fluxos de carga. Complementarmente, o conceito de *foreland* refere-se às conexões marítimas estabelecidas com outros portos e mercados internacionais, evidenciando que a competitividade portuária depende tanto da eficiência das ligações terrestres quanto da inserção do porto nas redes globais de transporte marítimo. Assim, a eficiência logística resulta da capacidade de integrar essas duas dimensões em um sistema articulado de circulação de mercadorias (Rodrigue, 2020).

A conectividade multimodal constitui, portanto, um dos principais fatores de competitividade da logística portuária. A integração eficiente entre os modais marítimo, rodoviário e ferroviário favorece maior fluidez dos fluxos logísticos, reduz tempos de espera, amplia a confiabilidade das operações e contribui para a diminuição dos custos de transporte. Em contrapartida, limitações na infraestrutura ou na coordenação entre os diferentes modais tendem a gerar gargalos que comprometem o desempenho de toda a cadeia logística, mesmo quando os terminais apresentam elevados níveis de produtividade operacional (Notteboom; Rodrigue, 2005).

No contexto brasileiro, essa discussão assume importância ainda maior em razão da predominância histórica do transporte rodoviário na movimentação de cargas. A elevada dependência desse modal aumenta a vulnerabilidade do sistema logístico diante de congestionamentos, limitações de infraestrutura e oscilações operacionais, reforçando a necessidade de ampliar a participação do transporte ferroviário e de fortalecer a integração entre os diferentes modais. No Porto de Santos, principal complexo portuário da América Latina, a eficiência logística depende não apenas da capacidade operacional dos terminais, mas também da qualidade dos acessos terrestres, da coordenação entre os diversos agentes da cadeia logística e da articulação entre infraestrutura portuária e corredores de transporte (APS, 2025).

Sob essa perspectiva, a competitividade portuária deve ser compreendida como resultado da interação entre infraestrutura física, conectividade territorial, capacidade de coordenação logística e integração multimodal. A eficiência operacional dos terminais representa apenas um dos componentes desse sistema, cuja efetividade depende da articulação entre porto, cidade, redes de transporte e cadeias produtivas, elementos que condicionam o desempenho do comércio exterior e o desenvolvimento econômico regional.

A dinâmica dessa integração pode ser observada na Figura 1, que representa, de forma simplificada, os principais fluxos logísticos entre os diferentes modais de transporte e os terminais de contêineres.



Fonte: Elaborada pelos autores com apoio do ChatGPT (2026).

2.2 Eficiência operacional e indicadores de desempenho em terminais de contêineres

A eficiência operacional constitui um dos principais determinantes da competitividade dos terminais de contêineres e figura entre os critérios mais empregados para avaliar o desempenho portuário em âmbito internacional. Em um ambiente caracterizado pelo crescimento contínuo da movimentação de cargas, pela intensificação da concorrência entre portos e pela crescente exigência de previsibilidade logística, a capacidade de operar com rapidez, confiabilidade e racionalidade na utilização dos recursos tornou-se fator estratégico para a inserção dos terminais nas cadeias globais de suprimentos.

Embora frequentemente empregados como sinônimos, os conceitos de produtividade, desempenho e eficiência apresentam significados distintos. A produtividade refere-se à relação entre os recursos empregados e os resultados obtidos, enquanto o desempenho corresponde ao grau de alcance dos objetivos operacionais estabelecidos. A eficiência, por sua vez, representa a capacidade de alcançar esses resultados utilizando adequadamente os recursos disponíveis, minimizando desperdícios e otimizando processos. Nos terminais de contêineres, essa avaliação tradicionalmente considera indicadores como tempo de atendimento das embarcações, movimentação de contêineres por hora, tempo de permanência das cargas, utilização da capacidade dos pátios e produtividade dos equipamentos de movimentação (World Bank Group, 2024).

Entretanto, a literatura especializada tem ampliado a compreensão da eficiência operacional ao reconhecer que o desempenho dos terminais não depende exclusivamente de indicadores quantitativos. Aspectos como confiabilidade das operações, previsibilidade dos fluxos logísticos, qualidade dos serviços prestados, integração entre os diferentes agentes da cadeia de suprimentos e capacidade de adaptação às transformações tecnológicas passaram a compor uma visão mais abrangente da gestão portuária. Sob essa perspectiva, eficiência deixa de representar apenas rapidez na movimentação de cargas e passa a refletir a capacidade de coordenar processos complexos de forma integrada, resiliente e orientada à continuidade das operações (World Bank Group, 2024).

Essa abordagem encontra respaldo no *Container Port Performance Index* (CPPI), elaborado pelo World Bank Group em parceria com a S&P Global Market Intelligence. O índice compara o desempenho dos principais portos de contêineres do mundo a partir de indicadores relacionados, sobretudo, ao tempo de permanência das embarcações durante as operações portuárias. Embora utilize esse parâmetro como variável central de avaliação, o CPPI permite inferir aspectos associados à organização operacional, à utilização da infraestrutura e à capacidade de coordenação dos processos logísticos. Dessa forma, menores tempos de operação tendem a refletir maior eficiência na gestão dos fluxos portuários, ainda que o índice não avalie diretamente todos os fatores que influenciam a competitividade dos terminais (World Bank Group, 2024).

Nesse contexto, os instrumentos de gestão operacional assumem papel decisivo na coordenação das atividades portuárias. Sistemas de agendamento de caminhões, planejamento dinâmico dos pátios, gerenciamento eletrônico de filas, monitoramento em tempo real e plataformas integradas de gestão contribuem para reduzir a variabilidade na chegada de veículos, minimizar congestionamentos, otimizar a utilização da infraestrutura e melhorar a sincronização entre os diferentes agentes envolvidos nas operações. Essas ferramentas favorecem maior previsibilidade dos fluxos logísticos e ampliam a capacidade de resposta dos terminais diante das oscilações da demanda (OECD, 2021).

A digitalização dos processos reforça essa transformação ao ampliar significativamente a disponibilidade de informações para a tomada de decisão. A

incorporação de sensores, sistemas inteligentes de gerenciamento, plataformas digitais e tecnologias de monitoramento contínuo permite acompanhar o desempenho operacional em tempo real, identificar gargalos, reduzir desperdícios e apoiar ações de melhoria contínua. Nesse cenário, a eficiência operacional deixa de depender exclusivamente da expansão da infraestrutura física e passa a resultar, cada vez mais, da capacidade de integrar tecnologia, informação e gestão em ambientes logísticos caracterizados por elevada complexidade e intensa interdependência entre seus diferentes componentes (OECD, 2021; World Bank Group, 2024).

Em síntese, a literatura contemporânea evidencia que a eficiência operacional dos terminais de contêineres não pode ser reduzida à velocidade de movimentação das cargas ou ao desempenho isolado dos equipamentos. Ela resulta da articulação entre infraestrutura, tecnologia, gestão, coordenação logística e capacidade de adaptação às constantes transformações do comércio internacional, constituindo um dos principais fatores para a competitividade dos portos na atualidade.

