

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CLC ALTAIR COSTA TELES

**SEGURANÇA EM NAVEGAÇÃO FLUVIAL:  
comparação entre a Hidrovia Tietê-Paraná e o Rio Mississippi**

Rio de Janeiro

2024

CLC ALTAIR COSTA TELES

**SEGURANÇA EM NAVEGAÇÃO FLUVIAL:  
comparação entre a Hidrovia Paraná-Tiete e o Rio Mississippi**

Tese apresentada à Escola de Guerra Naval, como requisito parcial para a conclusão do Curso de Política e Estratégia Marítimas.

Orientador: CMG (RM1) Wagner da Silva

Rio de Janeiro  
Escola de Guerra Naval  
2024

## **DECLARAÇÃO DA NÃO EXISTÊNCIA DE APROPRIAÇÃO INTELECTUAL IRREGULAR**

Declaro que este trabalho acadêmico: a) corresponde ao resultado de investigação por mim desenvolvida, enquanto discente da Escola de Guerra Naval (EGN); b) é um trabalho original, ou seja, que não foi por mim anteriormente utilizado para fins acadêmicos ou quaisquer outros; c) é inédito, isto é, não foi ainda objeto de publicação; e d) é de minha integral e exclusiva autoria.

Declaro também que tenho ciência de que a utilização de ideias ou palavras de autoria de outrem, sem a devida identificação da fonte, e o uso de recursos de inteligência artificial no processo de escrita constituem grave falta ética, moral, legal e disciplinar. Ademais, assumo o compromisso de que este trabalho possa, a qualquer tempo, ser analisado para verificação de sua originalidade e ineditismo, por meio de ferramentas de detecção de similaridades ou por profissionais qualificados.

Os direitos morais e patrimoniais deste trabalho acadêmico, nos termos da Lei 9.610/1998, pertencem ao seu Autor, sendo vedado o uso comercial sem prévia autorização. É permitida a transcrição parcial de textos do trabalho, ou mencioná-los, para comentários e citações, desde que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos e ideias expressas neste trabalho acadêmico são de responsabilidade do Autor e não retratam qualquer orientação institucional da EGN ou da Marinha do Brasil.

## DEDICATÓRIA

Dedico este projeto a todos os professores, instrutores, amigos da Escola de Guerra Naval e colegas que influenciaram na minha trajetória e me apoiaram em cada passo dessa jornada.

Em especial meu orientador, com quem compartilhei minhas dúvidas e angústias a respeito do tema.

Por fim, dedico este trabalho a todos os que buscam o conhecimento e a verdade, inspirando-me a seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a todos que contribuíram para a conclusão desse trabalho acadêmico. Primeiramente, a Deus que me permitiu ter sabedoria para superar os desafios na honrosa tarefa de construção do conhecimento. À minha esposa pelos momentos de ausência mesmo presente, a meus amigos, que sempre torceram pelo meu sucesso e minha vitória. Por fim, agradeço a Escola de Guerra Naval e seus Oficiais, por me proporcionarem todo apoio necessário no crescimento profissional e intelectual.

Conhecer o mar é uma questão de sobrevivência para aqueles que o defrontam, planejá-lo é tê-lo como aliado é essencial para garantir nossa soberania.

## RESUMO

Este trabalho aborda a segurança na navegação fluvial, com ênfase nos aspectos gerais que influenciam a eficiência e segurança das operações hidroviárias. O objetivo principal foi analisar os fatores que contribuem para a segurança, incluindo infraestrutura, capacitação das tripulações, regulamentação, fiscalização e uso de tecnologias avançadas. A metodologia utilizada consistiu em uma revisão bibliográfica detalhada de fontes acadêmicas e relatórios técnicos sobre a segurança na navegação fluvial. Os resultados indicam que a implementação de tecnologias de monitoramento, como o AIS e o VTS, combinada com treinamentos regulares das tripulações, é fundamental para reduzir os riscos de acidentes a navegação. Ademais, destaca-se a importância de uma legislação integrada e de uma fiscalização constante para garantir o cumprimento das normas de segurança. Conclui-se que, para garantir a segurança das hidrovias, é essencial um esforço conjunto entre governos, operadores e comunidades, com foco na integração de tecnologias, melhoria da infraestrutura e formação de uma cultura de segurança.

**Palavras-chave:** Segurança. Navegação Fluvial. Infraestrutura.

## **ABSTRACT**

### **SAFETY IN RIVER NAVIGATION: comparison between the Tiete-Paraná Waterway and the Mississippi River**

This work addresses the safety of river navigation, with emphasis on the general aspects that influence the efficiency and safety of waterway operations. The main objective was to analyze the factors that contribute to safety, including infrastructure, crew training, regulation, enforcement, and the use of advanced technologies. The methodology used consisted of a detailed bibliographic review of academic sources and technical reports on the safety of river navigation. The results indicate that the implementation of monitoring technologies, such as AIS and VTS, combined with regular training of crews, is essential to reduce the risks of accidents. In addition, the importance of integrated legislation and constant inspection to ensure compliance with safety standards is highlighted. It is concluded that, to ensure the safety of waterways, a joint effort between governments, operators and communities is essential, focusing on the integration of technologies, improving infrastructure and forming a culture of safety.