2.3 Automação portuária e transformação tecnológica

A automação portuária constitui uma das mais significativas transformações da logística marítima contemporânea, impulsionada pela necessidade de ampliar a produtividade, aumentar a confiabilidade das operações e atender ao crescimento contínuo da movimentação mundial de contêineres. A crescente complexidade das cadeias logísticas globais exige que os terminais operem com elevados níveis de sincronização, previsibilidade e capacidade de resposta, tornando a incorporação de tecnologias digitais um elemento estratégico para a competitividade portuária (OECD, 2021).

Esse processo caracteriza-se pela integração de diferentes recursos tecnológicos, entre os quais se destacam guindastes automatizados, veículos autônomos, sistemas de gerenciamento de terminais (*Terminal Operating Systems* – TOS), sensores, Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT), inteligência artificial e plataformas digitais capazes de compartilhar informações em tempo real entre operadores, transportadores, armadores e demais agentes da cadeia logística. A utilização integrada dessas tecnologias contribui para reduzir falhas operacionais, aumentar a precisão das atividades, otimizar a utilização dos equipamentos e apoiar a tomada de decisão baseada em dados, favorecendo maior eficiência operacional (OECD, 2021).

Entretanto, a adoção dessas soluções tecnológicas ocorre de forma desigual entre os portos. O grau de automação depende de fatores como disponibilidade de investimentos, maturidade da infraestrutura digital, capacidade institucional, características operacionais dos terminais e políticas públicas voltadas à inovação. Dessa forma, os benefícios observados em grandes complexos portuários internacionais não podem ser automaticamente generalizados para todos os contextos, especialmente em países onde persistem limitações estruturais relacionadas à infraestrutura logística, à conectividade e à disponibilidade de recursos financeiros.

Segundo Notteboom e Rodrigue (2005), a inovação tecnológica tornou-se um dos principais fatores de diferenciação competitiva entre os portos, uma vez que o desempenho operacional passou a depender menos da simples expansão da infraestrutura física e mais da capacidade de integrar processos, informações e tecnologias de gestão. Nessa perspectiva, a digitalização deixa de representar apenas um instrumento de apoio às operações para assumir papel estratégico na coordenação dos fluxos logísticos e na gestão integrada dos terminais.

A transformação tecnológica, contudo, não se restringe à incorporação de equipamentos ou sistemas informatizados. Sua implementação exige investimentos expressivos, revisão dos processos organizacionais, adaptação dos modelos de gestão e qualificação permanente da força de trabalho. Ao mesmo tempo em que reduz atividades repetitivas e potencializa ganhos de produtividade, a automação modifica o perfil das ocupações portuárias, ampliando a demanda por profissionais especializados na operação, manutenção, análise de dados e gerenciamento de sistemas automatizados. Assim, os impactos da inovação tecnológica ultrapassam a dimensão operacional e alcançam aspectos econômicos, organizacionais e sociais (OECD, 2021).

Além disso, a crescente dependência de sistemas digitais amplia a necessidade de investimentos em segurança cibernética, interoperabilidade entre plataformas e governança da informação. Em ambientes altamente automatizados, falhas de comunicação, indisponibilidade dos sistemas ou ataques cibernéticos podem comprometer significativamente a continuidade das operações logísticas, evidenciando que a transformação digital também introduz novos fatores de risco que precisam ser incorporados ao planejamento estratégico dos terminais.

Sob essa perspectiva, a automação portuária deve ser compreendida como um processo multidimensional, cujos resultados dependem da articulação entre inovação tecnológica, planejamento estratégico, infraestrutura adequada, qualificação profissional e capacidade institucional. Mais do que representar a substituição de processos manuais por sistemas automatizados, a transformação tecnológica redefine a forma como os terminais planejam, coordenam e executam suas operações, tornando-se um dos principais pilares da logística portuária contemporânea e da competitividade dos portos inseridos nas cadeias globais de suprimentos.

2.4 Sustentabilidade crítica e operações portuárias

A incorporação da sustentabilidade às operações portuárias tornou-se um dos principais desafios da logística contemporânea em razão da crescente pressão por maior eficiência ambiental, redução das emissões de gases de efeito estufa e adoção de modelos de desenvolvimento compatíveis com os princípios da sustentabilidade. Em função da elevada intensidade energética das atividades portuárias e da concentração de fluxos logísticos em regiões costeiras e estuarinas, os portos passaram a ser demandados não apenas pela ampliação de sua capacidade operacional, mas também pela implementação de estratégias capazes de minimizar impactos ambientais e promover maior equilíbrio entre desenvolvimento econômico, preservação ambiental e responsabilidade social.

No âmbito da gestão empresarial, a sustentabilidade costuma ser associada à adoção de tecnologias mais eficientes, ao uso racional de recursos naturais, à redução das emissões atmosféricas, à gestão de resíduos e ao cumprimento da legislação ambiental. Essa perspectiva foi amplamente difundida pelo conceito do *Triple Bottom Line*, proposto por Elkington (1997), segundo o qual o desempenho das organizações deve ser avaliado de forma integrada a partir das dimensões econômica, ambiental e social. Embora esse modelo tenha representado importante avanço ao ampliar os critérios tradicionais de avaliação do desempenho organizacional, sua aplicação frequentemente concentra-se na mitigação dos impactos decorrentes das atividades produtivas, sem necessariamente questionar os modelos de desenvolvimento que lhes dão origem.

Em uma perspectiva mais ampla, a sustentabilidade crítica propõe analisar os problemas ambientais a partir das relações entre desenvolvimento econômico, distribuição dos

riscos ambientais e justiça socioambiental. Para Acsehrad, Herculano e Pádua (2004), os impactos ambientais não se distribuem de maneira homogênea no território, mas tendem a concentrar-se em determinados grupos sociais e regiões, refletindo desigualdades econômicas, políticas e espaciais. Nessa abordagem, a sustentabilidade deixa de constituir apenas um conjunto de práticas de gestão ambiental para incorporar questões relacionadas ao uso do território, aos conflitos socioambientais, à governança e à distribuição dos benefícios e dos ônus decorrentes do desenvolvimento.

Essa perspectiva adquire especial relevância no contexto portuário. Grande parte dos terminais de contêineres encontra-se instalada em áreas ambientalmente sensíveis e próximas a centros urbanos densamente povoados, onde a intensificação das operações pode produzir efeitos que extrapolam os limites físicos do porto. Entre esses impactos destacam-se o aumento das emissões atmosféricas, a intensificação do tráfego de veículos pesados, a poluição sonora, a pressão sobre ecossistemas costeiros e estuarinos e os conflitos relacionados ao uso e à ocupação do solo. Assim, a expansão da atividade portuária demanda uma análise que considere simultaneamente seus benefícios econômicos e seus efeitos ambientais e sociais.

Sob essa ótica, a sustentabilidade dos terminais de contêineres não pode ser avaliada exclusivamente por indicadores ambientais ou pela adoção de tecnologias menos poluentes. Sua efetividade depende da capacidade de conciliar eficiência logística, preservação ambiental, desenvolvimento econômico, responsabilidade social e governança territorial. Isso significa reconhecer que ganhos de eficiência operacional ou de desempenho ambiental não eliminam, por si sós, as desigualdades associadas à expansão da infraestrutura logística, tornando necessária uma avaliação integrada das diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável.

Dessa forma, a sustentabilidade assume caráter estratégico na gestão portuária contemporânea, deixando de representar apenas um diferencial competitivo para constituir um elemento essencial do planejamento logístico e do desenvolvimento regional. Sob a perspectiva da sustentabilidade crítica, os portos passam a ser compreendidos como agentes que influenciam não apenas os fluxos econômicos, mas também a organização do território, a qualidade ambiental e as condições de vida das populações diretamente afetadas por suas atividades, ampliando o escopo das decisões relacionadas à modernização e à expansão das operações portuárias.

2.5 Eficiência, automação e sustentabilidade: uma análise integrada

A literatura contemporânea evidencia que eficiência operacional, automação e sustentabilidade constituem dimensões indissociáveis da competitividade portuária. A capacidade dos terminais de contêineres de responder às exigências do comércio internacional depende da articulação entre infraestrutura, inovação tecnológica, conectividade logística, governança e responsabilidade socioambiental. Nessa perspectiva, o desempenho operacional deixa de ser compreendido como resultado de fatores isolados e passa a refletir a interação entre componentes técnicos, organizacionais, econômicos, ambientais e institucionais que estruturam a logística portuária contemporânea (Notteboom; Rodrigue, 2005).

A automação representa um dos principais instrumentos de modernização dos terminais ao possibilitar maior precisão das operações, melhor utilização dos equipamentos, otimização dos fluxos logísticos e ampliação da capacidade de processamento das cargas. Sistemas inteligentes de gestão, plataformas digitais e equipamentos automatizados contribuem para aumentar a produtividade e reduzir desperdícios, favorecendo uma utilização

mais eficiente da infraestrutura disponível. Contudo, os benefícios proporcionados pela transformação tecnológica não eliminam os desafios associados ao elevado consumo energético, à necessidade de investimentos contínuos, à dependência crescente de sistemas digitais e às mudanças nas relações de trabalho decorrentes da automação (OECD, 2021).

Da mesma forma, a sustentabilidade não pode ser compreendida como consequência automática da incorporação de tecnologias mais avançadas. Embora a inovação tecnológica possa contribuir para a redução das emissões, para o uso mais eficiente dos recursos e para a melhoria do desempenho ambiental, tais avanços não garantem, por si só, a mitigação dos conflitos socioambientais ou uma distribuição mais equilibrada dos impactos decorrentes da expansão da atividade portuária. Conforme argumentam Acselrad, Herculano e Pádua (2004), a avaliação da sustentabilidade deve considerar simultaneamente os aspectos econômicos, ambientais e sociais, reconhecendo que os benefícios do desenvolvimento e seus impactos nem sempre são compartilhados de forma equitativa entre os diferentes territórios e grupos sociais.

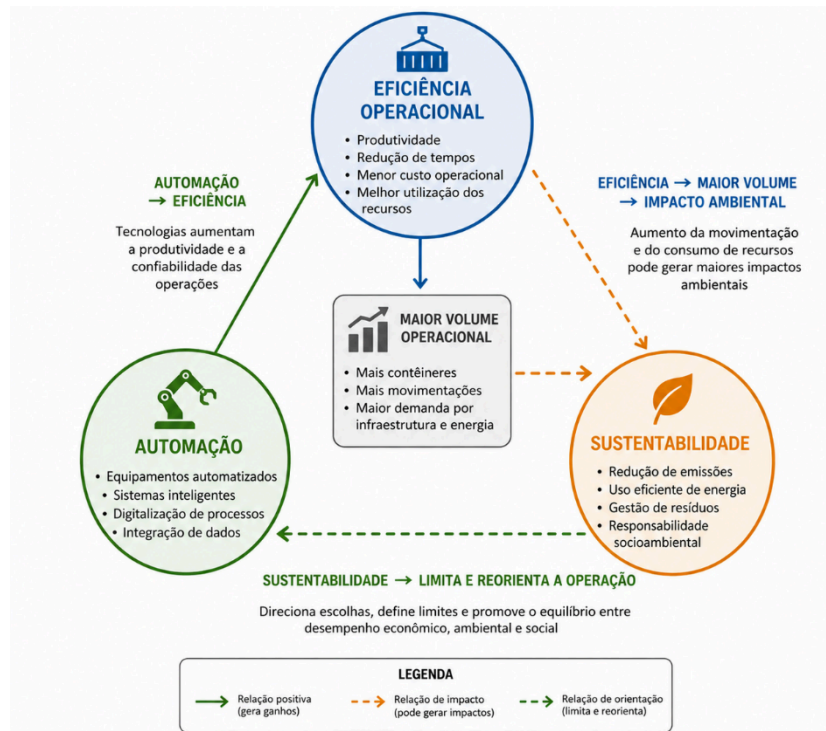
Sob essa perspectiva, a competitividade dos terminais de contêineres depende da capacidade de equilibrar objetivos frequentemente tensionados, como aumento da produtividade, redução de custos operacionais, inovação tecnológica, preservação ambiental, segurança das operações e responsabilidade social. Esse equilíbrio exige uma gestão integrada, capaz de articular investimentos em infraestrutura, digitalização dos processos, planejamento logístico, qualificação profissional e políticas de sustentabilidade em uma estratégia voltada para a melhoria contínua do desempenho portuário.

Essa compreensão integrada aproxima-se da concepção sistêmica da logística portuária, segundo a qual o desempenho dos terminais resulta da interação entre múltiplos elementos que operam de forma interdependente. Assim, ganhos de eficiência obtidos em uma etapa da cadeia logística podem ser limitados por gargalos existentes em outros componentes do sistema, evidenciando que a competitividade portuária depende da coordenação entre infraestrutura, tecnologia, conectividade multimodal, governança e gestão dos fluxos logísticos.

É com base nesse referencial teórico que se desenvolve a análise dos terminais de contêineres do Porto de Santos apresentada neste estudo. A investigação procura compreender de que maneira eficiência operacional, automação e sustentabilidade se articulam nas estratégias adotadas pelos operadores portuários, identificando convergências, limitações e desafios relacionados à modernização da logística portuária brasileira.

Em síntese, a fundamentação teórica evidencia que a eficiência operacional, a automação e a sustentabilidade não constituem objetivos independentes, mas dimensões complementares da competitividade logística contemporânea. Essa perspectiva integrada orienta a análise documental apresentada nas seções seguintes e fornece o suporte conceitual para a interpretação dos resultados obtidos.

Figura 2 – Relação entre eficiência operacional, automação e sustentabilidade nos terminais de contêineres



Fonte: Elaborada pelos autores com base em Notteboom e Rodrigue (2005), OECD (2021), Elkington (1997), Acelrad, Herculano e Pádua (2004) e Rodrigue (2020).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem qualitativa e natureza exploratório-descritiva, tendo como objetivo analisar a relação entre eficiência operacional, automação e sustentabilidade nos terminais de contêineres do Porto de Santos, considerando sua inserção na conectividade multimodal. A escolha dessa abordagem fundamenta-se na necessidade de compreender um fenômeno complexo, marcado pela interação entre fatores tecnológicos, operacionais, logísticos e socioambientais, cuja análise exige interpretação contextualizada e integrada das informações disponíveis.