**Keywords:** Security. River Navigation. Infrastructure.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Funcionamento de eclusas.....	33
FIGURA 2 - Equipamento de dragagem .....	34
FIGURA 3 - Canal de navegação.....	35
FIGURA 4 - Sinalização de hidrovia.....	36
FIGURA 5 - Navegação no Rio Mississippi .....	38
FIGURA 6 - Dique .....	39
FIGURA 7 - Funcionamento do AIS .....	40
FIGURA 8 - Funcionamento do VTS .....	41
FIGURA 9 – MRTIS .....	50
FIGURA 10 - SIGAAZ.....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EUA	-	Estados Unidos da América
AIS	-	<i>Automatic Identification System</i>
VTS	-	<i>Vessel Traffic System</i>
LED	-	<i>Light Emitting Diode</i>
IMO	-	<i>Organização Marítima Internacional</i>
MRTIS	-	<i>Mississippi River Traffic Information Service</i>
COLREGS-		<i>Regras Internacionais para Evitar Abalroamentos no Mar</i>
SIMMAP	-	<i>Sistema de Monitoramento Marítimo de Apoio às Atividades de Petróleo</i>
LRIT	-	<i>Sistema de Identificação e Acompanhamento de Navios a Longa Distância</i>
PREPS	-	<i>Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélite</i>
SIGAAZ	-	<i>Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul</i>
SOLAS	-	Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>SEGURANÇA NAS NAVEGAÇÕES: ASPECTOS GERAIS .....</b>	<b>15</b>
2.1	SINALIZAÇÃO E INFRAESTRUTURA.....	17
2.2	CAPACITAÇÃO DAS TRIPULAÇÕES .....	19
2.3	TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO E CONTROLE .....	21
2.4	REGULAMENTAÇÃO E FISCALIZAÇÃO .....	23
2.5	ASPECTOS AMBIENTAIS E SEGURANÇA .....	24
2.6	SUSTENTABILIDADE E SEGURANÇA.....	27
2.7	INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E SEGURANÇA.....	29
2.8	CULTURA DE SEGURANÇA.....	30
<b>3</b>	<b>HIDROVIA PARANÁ-TIETÊ E RIO MISSISSIPI: UM PARALELO.....</b>	<b>32</b>
3.1	INFRAESTRUTURA NA HIDROVIA PARANÁ-TIETÊ.....	35
3.2	REGULAMENTAÇÕES E POLÍTICAS DE SEGURANÇA NO BRASIL E NOS EUA .....	46
3.3	TECNOLOGIAS APLICADAS NA NAVEGAÇÃO HIDROVIÁRIA NO BRASIL E NOS EUA .....	50
<b>4</b>	<b>COMPARAÇÃO ENTRE DUAS HIDROVIAS: APRENDIZADOS POSSÍVEIS .....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA A HIDROVIA PARANÁ-TIETÊ: SUGESTÕES BASEADAS NAS PRÁTICAS DO RIO MISSISSIPI.....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A navegação fluvial possui um papel fundamental no desenvolvimento logístico e econômico de diversas regiões ao redor do mundo. A Europa, por exemplo, possui um dos sistemas de hidrovias mais desenvolvidos do mundo, com rios como o Reno e o Danúbio desempenhando papéis cruciais no transporte de mercadorias (European Commission, 2021).

As hidrovias europeias são conhecidas por sua eficiência e integração com outros modos de transporte, o que facilita o comércio intercontinental (Müller, 2017). Já nos Estados Unidos, o rio Mississippi é um exemplo de uma hidrovia vital para o transporte de grãos e outras commodities (US Army Corps of Engineers, 2020).

As Hidrovias Asiáticas, especificamente na China, o rio Yangtzé é uma das principais artérias de transporte, impulsionando o desenvolvimento econômico das regiões interiores (Wang, 2019).

No contexto brasileiro, a Hidrovia Tietê-Paraná se destaca como um importante eixo de transporte interior, conectando diversos estados e facilitando o transporte de produtos agroindustriais via barcaças.

Nos Estados Unidos, o Rio Mississippi desempenha um papel semelhante, sendo uma rota essencial para o transporte de cargas e o desenvolvimento da infraestrutura logística nacional. No entanto, é importante destacar as diferenças entre os dois sistemas em termos de segurança, legislação e tecnologia. Este trabalho propõe uma análise comparativa com foco nas medidas de segurança e regulamentações adotadas nos EUA (Estados Unidos da América) e como essas podem ser aplicadas no Brasil para aprimorar a eficiência e segurança da Hidrovia Tietê-Paraná para a navegação.

A Hidrovia Tietê-Paraná enfrenta desafios relacionados às condições naturais, como variações no nível do rio e problemas com a sedimentação, além da carência de investimentos em infraestrutura e segurança. Esses desafios exigem soluções que envolvam planejamento estratégico, inovação tecnológica e monitoramento constante para melhorar a segurança e a eficiência operacional. Já o Rio Mississippi conta com uma infraestrutura robusta e avanços tecnológicos significativos, o que reflete o elevado investimento e a maturidade na gestão hidroviária americana. No

entanto, ele também enfrenta problemas como as cheias sazonais, que impactam a navegação e desafiam a gestão da segurança.

A análise das tecnologias empregadas nas hidrovias revela uma diferença substancial entre as práticas adotadas no Brasil e nos Estados Unidos. O uso de sistemas avançados de monitoramento em tempo real no Mississippi, como relatado por Abdala (2023), demonstra o impacto positivo da inovação tecnológica na segurança e eficiência da navegação. No Brasil, iniciativas similares ainda estão em fase inicial e carecem de apoio institucional e financeiro. A implementação de tecnologias de monitoramento mais sofisticadas contribuir para mitigar riscos, aumentando a eficiência do transporte fluvial.

Outro ponto essencial é a regulamentação específica e o papel das agências reguladoras na segurança da navegação hidroviária. O sistema regulatório americano, com foco na segurança e sustentabilidade, fornece uma base sólida para a operação segura do Rio Mississippi. Já no Brasil, a Lei 9.537/97 estabelece diretrizes sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional, mas ainda há lacunas significativas na aplicação prática dessas normas (BRASIL, 1997).

A análise comparativa dessas regulamentações permite identificar práticas que podem ser adaptadas ao contexto brasileiro, buscando o aprimoramento do controle e fiscalização das atividades hidroviárias.