O delineamento metodológico foi desenvolvido em três etapas complementares. A primeira consistiu na construção do referencial teórico por meio de revisão bibliográfica, contemplando livros, artigos científicos, capítulos de livros e documentos técnicos relacionados à logística portuária, à automação, à eficiência operacional, à conectividade multimodal e à sustentabilidade. Para tanto, foram realizadas consultas em bases de dados científicas nacionais e internacionais, como Scopus, Web of Science, Google Scholar e SciELO, utilizando descritores em português e inglês compatíveis com os objetivos da pesquisa. Também foram priorizadas obras consideradas referenciais na área da logística portuária e do transporte marítimo, em razão de sua relevância para a consolidação do arcabouço teórico do estudo.

Na segunda etapa, realizou-se pesquisa documental baseada em fontes secundárias de natureza institucional. Foram analisados relatórios técnicos, estatísticos e de sustentabilidade produzidos pela Autoridade Portuária de Santos (APS), Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), Santos Brasil, Brasil Terminal Portuário (BTP), Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), World Bank Group e Portonave. Embora esta última não integre o universo empírico investigado, seus documentos foram utilizados como referência complementar para contextualizar práticas relacionadas à

automação e à gestão portuária. A seleção das fontes considerou sua credibilidade institucional, disponibilidade pública e aderência aos objetivos da pesquisa.

O corpus documental concentrou-se, preferencialmente, em publicações divulgadas entre 2022 e 2026, período considerado representativo das transformações mais recentes da logística portuária brasileira. Foram examinadas informações referentes à movimentação de contêineres (TEUs), indicadores de produtividade, utilização da infraestrutura, integração entre os modais rodoviário e ferroviário, processos de automação e digitalização, além de iniciativas relacionadas à eficiência energética, à redução de emissões atmosféricas e à gestão ambiental dos terminais.

Na terceira etapa, o material coletado foi submetido à análise qualitativa por meio da técnica de análise de conteúdo, conforme proposta por Bardin (2016). O processo compreendeu as etapas de pré-análise, organização do corpus documental, categorização temática e interpretação dos dados, buscando identificar padrões, convergências e relações entre as evidências documentais e o referencial teórico. As categorias analíticas foram definidas a partir dos objetivos da pesquisa, compreendendo: **eficiência operacional**, **automação** e **sustentabilidade**. A utilização dessas categorias permitiu examinar de forma integrada às diferentes dimensões que caracterizam a modernização dos terminais de contêineres do Porto de Santos.

O recorte empírico concentrou-se nos principais terminais de contêineres em operação no Porto de Santos, considerando aspectos relacionados à movimentação de cargas, automação dos processos operacionais, sistemas de agendamento eletrônico de caminhões, integração ferroviária e adoção de práticas ambientais. A escolha desse universo de análise justifica-se pela relevância do Porto de Santos para o comércio exterior brasileiro e pela diversidade de soluções tecnológicas adotadas por seus operadores, características que o tornam um ambiente representativo para o estudo das transformações da logística portuária contemporânea.

Como toda pesquisa baseada predominantemente em fontes secundárias, este estudo apresenta limitações inerentes à disponibilidade e à natureza dos dados analisados. Os documentos utilizados foram produzidos por diferentes instituições, que adotam metodologias próprias para coleta, sistematização e divulgação das informações, podendo existir diferenças nos critérios empregados e no nível de detalhamento dos dados operacionais. Entretanto, essas limitações não comprometem os objetivos da investigação, uma vez que a proposta consiste em interpretar, de forma integrada, as relações entre eficiência operacional, automação e sustentabilidade, e não em realizar inferências estatísticas ou estabelecer relações de causalidade.

Os procedimentos metodológicos adotados mostraram-se compatíveis com os objetivos da pesquisa, permitindo integrar contribuições da literatura especializada às evidências documentais disponíveis e construir uma análise qualitativa acerca dos desafios e das perspectivas dos terminais de contêineres do Porto de Santos diante das transformações tecnológicas, logísticas e ambientais que caracterizam a atividade portuária contemporânea.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise documental dos terminais de contêineres do Porto de Santos evidencia que a expansão da movimentação de cargas tem sido acompanhada por transformações significativas na organização das operações portuárias, na incorporação de tecnologias digitais e na adoção de iniciativas voltadas à sustentabilidade. As evidências analisadas indicam que

essas dimensões não atuam de forma isolada, mas compõem um conjunto de estratégias voltadas ao fortalecimento da competitividade logística do principal complexo portuário brasileiro. A interpretação dos documentos institucionais e da literatura especializada permite compreender como eficiência operacional, automação e sustentabilidade vêm sendo articuladas nas práticas de gestão dos terminais, bem como identificar desafios ainda presentes no processo de modernização portuária.

4.1 Movimentação de TEUs e produtividade operacional

O Porto de Santos mantém posição de destaque no comércio exterior brasileiro ao concentrar parcela expressiva da movimentação nacional de contêineres e exercer papel estratégico na integração das cadeias logísticas nacionais e internacionais. Dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários indicam que a movimentação brasileira ultrapassou 15 milhões de TEUs em 2025, refletindo a consolidação da containerização como principal forma de unitização das cargas destinadas ao comércio exterior (ANTAQ, 2025). Nesse contexto, Santos reafirma sua condição de principal complexo portuário do país, concentrando operações de importação, exportação e cabotagem.

O crescimento da movimentação de contêineres representa, contudo, mais do que um aumento quantitativo das operações. A ampliação dos fluxos logísticos impõe novos desafios relacionados à coordenação entre infraestrutura, equipamentos, sistemas de informação e acessos terrestres. Dessa forma, a capacidade competitiva dos terminais deixa de depender exclusivamente da expansão física de suas instalações e passa a estar associada à eficiência da gestão operacional e à integração entre os diferentes componentes da cadeia logística. Essa interpretação converge com a perspectiva apresentada por Notteboom e Rodrigue (2005), segundo a qual o desempenho portuário resulta da articulação entre porto, *hinterland*, infraestrutura de transporte e governança logística.

A análise dos documentos institucionais evidencia que os ganhos de produtividade observados nos terminais do Porto de Santos estão associados à modernização dos processos operacionais, à incorporação de tecnologias digitais e à reorganização dos fluxos logísticos. Entre as iniciativas identificadas destacam-se a utilização de sistemas informatizados de gerenciamento das operações, a ampliação da automação em determinadas atividades e o aperfeiçoamento dos mecanismos de controle dos acessos terrestres. Embora os documentos indiquem melhorias na eficiência operacional, os resultados devem ser interpretados como evidências de um processo contínuo de modernização, e não como consequência exclusiva de uma única tecnologia ou investimento.

Essa interpretação é compatível com o *Container Port Performance Index* (CPPI), elaborado pelo World Bank Group (2024), que utiliza o tempo de permanência das embarcações como indicador da eficiência operacional dos portos. Embora o índice não mensure diretamente todos os componentes da gestão logística, seus resultados reforçam a importância da coordenação dos processos, da utilização eficiente da infraestrutura e da redução dos tempos improdutivos para o aumento da competitividade portuária. Assim, a produtividade passa a representar não apenas velocidade de movimentação, mas também regularidade operacional, previsibilidade e capacidade de integração entre os diferentes agentes envolvidos nas operações.

No caso do Porto de Santos, os documentos analisados sugerem que os avanços observados decorrem da combinação entre investimentos em infraestrutura, digitalização dos processos e aperfeiçoamento das práticas de gestão operacional. Ao mesmo tempo, as evidências indicam que o crescimento contínuo da movimentação de TEUs amplia a pressão

sobre a infraestrutura existente, especialmente nos acessos terrestres, reforçando a necessidade de ampliar a integração entre os modais rodoviário e ferroviário e de fortalecer mecanismos de coordenação logística capazes de reduzir gargalos operacionais.

Os resultados também evidenciam que o aumento da produtividade, isoladamente, não garante maior competitividade do sistema portuário. Conforme discutido na fundamentação teórica, a eficiência operacional depende da interação entre infraestrutura, conectividade multimodal, inovação tecnológica e capacidade de gestão. Dessa forma, a evolução dos indicadores operacionais deve ser interpretada como parte de um processo mais amplo de transformação da logística portuária, no qual fatores tecnológicos, organizacionais e institucionais atuam de maneira complementar.

A síntese dos principais indicadores analisados nesta pesquisa é apresentada na Tabela 1, relacionando cada variável aos seus impactos sobre a eficiência operacional e sobre a dimensão ambiental dos terminais de contêineres.

Tabela 1 – Relação entre indicadores operacionais e suas contribuições para a eficiência logística e a sustentabilidade

Indicador	Relevância para a eficiência operacional	Contribuição para a sustentabilidade
Movimentação de contêineres (TEUs)	Indica a capacidade operacional e o volume de cargas movimentadas	Impacto indireto, condicionado à eficiência dos processos
Tempo de permanência da carga	Reduz custos operacionais, aumenta o giro da infraestrutura e melhora a fluidez logística	Redução indireta das emissões associadas ao tempo de espera
Sistema de agendamento de caminhões	Organiza os acessos terrestres, reduz filas e melhora a previsibilidade operacional	Diminuição do tempo de marcha lenta e das emissões veiculares
Participação do modal ferroviário	Amplia a integração multimodal e reduz a dependência do transporte rodoviário	Menor emissão de poluentes por tonelada transportada
Eletrificação de equipamentos	Melhora a eficiência energética e reduz custos operacionais de longo prazo	Redução das emissões de gases de efeito estufa durante a operação
Gestão de resíduos	Aperfeiçoa os processos internos e o atendimento às normas ambientais	Redução dos impactos ambientais e fortalecimento da gestão sustentável

Fonte: Elaborada pelos autores com base em ANTAQ (2025), APS (2025), World Bank Group (2024) e OECD (2021).

4.2 Agendamento de caminhões e organização do fluxo rodoviário

O transporte rodoviário permanece como principal modalidade de acesso aos terminais de contêineres do Porto de Santos, concentrando a maior parte da movimentação terrestre das cargas destinadas à exportação e à importação. Embora essa predominância proporcione elevada flexibilidade operacional e ampla capilaridade na distribuição das mercadorias, também amplia a pressão sobre a infraestrutura viária, favorecendo a formação de congestionamentos, o aumento do tempo de espera dos veículos e a elevação dos custos logísticos. Em áreas urbanas densamente ocupadas, como a região portuária de Santos, esses

fatores também intensificam impactos relacionados à mobilidade urbana, às emissões atmosféricas e à qualidade de vida da população.

Nesse contexto, os sistemas de agendamento eletrônico de caminhões consolidaram-se como um dos principais instrumentos de gestão dos acessos terrestres aos terminais. Ao distribuir as janelas de atendimento ao longo do dia, esses sistemas buscam reduzir a concentração de veículos em determinados períodos, melhorar a utilização da infraestrutura disponível e aumentar a previsibilidade das operações logísticas. De acordo com a SOPESP (2024), o agendamento eletrônico tem contribuído para organizar o fluxo de caminhões, reduzir filas e favorecer maior sincronização entre transportadoras, operadores logísticos e terminais portuários.

A análise dos documentos institucionais indica que o agendamento eletrônico ultrapassa a função de simples controle de acesso e passa a desempenhar papel relevante na coordenação dos fluxos logísticos. Sua adoção favorece maior integração entre os diferentes agentes envolvidos nas operações portuárias, permitindo melhor planejamento das atividades de recebimento, armazenagem e movimentação de contêineres. Essa interpretação está alinhada à perspectiva de Notteboom e Rodrigue (2005), segundo a qual a competitividade portuária depende não apenas da eficiência dos terminais, mas também da capacidade de coordenação entre os diversos atores que compõem a cadeia logística.

Os documentos analisados também sugerem que a maior previsibilidade proporcionada pelo agendamento contribui para reduzir períodos de espera e otimizar a utilização da infraestrutura existente. Ainda que a presente pesquisa não tenha mensurado diretamente esses resultados, as evidências documentais indicam que a organização dos fluxos rodoviários representa importante estratégia para minimizar gargalos operacionais, sobretudo em períodos de maior movimentação de cargas.

Sob a perspectiva ambiental, a melhoria na gestão dos acessos terrestres apresenta potencial para reduzir o tempo de permanência dos veículos em marcha lenta, contribuindo para a diminuição do consumo de combustíveis e das emissões atmosféricas associadas ao transporte rodoviário (OECD, 2021). Entretanto, tais benefícios dependem da articulação do agendamento com outras medidas de planejamento logístico, como a ampliação da capacidade viária, a integração com o transporte ferroviário e a utilização de sistemas digitais de monitoramento e controle dos fluxos operacionais.

Os resultados reforçam, portanto, que o gerenciamento inteligente dos acessos rodoviários constitui um componente estratégico da logística portuária contemporânea. Mais do que organizar a chegada de caminhões aos terminais, o agendamento eletrônico integra um conjunto de mecanismos de governança logística voltados à melhoria da eficiência operacional, ao aumento da previsibilidade das operações e ao fortalecimento da sustentabilidade do sistema portuário como um todo.

4.3 Integração com o modal ferroviário

A ampliação da participação do transporte ferroviário constitui uma das principais estratégias para aumentar a eficiência logística do Porto de Santos e reduzir a histórica dependência do transporte rodoviário nos acessos ao complexo portuário. Em comparação com o modal rodoviário, a ferrovia apresenta maior capacidade de movimentação de cargas em longas distâncias, menor consumo energético por tonelada transportada e menor emissão de gases de efeito estufa, características que reforçam sua importância para a construção de sistemas logísticos mais eficientes e sustentáveis.

Os documentos analisados indicam que a participação ferroviária na movimentação de cargas do Porto de Santos vem sendo ampliada por meio de investimentos na modernização da infraestrutura, na expansão dos acessos ferroviários e na melhoria da integração entre concessionárias, operadores logísticos e terminais portuários (APS, 2025). Essas iniciativas buscam aumentar a capacidade operacional do complexo portuário e reduzir a pressão exercida pelo intenso fluxo de caminhões sobre a infraestrutura viária da região.