A justificativa para este estudo reside na necessidade de aprimorar a navegação fluvial brasileira, considerando a probabilidade do tráfego fluvial na região via navios, usando como referência o sistema mais maduro e eficiente, como o do Rio Mississippi. A Hidrovia Tietê-Paraná possui grande potencial de desenvolvimento, mas enfrenta desafios que podem ser minimizados pela adoção de tecnologias e práticas já consolidadas em outras regiões. Compreender como os Estados Unidos têm lidado com questões de segurança, infraestrutura e sustentabilidade pode ser a chave para identificar oportunidades de melhoria que possam ser aplicadas no Brasil, promovendo um desenvolvimento hidroviário mais seguro e eficiente.

O presente estudo é relevante, ainda, pela busca por melhores práticas de segurança na navegação hidroviária. Os riscos envolvidos na navegação fluvial no Brasil são agravados pela falta de políticas públicas consistentes e de investimento

em infraestrutura. A análise comparativa com o contexto americano permite evidenciar boas práticas que podem ser adaptadas para aumentar a segurança na Hidrovia Tietê-Paraná, contribuindo para a redução de acidentes e a promoção de um ambiente de navegação mais seguro.

Por fim, justifica-se este estudo pelo papel da navegação fluvial na promoção da sustentabilidade ambiental. O transporte hidroviário é, em geral, menos poluente e mais eficiente em termos energéticos quando comparado a outros modais. A comparação entre a Hidrovia Tietê-Paraná e o Rio Mississippi permitirá não apenas avaliar as questões de segurança, mas também entender como cada região tem buscado mitigar os impactos ambientais das atividades hidroviárias, contribuindo para uma navegação mais sustentável (AUSTRAL, 2022).

O problema de pesquisa que norteia este trabalho é: quais são as principais diferenças e similaridades entre a Hidrovia Tietê-Paraná e o Rio Mississippi em termos de infraestrutura, segurança e tecnologia, e como as medidas de segurança e regulamentações americanas podem ser aplicadas ao contexto brasileiro? Com base nesse questionamento, surgem hipóteses que guiarão a análise: (i) A infraestrutura do Rio Mississippi é tecnologicamente mais avançada que a da Hidrovia Paraná-Tietê, refletindo maior investimento e melhores práticas de segurança; (ii) As regulamentações americanas fornecem uma base mais eficaz para a segurança da navegação, que poderia ser adaptada para melhorar a eficiência no Brasil; (iii) não basta "copiar" as estratégias americanas, é preciso ajustar à realidade brasileira.

Para responder a esta questão e investigar as hipóteses levantadas, o presente estudo adotará uma abordagem qualitativa, utilizando revisão bibliográfica como principal método de investigação. Serão analisadas fontes acadêmicas, legislações, documentos oficiais e estudos de caso das duas hidrovias, visando construir um panorama comparativo que evidencie as melhores práticas e os desafios enfrentados por cada sistema. A coleta e análise dos dados serão realizadas de forma criteriosa para garantir a imparcialidade e a relevância das informações utilizadas.

Os objetivos deste trabalho são: (i) analisar comparativamente as infraestruturas da Hidrovia Paraná-Tietê e do Rio Mississippi; (ii) examinar as políticas de segurança e regulamentações (iii) avaliar as tecnologias aplicadas a

cada contexto; e (iv) identificar práticas e soluções que possam ser adaptadas para a melhoria da segurança e eficiência das hidrovias brasileiras. A partir desses objetivos, pretende-se fornecer uma análise detalhada que possa embasar futuras políticas de desenvolvimento e aprimoramento da navegação fluvial no Brasil.

## **2 SEGURANÇA NA NAVEGAÇÃO: ASPECTOS GERAIS**

A segurança na navegação é um tema de extrema relevância, especialmente em um mundo cada vez mais globalizado, onde as vias aquáticas desempenham um papel crítico no transporte de mercadorias e na mobilidade de pessoas. Tratando de segurança na navegação refere-se ao conjunto de medidas e práticas que visam proteger a vida humana no mar e em águas interiores, prevenir acidentes e minimizar impactos ambientais. Segundo a Organização Marítima Internacional (IMO), a segurança na navegação é essencial para garantir a confiança no transporte marítimo, que é responsável por cerca de 90% do comércio global (IMO, 2022). No contexto mundial, diversos tratados e convenções regulam a segurança na navegação. A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar de 1982 estabelece os direitos e deveres dos Estados em relação ao uso dos oceanos, incluindo aspectos de segurança. Além disso, a IMO desenvolveu a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), que busca assegurar que os navios sejam construídos, equipados e operados de maneira a reduzir riscos.

O Brasil possui uma extensa rede de hidrovias, totalizando cerca de 63 mil quilômetros, sendo a maior parte concentrada nas bacias hidrográficas Amazônica, do Tocantins-Araguaia, do Paraná e do São Francisco. A navegação fluvial é necessária para o escoamento da produção agrícola e mineral do país. Considerada um componente fundamental para o desenvolvimento sustentável do transporte hidroviário. O setor de navegação hidroviário enfrenta desafios substanciais em todo o mundo, desafios estes que abrangem tanto a infraestrutura física quanto a capacitação de pessoal, a regulamentação e o emprego de tecnologias avançadas para a mitigação de riscos. A sustentabilidade desse modal de transporte depende diretamente da implementação de medidas que garantam a segurança das operações, assegurando a continuidade das atividades econômicas e minimizando

os impactos ambientais e sociais negativos. Para tanto, uma abordagem multidimensional, que integre elementos técnicos, regulatórios e humanos, é indispensável.