Sob a perspectiva da logística portuária, a integração ferroviária ultrapassa a simples substituição de um modal por outro. Trata-se de uma estratégia voltada à ampliação da conectividade multimodal, permitindo maior articulação entre os fluxos marítimos e terrestres e favorecendo o escoamento das cargas provenientes das áreas de influência econômica do porto. Essa interpretação converge com a análise de Notteboom e Rodrigue (2005), para os quais a competitividade portuária depende da qualidade das conexões estabelecidas com o *hinterland*, uma vez que a eficiência dos terminais está diretamente relacionada à capacidade de integrar diferentes modais em uma rede logística coordenada.

A análise documental evidencia que o fortalecimento da malha ferroviária apresenta potencial para reduzir gargalos operacionais, ampliar a capacidade de movimentação de cargas e aumentar a previsibilidade das operações logísticas. Entretanto, os documentos também apontam que a efetividade dessa estratégia depende de fatores que extrapolam a infraestrutura física, envolvendo aspectos relacionados à coordenação institucional, ao planejamento integrado dos acessos, à capacidade operacional das concessionárias ferroviárias e à articulação entre os diferentes agentes que participam da cadeia logística.

Além disso, a ampliação da participação ferroviária não elimina a importância do transporte rodoviário. Ao contrário, a eficiência da logística portuária depende da complementaridade entre os modais, de forma que cada um desempenhe funções compatíveis com suas características operacionais. Nesse sentido, a integração multimodal mostra-se mais relevante do que a substituição de um modal por outro, permitindo maior flexibilidade operacional e melhor aproveitamento da infraestrutura disponível.

Sob a perspectiva ambiental, a maior utilização da ferrovia apresenta potencial para reduzir o consumo de combustíveis fósseis, diminuir as emissões de gases de efeito estufa e minimizar os impactos decorrentes da intensa circulação de caminhões nas áreas urbanas próximas ao porto. Entretanto, tais benefícios dependem da efetiva integração entre os sistemas ferroviário e rodoviário, bem como da continuidade dos investimentos em infraestrutura, governança logística e planejamento operacional.

Os resultados indicam, portanto, que a expansão da participação ferroviária constitui um dos principais desafios e, simultaneamente, uma das principais oportunidades para o fortalecimento da competitividade do Porto de Santos. Mais do que ampliar a capacidade de transporte, a integração ferroviária representa um elemento estruturante da conectividade multimodal, contribuindo para a construção de um sistema logístico mais eficiente, resiliente e ambientalmente sustentável.

Tabela 2 – Comparação entre os modais rodoviário e ferroviário nos acessos ao Porto de Santos

Critério	Transporte rodoviário	Transporte ferroviário
Capacidade de transporte	Menor capacidade por viagem	Elevada capacidade de movimentação em larga escala
Consumo energético	Mais elevado por tonelada transportada	Menor consumo energético por tonelada transportada

Critério	Transporte rodoviário	Transporte ferroviário
Emissões atmosféricas	Maiores emissões de CO ₂ e poluentes	Menores emissões por unidade transportada
Flexibilidade operacional	Elevada capilaridade e acesso direto aos terminais	Dependência da infraestrutura ferroviária e dos pontos de transbordo
Custos em longas distâncias	Tendência a custos mais elevados	Maior eficiência econômica em médias e longas distâncias
Impactos urbanos	Maior geração de congestionamentos e pressão sobre o sistema viário	Redução da circulação de caminhões e menor impacto sobre a mobilidade urbana
Papel na logística portuária	Distribuição regional e acesso final aos terminais	Transporte de grandes volumes e integração do <i>hinterland</i> ao porto

Fonte: Elaborada pelos autores com base em APS (2025), Notteboom e Rodrigue (2005) e OECD (2021).

4.4 Automação, consumo de energia e emissões

A automação portuária ocupa posição central nas estratégias de modernização dos terminais de contêineres, sendo amplamente utilizada para aperfeiçoar a eficiência operacional, aumentar a confiabilidade das operações e ampliar a capacidade de processamento das cargas. A incorporação de equipamentos automatizados, sistemas digitais de gerenciamento e tecnologias de monitoramento em tempo real favorece maior precisão na movimentação dos contêineres, otimiza a utilização da infraestrutura disponível e reduz a ocorrência de interrupções operacionais. Entretanto, conforme discutido na fundamentação teórica, os efeitos da automação devem ser compreendidos dentro de um processo mais amplo de transformação tecnológica e organizacional, cujos resultados dependem das condições específicas de implantação e gestão.

A análise dos documentos institucionais evidencia que operadores instalados no Porto de Santos vêm intensificando investimentos em automação e eletrificação dos equipamentos utilizados nas operações portuárias. Entre essas iniciativas destaca-se a substituição gradual de equipamentos movidos a combustíveis fósseis por versões eletrificadas, como os *Rubber Tyred Gantry Cranes* (RTGs). De acordo com informações divulgadas pela Santos Brasil (2023), a eletrificação desses equipamentos apresenta potencial para reduzir em até 97% as emissões diretas associadas às operações de movimentação de contêineres, além de diminuir o consumo de combustíveis fósseis e os níveis de ruído nas áreas operacionais.

Essas iniciativas evidenciam que a automação pode contribuir simultaneamente para a melhoria do desempenho operacional e para o fortalecimento das estratégias de sustentabilidade dos terminais. Contudo, os benefícios ambientais decorrentes da eletrificação não dependem exclusivamente da substituição dos equipamentos. Conforme destaca a OECD (2021), a efetiva redução das emissões está condicionada, entre outros fatores, à composição da matriz energética utilizada para o fornecimento de eletricidade, à eficiência dos sistemas de gestão energética e à adoção de políticas voltadas à descarbonização das operações portuárias.

Sob essa perspectiva, a eletrificação representa uma etapa importante do processo de transição energética, mas não esgota os desafios relacionados à sustentabilidade ambiental. A redução das emissões exige uma abordagem integrada, envolvendo investimentos em fontes de energia de menor intensidade de carbono, programas de eficiência energética,

monitoramento contínuo do consumo e incorporação de tecnologias capazes de otimizar o uso dos recursos disponíveis.

Os documentos analisados também indicam que a transformação tecnológica produz impactos que extrapolam a dimensão operacional. A crescente utilização de sistemas automatizados modifica a organização do trabalho, reduzindo a participação de atividades predominantemente repetitivas e ampliando a demanda por profissionais qualificados nas áreas de tecnologia, manutenção, análise de dados e gestão de sistemas automatizados. Dessa forma, a automação deve ser compreendida como um processo de mudança organizacional que envolve não apenas inovação tecnológica, mas também requalificação profissional, adaptação institucional e desenvolvimento de novas competências.

Os resultados obtidos reforçam, portanto, que a automação constitui um componente estratégico da competitividade portuária contemporânea. Entretanto, seus benefícios operacionais, econômicos e ambientais dependem da integração entre inovação tecnológica, planejamento energético, qualificação da força de trabalho e modelos de governança capazes de acompanhar a crescente complexidade das operações portuárias.

4.5 Gestão de resíduos e práticas sustentáveis

A análise dos documentos institucionais evidencia que a incorporação de práticas ambientais aos terminais de contêineres passou a ocupar posição cada vez mais relevante nas estratégias de gestão portuária. Esse movimento é impulsionado tanto pelo fortalecimento da legislação ambiental quanto pela crescente valorização de critérios relacionados à governança corporativa, à responsabilidade socioambiental e à transparência na gestão das organizações. As evidências analisadas indicam avanços em iniciativas voltadas à gestão de resíduos, à eficiência energética, ao reaproveitamento de materiais e à redução dos impactos ambientais decorrentes das operações portuárias.

Nesse contexto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece importante referencial para a gestão ambiental dos terminais ao definir princípios como a prevenção da geração de resíduos, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil, 2010). Os documentos analisados indicam que essas diretrizes vêm sendo incorporadas por diferentes operadores portuários por meio de programas de segregação de resíduos, reciclagem, reaproveitamento de materiais, monitoramento ambiental e aperfeiçoamento dos processos de gestão ambiental.

Como referência complementar às práticas observadas no setor portuário brasileiro, destaca-se o reconhecimento concedido à Portonave, que recebeu, em 2025, o Selo Diamante de Sustentabilidade do Ministério de Portos e Aeroportos. Entre as iniciativas divulgadas pela empresa encontram-se a utilização de equipamentos com menores emissões de gases de efeito estufa, programas de gestão de resíduos fundamentados na metodologia Lixo Zero, ações de reaproveitamento de recursos hídricos, monitoramento ambiental e projetos voltados à preservação da biodiversidade, além de práticas relacionadas à diversidade, à inclusão e à governança corporativa (Portonave, 2025).

Embora a Portonave não componha o universo empírico desta pesquisa, sua experiência ilustra uma tendência observada no setor portuário nacional: a incorporação da sustentabilidade como componente estratégico da competitividade organizacional. As evidências documentais sugerem que as práticas ambientais deixam de estar restritas ao atendimento das exigências legais e passam a integrar políticas de gestão voltadas à melhoria da eficiência operacional, ao fortalecimento da imagem institucional e à geração de valor para diferentes partes interessadas.

Entretanto, a análise dos resultados à luz da perspectiva da sustentabilidade crítica indica que esses avanços não esgotam os desafios associados ao desenvolvimento portuário. Conforme argumentam Acselrad, Herculano e Pádua (2004), a sustentabilidade não pode ser avaliada apenas pelos ganhos de eficiência ambiental ou pela adoção de boas práticas de gestão, devendo considerar também a distribuição territorial dos impactos ambientais, os conflitos relacionados ao uso do espaço e as desigualdades sociais produzidas ou intensificadas pelos processos de expansão econômica.

Sob essa perspectiva, a adoção de práticas alinhadas aos princípios ESG representa um avanço importante na gestão dos terminais, mas não constitui, isoladamente, garantia de desenvolvimento sustentável. A consolidação de uma logística portuária efetivamente sustentável depende da articulação entre eficiência operacional, inovação tecnológica, governança, responsabilidade socioambiental e planejamento territorial, de modo a compatibilizar crescimento econômico, preservação ambiental e desenvolvimento social.

Os resultados obtidos reforçam, portanto, que a sustentabilidade vem se consolidando como um componente estratégico da competitividade portuária contemporânea. Contudo, sua efetividade depende da integração entre políticas ambientais, investimentos em inovação, mecanismos de governança e processos permanentes de avaliação dos impactos econômicos, ambientais e sociais das operações portuárias.

4.6 Síntese analítica dos resultados

A análise integrada das evidências documentais permite compreender que a competitividade dos terminais de contêineres do Porto de Santos resulta da interação entre eficiência operacional, automação e sustentabilidade, dimensões que se mostram progressivamente incorporadas às estratégias de gestão portuária. Os resultados indicam que essas variáveis não atuam de forma independente, mas constituem componentes inter-relacionados de um sistema logístico cuja eficiência depende da articulação entre infraestrutura, inovação tecnológica, conectividade multimodal e governança.

As evidências analisadas mostram que a ampliação da movimentação de contêineres foi acompanhada por iniciativas voltadas ao aperfeiçoamento dos processos operacionais, entre elas a adoção de sistemas de agendamento eletrônico de caminhões, os investimentos em automação, a modernização da infraestrutura e o fortalecimento da integração ferroviária. Em conjunto, essas ações evidenciam um movimento de modernização que busca aumentar a capacidade operacional dos terminais sem depender exclusivamente da expansão física das instalações, aspecto coerente com a concepção sistêmica da logística portuária proposta por Notteboom e Rodrigue (2005).

No campo da sustentabilidade, os documentos analisados indicam avanços relacionados à eletrificação de equipamentos, à gestão de resíduos, à eficiência energética e à incorporação de práticas alinhadas aos princípios ESG. Entretanto, a interpretação desses resultados, à luz da perspectiva da sustentabilidade crítica, evidencia que os ganhos operacionais e ambientais não eliminam os desafios associados aos impactos territoriais, sociais e institucionais decorrentes da expansão das atividades portuárias. Conforme discutem Acselrad, Herculano e Pádua (2004), a sustentabilidade exige uma abordagem que considere, além dos indicadores ambientais, a distribuição dos benefícios e dos impactos do desenvolvimento sobre os diferentes grupos sociais e territórios.

Os resultados permitem ainda observar que a conectividade multimodal constitui elemento estruturante da competitividade do Porto de Santos. A integração entre os modais rodoviário e ferroviário, associada ao uso de tecnologias digitais para coordenação dos fluxos

logísticos, reforça a importância da governança integrada como condição para o aumento da eficiência operacional. Dessa forma, os avanços identificados não decorrem de iniciativas isoladas, mas da interação entre investimentos em infraestrutura, inovação tecnológica, planejamento logístico e coordenação entre os diversos agentes envolvidos nas operações portuárias.

Em conjunto, as evidências documentais respondem ao problema de pesquisa ao indicar que os avanços observados nos terminais de contêineres do Porto de Santos estão associados à integração entre eficiência operacional, automação e sustentabilidade. Contudo, também demonstram que a consolidação desse modelo depende da continuidade dos investimentos em infraestrutura, da ampliação da conectividade multimodal, do fortalecimento dos mecanismos de governança e da incorporação de estratégias capazes de compatibilizar competitividade econômica, inovação tecnológica e responsabilidade socioambiental.

Essa síntese reforça que a modernização da logística portuária não deve ser compreendida apenas como um processo de incorporação de novas tecnologias, mas como uma transformação sistêmica que envolve mudanças organizacionais, institucionais e ambientais. É a partir dessa perspectiva integrada que se desenvolvem as considerações finais apresentadas na seção seguinte.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar a relação entre eficiência operacional, automação e sustentabilidade nos terminais de contêineres do Porto de Santos, considerando sua inserção na conectividade multimodal. Partiu-se do entendimento de que a competitividade portuária contemporânea depende da integração entre infraestrutura, inovação tecnológica, gestão logística, conectividade entre modais e responsabilidade socioambiental. A partir da análise documental e da literatura especializada, buscou-se compreender como essas dimensões vêm sendo incorporadas às estratégias de modernização do principal complexo portuário brasileiro.