A análise dos aspectos gerais da segurança em hidrovias revela a complexidade das ações necessárias para assegurar operações seguras e eficientes, ao mesmo tempo que evidencia inúmeras oportunidades de aprimoramento. A infraestrutura física, que inclui a manutenção dos canais de navegação, eclusas, sinalização e sistemas de controle de tráfego, é um dos pilares fundamentais para a segurança. A adequação da infraestrutura deve ser acompanhada por investimentos em tecnologias que aumentem a previsibilidade e a capacidade de resposta a situações adversas, tais como sistemas de monitoramento contínuo e sensores para detecção de obstruções e variações nos níveis de água. Dessa forma, a infraestrutura deixa de ser apenas um meio para a operação e torna-se um elemento estratégico para a prevenção de riscos.

Outro aspecto essencial para a segurança na navegação fluvial é a regulamentação eficaz e sua aplicação rigorosa. Regulamentações claras e abrangentes, que abarquem desde a construção e manutenção das embarcações até as práticas operacionais e de segurança, são essenciais para mitigar riscos. No entanto, a regulamentação por si só não é suficiente; é fundamental que os órgãos reguladores disponham dos recursos e da capacitação necessária para a fiscalização eficiente das hidrovias. A falta de integração entre diferentes entidades responsáveis pela gestão dos recursos hídricos e pela fiscalização da navegação frequentemente resulta em lacunas regulatórias e falhas de comunicação que comprometem a segurança. Portanto, a criação de um sistema de governança integrada, que reúna todos os atores envolvidos, é uma condição *sine qua non* para a eficácia da regulamentação.

O papel da tecnologia na segurança da navegação fluvial não pode ser subestimado. O uso de tecnologias avançadas, como sistemas de radar e o monitoramento remoto via satélite, constitui um importante avanço na detecção precoce de riscos e na gestão eficiente do tráfego fluvial. Além disso, o emprego de *big data* (SMITH, 20) e algoritmos de inteligência artificial para análise preditiva possibilita a antecipação de eventos adversos, oferecendo subsídios para decisões operacionais que minimizem o impacto de situações críticas. A integração de

tecnologias digitais na gestão da navegação fluvial contribui para um modelo de operação mais seguro, resiliente e eficiente, transformando dados em informações que aprimoram a tomada de decisão e reduzem a exposição a riscos.

Ademais, a capacitação e a qualificação dos profissionais envolvidos no setor de navegação são elementos centrais para a promoção da segurança nas hidrovias. A formação contínua, que inclua tanto aspectos técnicos quanto práticas de gestão de riscos, deve ser prioridade sempre. Simuladores de navegação, exercícios de resposta a emergências e treinamentos especializados são ferramentas essenciais para preparar as equipes para lidar com diferentes tipos de adversidades. Além disso, o desenvolvimento de uma cultura de segurança, que seja incorporada a todos os níveis organizacionais, é imprescindível para assegurar que as práticas seguras sejam adotadas de maneira sistemática e proativa. A construção de um ambiente organizacional que valorize a segurança como um princípio estratégico não apenas reduz o número de incidentes, mas também promove a sustentabilidade do setor de navegação fluvial, permitindo operações mais seguras e eficientes.

## 2.1 SINALIZAÇÃO E INFRAESTRUTURA

Entre os elementos fundamentais para a segurança da navegação fluvial está a sinalização adequada das vias navegáveis. Boias, faróis e outros dispositivos de sinalização desempenham um papel essencial para a navegação, especialmente em condições de baixa visibilidade. A sinalização adequada é essencial para prevenir acidentes e garantir a fluidez do tráfego.

Segundo Silva (2022, p. 33), "a sinalização eficaz na hidrovia contribui para a redução de acidentes". A sinalização não apenas auxilia, como facilita a navegação segura ao indicar a localização de obstáculos, áreas rasas e curvas perigosas, mas também contribui para a organização do tráfego fluvial, reduzindo a possibilidade de colisões e outros acidentes. Dessa forma, a manutenção periódica dessas estruturas é indispensável para evitar que fatores como assoreamento ou desgaste que comprometam a segurança das embarcações (BEINECKE; TROVATI, 2021).

Além da sinalização convencional, a tendência emergente de utilização de sinalização inteligente, equipada com sensores e tecnologias de comunicação, vem ganhando destaque. Tais tecnologias são capazes de fornecer informações em

tempo real sobre as condições do rio, como variações no nível da água, presença de obstáculos e mudanças na velocidade da correnteza. A integração desses sistemas de sinalização inteligente aos centros de controle de tráfego possibilita uma resposta mais rápida e coordenada a situações de risco, aumentando significativamente a segurança da navegação.

A manutenção da sinalização também envolve desafios logísticos e operacionais que requerem atenção contínua. A exposição constante das boias e faróis às condições ambientais, como correntes fortes, variações de temperatura e impactos, exige que sejam realizados processos regulares de inspeção e substituição de componentes. O uso de materiais mais resistentes e de sistemas de energia autossustentáveis, como painéis solares para alimentar faróis, tem se mostrado uma solução eficiente para reduzir os custos de manutenção e aumentar a durabilidade desses dispositivos. Além disso, a implementação de sistemas de monitoramento remoto, que permitem identificar problemas de funcionamento em tempo real, contribui para a redução do tempo de resposta e para a continuidade da operação segura.

A sinalização inteligente, quando aliada à modernização das embarcações e à capacitação dos navegadores, cria um ecossistema integrado que favorece a segurança e a eficiência das operações fluviais. As embarcações, equipadas com sistemas avançados de navegação e comunicação, podem interagir com as boias e faróis inteligentes para receber alertas sobre perigos iminentes e ajustar suas rotas de forma automatizada. Essa interação dinâmica e adaptativa minimiza a possibilidade de erro humano e eleva o padrão de segurança da navegação fluvial. Além disso, a capacitação dos profissionais para operar e interpretar essas tecnologias é relevante para garantir que o potencial das inovações seja plenamente aproveitado e que os sistemas de segurança funcionem de maneira otimizada. A instalação de boias refletivas e sistemas de sinalização luminosa é essencial para orientar a navegação e prevenir acidentes, especialmente em condições de baixa visibilidade (Departamento Hidroviário, 2024).

A infraestrutura da Hidrovia Tietê-Paraná compreende eclusas, canais, instalações portuárias e sistemas de manutenção. Segundo Oliveira (2019, p. 30), "a infraestrutura robusta é necessária para suportar o tráfego intenso de embarcações e garantir a eficiência das operações". As eclusas permitem a navegação em

diferentes níveis d'água, enquanto os canais devem ser regularmente dragados para evitar o acúmulo de sedimentos que comprometem a profundidade navegável (Mendes, 2021, p. 45).

As instalações portuárias tem papel crucial no escoamento das mercadorias, com estruturas que permitem a carga e descarga eficientes. A necessidade de modernização dos portos é primordial para acompanhar o aumento da demanda e melhorar a competitividade do transporte fluvial. A falta de manutenção regular e essa necessidade de atualizar, são desafios recorrentes. "A infraestrutura envelhecida e a insuficiência de recursos para reparos representam um risco à segurança e à eficiência operacional" (Santos, 2020, p. 75). São essenciais investimentos contínuos para manter a infraestrutura em condições adequadas.

Por fim, a eficácia da sinalização e balizamento na navegação fluvial depende de um esforço conjunto entre órgãos reguladores, operadores de transporte, e gestores de infraestrutura. A criação de um sistema padronizado de sinalização, que atenda às especificidades das diferentes hidrovias e que esteja alinhado com as melhores práticas internacionais, é um passo essencial para garantir a segurança e a eficiência das operações. A colaboração entre os diferentes agentes envolvidos, associada ao uso de tecnologias emergentes, proporciona uma base sólida para o desenvolvimento de um ambiente de navegação mais seguro. Dessa maneira, a sinalização adequada e inteligente não apenas orienta na navegação, mas também se configura como um pilar indispensável para a modernização e sustentabilidade do transporte hidroviário.

## 2.2 CAPACITAÇÃO DAS TRIPULAÇÕES

Um dos aspectos frequentemente negligenciados, mas de extrema importância, é a capacitação dos tripulantes e dos operadores de embarcações. A qualificação profissional é um fator determinante para a redução dos riscos na navegação, pois operadores bem treinados estão mais preparados para responder adequadamente a situações de emergências, como mudanças repentinas nas condições do rio ou falhas mecânicas. Segundo a Organização Marítima Internacional (OMI), a formação e o treinamento de pessoal são elementos-chave para a segurança na navegação (OMI, 2021). A capacitação não apenas melhora as

habilidades técnicas, mas também promove a consciência sobre protocolos de segurança, prevenção de acidentes e resposta a emergências.

As convenções internacionais, como a STCW (Convenção Internacional sobre as Normas de Formação, Certificação e Serviço de Pessoal Marítimo), estabelecem diretrizes claras sobre os requisitos mínimos de formação para tripulantes. Essas normas visam assegurar que todos os operadores e tripulantes possuam as competências necessárias para desempenhar suas funções de maneira segura e eficaz (OMI, 2022). No Brasil, a Marinha do Brasil, através da Diretoria de Portos e Costas (DPC), também regulamenta a formação e certificação de pessoal, enfatizando a importância de cursos de capacitação que atendam a essas normas internacionais (BRASIL, 1997). Apesar da importância da capacitação, o Brasil enfrenta desafios significativos nesse campo. De acordo com um estudo de Silva (2020), "a falta de instituições de ensino especializadas e de programas de treinamento acessíveis limita as oportunidades de formação para muitos profissionais que atuam nas hidrovias." Além disso, a diversidade de hidrovias no país requer um treinamento específico que muitas vezes não é oferecido, resultando em lacunas de conhecimento e habilidades.

Os dados indicam que a capacitação contínua e atualizada é crucial para a segurança. Oliveira (2021, p. 78) observa que "programas de treinamento baseados em simulação têm mostrado resultados positivos na preparação das tripulações para situações de emergência". A adoção de programas de treinamento modernos e contínuos é fundamental para a segurança e eficiência na Hidrovia Tietê-Paraná. "A capacitação das tripulações, quando realizada de forma adequada, reduz o risco de acidentes e melhora a performance operacional" (SANTOS, 2020, p. 112).

A capacitação adequada resulta em benefícios diretos não apenas para os operadores e tripulantes, mas também para a sociedade como um todo. A formação de profissionais qualificados contribui para a redução de acidentes, minimiza os impactos ambientais e aumenta a eficiência das operações. Segundo Costa (2021), "investir em capacitação não é apenas uma questão de cumprimento de normas, mas uma estratégia para garantir a sustentabilidade e a segurança das operações nas hidrovias."

Segundo Espíndola e Simões (2022), o treinamento contínuo, incluindo simulações de situações de risco, é uma prática que contribui significativamente

para a segurança fluvial. No entanto, é necessário que essas capacitações sejam realizadas de maneira regular e utilizando tecnologias que reflitam as situações reais enfrentadas no dia a dia da navegação. Além disso, a inclusão de treinamentos voltados para a utilização de tecnologias modernas, como o uso de sistemas de comunicação e navegação por satélite, é essencial para garantir uma resposta imediata em situações de risco.

Os programas de treinamento para tripulações devem ser abrangentes e incluir tanto a teoria quanto a prática. Segundo Santos (2019, p. 32), "a combinação de aulas teóricas com exercícios práticos e simulações realistas é essencial para garantir a compreensão completa dos procedimentos de segurança". Os programas de treinamento devem abordar desde a navegação básica até o manuseio de cargas perigosas e técnicas de salvamento.