As evidências analisadas indicam que os avanços observados no Porto de Santos estão associados à combinação de investimentos em infraestrutura, digitalização dos processos, automação das operações e aperfeiçoamento dos mecanismos de coordenação logística. Nesse contexto, a eficiência operacional mostra-se relacionada não apenas à capacidade física dos terminais, mas também à utilização de tecnologias digitais, à integração entre os diferentes agentes da cadeia logística e à melhoria contínua dos processos de gestão.

No âmbito da conectividade multimodal, verificou-se que iniciativas como a ampliação da participação ferroviária e a adoção de sistemas de agendamento eletrônico de caminhões contribuem para aperfeiçoar a organização dos fluxos terrestres e reduzir gargalos operacionais. A análise evidencia, contudo, que a consolidação de uma logística multimodal eficiente depende da continuidade dos investimentos em infraestrutura e, sobretudo, do fortalecimento dos mecanismos de coordenação institucional e de governança entre operadores portuários, concessionárias, transportadoras e poder público.

Em relação à sustentabilidade, os documentos analisados indicam que os operadores portuários vêm ampliando a adoção de práticas relacionadas à eletrificação de equipamentos, à eficiência energética, à gestão de resíduos e à incorporação de políticas alinhadas aos princípios ESG. Entretanto, a interpretação desses resultados à luz da perspectiva da sustentabilidade crítica demonstra que os avanços ambientais não eliminam os desafios

relacionados aos impactos territoriais e sociais decorrentes da expansão das atividades portuárias. Assim, a sustentabilidade não deve ser compreendida apenas como um conjunto de práticas ambientais, mas como um processo que envolve também governança, planejamento territorial e responsabilidade social.

A automação mostrou-se elemento estratégico da transformação da logística portuária ao contribuir para a modernização dos processos operacionais e para o aumento da capacidade de gestão dos terminais. Ao mesmo tempo, sua implementação evidencia desafios relacionados ao consumo energético, aos investimentos necessários para atualização tecnológica, à segurança dos sistemas digitais e às mudanças no perfil da força de trabalho, aspectos que reforçam o caráter multidimensional da inovação tecnológica no ambiente portuário.

Os resultados permitem responder ao problema de pesquisa ao indicar que a competitividade dos terminais de contêineres do Porto de Santos decorre da interação entre eficiência operacional, automação e sustentabilidade, articuladas pela conectividade multimodal e por mecanismos de governança logística. Essa integração não ocorre de forma espontânea, mas resulta de decisões estratégicas, investimentos contínuos e processos de coordenação entre os diferentes atores que participam da cadeia logística portuária.

Como contribuição científica, esta pesquisa amplia a compreensão das relações entre eficiência operacional, automação e sustentabilidade no contexto da logística portuária brasileira ao propor uma análise integrada dessas dimensões, frequentemente abordadas de forma isolada na literatura. Ao articular evidências documentais recentes com o referencial teórico da área, o estudo contribui para o debate sobre os desafios da modernização dos portos e sobre a construção de sistemas logísticos mais eficientes, resilientes e ambientalmente responsáveis.

Sob o ponto de vista prático, os resultados sugerem que políticas voltadas à digitalização das operações, à integração multimodal, à automação e à transição energética tendem a fortalecer simultaneamente o desempenho operacional e a sustentabilidade dos terminais de contêineres. Essas evidências podem subsidiar gestores públicos, operadores portuários e formuladores de políticas na definição de estratégias voltadas ao aprimoramento da logística portuária brasileira.

Como limitações, reconhece-se que a pesquisa foi desenvolvida com base, predominantemente, em documentos institucionais e outras fontes secundárias, o que restringe a observação direta das práticas operacionais e das percepções dos diferentes agentes envolvidos nas atividades portuárias. Dessa forma, os resultados devem ser interpretados no contexto do delineamento metodológico adotado.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros incorporem pesquisas de campo, entrevistas com gestores, trabalhadores e representantes institucionais, bem como análises comparativas entre diferentes portos nacionais e internacionais. Investigações que combinem abordagens qualitativas e quantitativas poderão aprofundar a compreensão dos impactos da automação, da conectividade multimodal e das estratégias de sustentabilidade sobre o desempenho logístico-portuário, contribuindo para o aperfeiçoamento das políticas públicas e das práticas de gestão voltadas ao desenvolvimento sustentável dos portos brasileiros.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, Henri; HERCULANO, Selene; PÁDUA, José Augusto (org.). **Justiça ambiental e cidadania**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Anuário Estatístico Aquaviário 2025**. Brasília, DF: ANTAQ, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/central-de-conteudos/publicacoes-da-antag/Anuario2025.pdf>. Acesso em: 5 maio 2026.

AUTORIDADE PORTUÁRIA DE SANTOS (APS). **Relatório da Administração 2025**. Santos: APS, 2025. Disponível em: <https://www.portodesantos.com.br/wp-content/uploads/Relatorio-da-Administracao-2025.pdf>. Acesso em: 5 maio 2026.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 5 maio 2026.

ELKINGTON, John. **Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business**. Oxford: Capstone Publishing, 1997.

NOTTEBOOM, Theo E.; RODRIGUE, Jean-Paul. **Port regionalization: towards a new phase in port development**. *Maritime Policy & Management*, London, v. 32, n. 3, p. 297-313, 2005. DOI: 10.1080/03088830500139885. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03088830500139885>. Acesso em: 2 maio 2026.

OECD. **Container Port Automation: Impacts and Implications**. Paris: OECD Publishing, 2021. Disponível em: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/container-port-automation.pdf>. Acesso em: 5 maio 2026.

PORTONAVE. **Portonave recebe Selo Diamante de Sustentabilidade durante a COP30**. Navegantes: Portonave, 2025. Disponível em: <https://www.portonave.com.br>. Acesso em: 5 maio 2026.

RODRIGUE, Jean-Paul. **The Geography of Transport Systems**. 5. ed. New York: Routledge, 2020.

SANTOS BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2024**. Santos: Santos Brasil, 2024. Disponível em: https://www.santosbrasil.com.br/tmp/SITE-ARQUIVOS/relatorio_sustentabilidade_2024.pdf. Acesso em: 5 maio 2026.

SINDICATO DOS OPERADORES PORTUÁRIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SOPESP). **Informação sobre a norma de agendamento de caminhões no Porto de Santos**. Santos: SOPESP, 2024. Disponível em: <https://sopesp.com.br/todos/informacao-sobre-a-norma-de-agendamento-de-caminhoes-no-po-rto-de-santos/>. Acesso em: 5 maio 2026.

WORLD BANK GROUP. **Guidance Note for the Container Port Performance Index 2023 (CPPI)**. Washington, DC: World Bank Group, 2024. Disponível em:

<https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/e5034336-1961-4ac2-a1a9-007893d92457/content>. Acesso em: 6 maio 2026.