### 2.3 TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO E CONTROLE

Cabe destacar, também, que a segurança na navegação fluvial não depende apenas da capacitação das tripulações, mas também da qualidade da infraestrutura física e dos sistemas de controle. O uso de tecnologias modernas como o Sistema de Identificação Automática (AIS), Sistema de Gestão de Tráfego de Embarcações (VTS) e sistemas secundários como Serviço de Informação de Tráfego do Rio Mississippi (MRTIS) se tornam essenciais para uma navegação segura, reduzindo seu índice de acidentes no rio Mississippi. Esses sistemas permitem monitorar em tempo real a localização e o comportamento das embarcações, possibilitando uma intervenção rápida em caso de diversas situações de emergências. A implementação do AIS em hidrovias, como a Hidrovia Tietê-Paraná, envolve a instalação de transceptores AIS em embarcações e estações base. "A integração do AIS nas operações de navegação fluvial permite uma maior visibilidade do tráfego, aumentando a segurança e a eficiência" (Oliveira, 2019, p. 34). Além disso, o AIS fornece dados em tempo real que são de extrema relevância para a tomada de decisões operacionais.

Um dos principais benefícios do AIS é a prevenção de colisões. Silva (2021, p. 41) afirma que "ao fornecer informações detalhadas sobre a posição e o movimento das embarcações, o AIS permite que os operadores ajustem suas rotas

para evitar colisões". Isso é particularmente importante em áreas congestionadas, áreas de pequenas embarcações ou de visibilidade reduzida. A facilidade na gestão do tráfego em hidrovias movimentadas, que o sistema pode oferecer, monitorando em tempo real o tráfego, congestionamentos e fluxo de embarcações, não apenas melhoraria a segurança, mas também aumentaria a eficiência das operações de transporte. Sua implementação pode ser onerosa, especialmente para pequenas embarcações. "Os custos de instalação e manutenção dos transceptores AIS podem ser um obstáculo significativo para armadores menores" (Oliveira, 2019, p. 45). No entanto, os benefícios em termos de segurança e eficiência podem justificar esses investimentos.

Estudos de caso na Hidrovia Tietê-Paraná demonstram o impacto positivo do AIS na segurança e eficiência da navegação. Nesta hidrovia resultou em uma redução significativa no número de colisões e incidentes de segurança. Além disso, as operações de resgate se tornaram mais eficientes, com tempos de resposta mais rápidos e coordenados.

Outro sistema essencial para segurança na hidrovia Tietê-Paraná, é o Sistema de Serviço de Tráfego de Embarcações (VTS). Originalmente utilizado em áreas costeiras e portuárias, o VTS tem sido cada vez mais implementado em hidrovias internas para melhorar a segurança e a eficiência das operações de navegação. A implementação do VTS em hidrovias, como a Hidrovia Tietê-Paraná, envolve a instalação de radares, estações de comunicação e centros de controle ao longo do curso d'água. "A integração do VTS nas hidrovias permite um controle mais rigoroso do tráfego, garantindo uma navegação mais segura" (Oliveira, 2019, p. 60). Esse sistema fornece dados precisos sobre a posição e o movimento das embarcações, facilitando a gestão do tráfego fluvial. Um dos principais benefícios do VTS é a prevenção de colisões. Mendes (2021, p. 72) afirma que "ao monitorar continuamente as embarcações e fornecer avisos antecipados sobre possíveis situações de risco, o VTS reduz significativamente a probabilidade de colisões". O sistema permite que os operadores ajustem suas rotas de forma proativa, evitando áreas de congestionamento e pontos cegos. Em casos de emergência, o VTS proporciona informações e coordenação essenciais para as operações de resgate, ajudando a minimizar danos e salvar vidas.

Para aprimorar a implementação e uso do VTS, algumas ações são recomendadas, como aumentar os investimentos da infraestrutura tecnológica, desenvolver e implementar programas de treinamento contínuos para os operadores do VTS. "A formação adequada e a atualização contínua são essenciais para a eficácia do sistema" (Silva, 2020, p. 130) e promover a interoperabilidade entre o VTS e outros sistemas de navegação e monitoramento. "A integração tecnológica é vital para uma gestão eficiente e segura do tráfego" (Mendes, 2021, p. 140).

No entanto, a implementação de tais tecnologias devem ser adaptada à realidade de cada região, considerando fatores como a disponibilidade de recursos e a infraestrutura existente. A integração dessas tecnologias com sistemas de análise preditiva é outra estratégia que pode elevar significativamente o nível de segurança, uma vez que possibilita antecipar potenciais problemas antes que se tornem críticos (AUSTRL, 2022).

## 2.4 REGULAMENTAÇÃO E FISCALIZAÇÃO

A regulamentação e a fiscalização são outros pilares importantes para promover a segurança na navegação fluvial. Uma legislação adequada, acompanhada de uma fiscalização eficaz, é capaz de promover o cumprimento das normas de segurança e prevenir acidentes. No entanto, muitos países ainda enfrentam desafios relacionados à falta de integração entre os diferentes órgãos responsáveis pela fiscalização das hidrovias, o que resulta em falhas de comunicação e na dificuldade de assegurar o cumprimento das normas.

Conforme apontado por Ayoub e Silva (2024), a criação de um sistema integrado de fiscalização, que faça uso de tecnologias modernas, poderia aumentar significativamente a eficácia das operações e assegurar uma supervisão mais rigorosa das condições de navegação. Além disso, é necessário que a fiscalização seja constante e que haja sanções adequadas para infrações, com vistas a inibir o descumprimento das regulamentações e, assim, aumentar a segurança na hidrovia e nas embarcações.

Para garantir uma fiscalização realmente eficiente, é necessário investir não apenas em tecnologia, mas também em capacitação contínua dos agentes fiscalizadores. O treinamento técnico específico, aliado ao uso de drones, sensores

e sistemas de monitoramento em tempo real, pode elevar substancialmente a qualidade das operações de fiscalização. A participação ativa de todos os níveis de governo, juntamente com a iniciativa privada, contribui para um ambiente de maior responsabilidade e rigor no cumprimento das normas, garantindo que a navegação fluvial seja segura e de baixo índice de acidentes.

## 2.5 ASPECTOS AMBIENTAIS E SEGURANÇA

É imperativo abordar os aspectos ambientais correlacionados à segurança da navegação fluvial no contexto contemporâneo, marcado por mudanças climáticas de crescente severidade. Eventos climáticos extremos, como enchentes, secas prolongadas, tempestades e flutuações abruptas nos níveis hidrológicos, exercem um impacto direto sobre a navegabilidade dos cursos d'água e, conseqüentemente, sobre a segurança das embarcações. Essas condições adversas podem culminar em acidentes, encalhes e interrupções nas operações de navegação, acarretando prejuízos econômicos substanciais e danos ambientais significativos. Assim, a previsão e o monitoramento contínuo das condições hidrológicas são cruciais para antecipar potenciais problemas e adotar medidas preventivas que assegurem a segurança das operações, reduzindo riscos às embarcações, tripulações e cargas.

Nesse contexto, a utilização de modelos preditivos baseados em *big data* se revela uma ferramenta indispensável, ao possibilitar a identificação de padrões e a previsão de eventos que possam comprometer a segurança das hidrovias (AYOUBI; SILVA, 2024). Tais modelos empregam volumosos conjuntos de dados históricos e dados em tempo real para gerar previsões precisas sobre o comportamento dos rios, as condições climáticas e os impactos potenciais de eventos extremos. A integração de tecnologias de previsão climática e hidrológica com a construção de estruturas de contenção, como diques e barragens, bem como o desenvolvimento de planos de resposta rápida, contribui significativamente para a mitigação dos impactos de eventos naturais sobre a segurança da navegação. Essas estruturas e planos de contingência não apenas mitigam o risco de interrupções nas operações, mas também asseguram uma resposta coordenada e eficaz em situações adversas de emergência, promovendo a resiliência dos sistemas hidroviários.

Ademais, é imprescindível que haja uma integração robusta entre os órgãos responsáveis pela gestão ambiental e pela navegação, de modo a estabelecer uma governança eficiente capaz de enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas. Essa integração deve englobar a troca constante de informações e a formulação de protocolos conjuntos para situações de emergência, visando acelerar a resposta a eventos climáticos adversos e assegurar que as medidas preventivas sejam implementadas de forma eficaz. Paralelamente, é necessário investir em tecnologias que incrementem a resiliência das hidrovias, como sistemas de alerta precoce e sensores para monitoramento dos níveis fluviais, possibilitando uma adaptação contínua às novas realidades ambientais. A criação de centros integrados de controle, que reúnam dados oriundos de diversas fontes e facilitem a comunicação entre órgãos reguladores, operadores e comunidades ribeirinhas, representa uma medida fundamental para garantir uma resposta de imediato, minimizando os impactos das adversidades climáticas.

Outro aspecto relevante refere-se ao papel da tecnologia na adaptação das hidrovias às mudanças climáticas. A utilização de tecnologias avançadas, como sistemas de radar para monitoramento meteorológico, drones para inspeção de áreas de difícil acesso e satélites para obtenção de imagens em tempo real, proporciona uma visão abrangente e acurada das condições ambientais que afetam a navegabilidade dos rios. Essas ferramentas permitem a identificação precoce de problemas, como o acúmulo de sedimentos e obstruções nos canais de navegação, possibilitando intervenções preventivas mais eficazes. O desenvolvimento de sistemas inteligentes, capazes de integrar esses diferentes dados e fornecer análises em tempo real, pode transformar substancialmente a gestão das hidrovias, tornando-a mais ágil, proativa e eficiente na prevenção de riscos e mitigação de impactos adversos.

Além da adoção de tecnologias de ponta, a capacitação dos profissionais envolvidos na gestão e operação das hidrovias é um elemento determinante para garantir a segurança e a sustentabilidade das operações. Treinamentos regulares e especializados, que contemplem tanto os aspectos técnicos da navegação quanto os desafios ambientais, são essenciais para preparar as equipes a lidar com as adversidades impostas pelas mudanças climáticas. A promoção de workshops, programas de treinamento contínuo e exercícios simulados, envolvendo operadores,

agentes fiscalizadores e comunidades locais, contribui para uma maior conscientização acerca dos riscos e para a criação de uma cultura de segurança integrada ao contexto ambiental. A capacitação não deve se limitar ao treinamento técnico, mas também incluir o desenvolvimento de habilidades para a gestão de crises, permitindo que os profissionais atuem de forma segura em situações críticas.

Outro ponto crítico é o impacto das mudanças climáticas sobre a biodiversidade dos rios e as implicações disso para a navegação. A degradação dos ecossistemas aquáticos, provocada tanto por eventos climáticos extremos quanto por atividades antropogênicas, pode resultar na perda de habitats, aumento da sedimentação dos rios e deterioração da qualidade da água, comprometendo diretamente a navegabilidade. Para mitigar esses efeitos, é necessário implementar práticas de conservação ambiental que assegurem a manutenção dos ecossistemas e promovam a integridade dos cursos d'água. A restauração de matas ciliares, a proteção das áreas de nascentes e a redução da poluição são exemplos de medidas que podem contribuir significativamente para reduzir a erosão, melhorar a qualidade da água e, conseqüentemente, beneficiar tanto o meio ambiente quanto as atividades de navegação. A sustentabilidade das hidrovias depende de um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a conservação dos recursos naturais, de modo a garantir a viabilidade a longo prazo das atividades de transporte fluvial.

Por fim, a cooperação internacional desempenha um papel fundamental na promoção da segurança da navegação fluvial em um cenário de mudanças climáticas. Países que compartilham bacias hidrográficas devem trabalhar em conjunto para desenvolver estratégias integradas de gestão de recursos hídricos, assegurar a aplicação de normas ambientais e promover a troca de conhecimentos e tecnologias. A criação de acordos de cooperação transfronteiriça pode facilitar a implementação de práticas sustentáveis, garantir a segurança das hidrovias e mitigar os impactos das mudanças climáticas sobre as operações de navegação. A colaboração entre nações permite não apenas uma gestão mais eficiente dos recursos naturais compartilhados, mas também o desenvolvimento de soluções inovadoras que beneficiem todas as partes envolvidas, promovendo uma abordagem holística e colaborativa para enfrentar os desafios ambientais e possibilitar a sustentabilidade das hidrovias.

## 2.6 SUSTENTABILIDADE E SEGURANÇA

A adoção de práticas sustentáveis deve ser considerada um componente fundamental para a segurança da navegação fluvial. A qualidade das águas e a conservação dos ecossistemas ribeirinhos exercem influência direta sobre a navegabilidade dos rios, uma vez que a poluição e a degradação ambiental podem acelerar o processo de assoreamento, dificultando a navegação e aumentando significativamente os riscos de acidentes. Além disso, a degradação dos habitats ribeirinhos compromete a estabilidade das margens, aumentando a erosão e criando obstáculos que afetam diretamente a segurança das embarcações e a eficiência das operações hidroviárias. Dessa forma, a sustentabilidade ambiental emerge como um fator estratégico para a manutenção de condições adequadas de navegabilidade e segurança.

Para assegurar uma integração positiva entre sustentabilidade e segurança, é necessário que políticas ambientais sejam desenvolvidas de maneira sinérgica com as práticas de segurança na navegação. A implementação de políticas de sustentabilidade que promovam o uso racional dos recursos hídricos e a conservação dos ecossistemas aquáticos é fundamental para a viabilidade de longo prazo do transporte hidroviário. Essas políticas devem contemplar medidas rigorosas de controle da poluição e incentivar práticas como o manejo adequado dos resíduos gerados pelas embarcações, a utilização de combustíveis menos poluentes e a modernização das tecnologias de propulsão. Tais práticas não apenas minimizam os impactos ambientais, mas também contribuem para uma operação mais eficiente e segura, ao reduzir os riscos de acidentes decorrentes da degradação do ambiente aquático. Além disso, as práticas sustentáveis devem incluir a modernização da infraestrutura hidroviária com tecnologias de menor impacto ambiental. A necessidade de dragagem na hidrovia é fator fundamental para tráfego de grandes embarcações. Segundo Oliveira (2021, p. 55), "a manutenção regular da dragagem é crucial para evitar encalhes e garantir a continuidade das operações na Hidrovia Tietê-Paraná". A dragagem adequada oferece múltiplos benefícios, incluindo a prevenção de acidentes, a melhoria da eficiência do transporte e a redução de custos operacionais. Ribeiro (2020, p. 45) observa que "a dragagem adequada pode aumentar a capacidade de carga das embarcações, resultando em maior eficiência

econômica". Além disso, ela contribui para a prevenção de alagamentos e outros problemas ambientais, como apontado por Silva (2019, p. 89).

O uso de dragagem seletiva, associado a tecnologias de monitoramento ambiental, pode reduzir substancialmente os impactos negativos sobre a fauna e a flora aquáticas, garantindo a manutenção da biodiversidade e a navegabilidade. A construção de estruturas de proteção contra a erosão das margens, como a restauração de matas ciliares e a criação de barreiras vegetativas, também é imprescindível para evitar o colapso das margens dos rios e, conseqüentemente, assegurar tanto a segurança das embarcações quanto a preservação dos ecossistemas adjacentes.

A eficiência energética das operações hidroviárias é outro aspecto relevante no contexto da sustentabilidade e da segurança. A adoção de tecnologias de propulsão mais eficientes, como motores híbridos e sistemas de propulsão elétrica, reduz o consumo de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa, diminuindo a pegada de carbono das operações de navegação. Essa modernização tecnológica contribui diretamente para a segurança das embarcações, uma vez que motores mais eficientes e confiáveis reduzem a probabilidade de falhas mecânicas, aumentando a segurança das operações. Além disso, a integração de sistemas inteligentes de gestão de energia a bordo das embarcações permite um controle mais preciso do consumo de combustível, otimizando a eficiência operacional e minimizando os custos ambientais e econômicos.

Por fim, é importante destacar que a adoção de práticas sustentáveis na navegação fluvial deve ser acompanhada por esforços contínuos de monitoramento e avaliação dos impactos ambientais e operacionais. A criação de indicadores de desempenho ambiental e de segurança, que permitam avaliar a eficácia das práticas implementadas e identificar áreas de melhoria, é fundamental para a promoção de um ciclo contínuo de aperfeiçoamento. Além disso, a colaboração entre órgãos reguladores, operadores de embarcações, comunidades ribeirinhas e pesquisadores é fundamental para o desenvolvimento de soluções inovadoras e para a criação de um ambiente de governança participativa. Apenas por meio de uma abordagem integrada e colaborativa será possível garantir que a navegação fluvial seja simultaneamente segura, eficiente e sustentável, promovendo benefícios econômicos, sociais e ambientais para as regiões por onde passam as hidrovias.

## 2.7 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E SEGURANÇA

As inovações tecnológicas desempenham um papel crucial na segurança da navegação em hidrovias, oferecendo soluções avançadas para prevenir acidentes e melhorar a eficiência operacional. No entanto, a implementação dessas tecnologias requer investimentos substanciais, treinamento adequado e uma abordagem colaborativa entre os diversos stakeholders. "O futuro da navegação fluvial depende da adoção e integração eficazes de inovações tecnológicas que garantam a segurança e a sustentabilidade das operações" (Santos, 2020, p. 110).

Apesar das dificuldades enfrentadas, é possível afirmar que os avanços tecnológicos e a integração entre os diversos agentes envolvidos na navegação têm contribuído para a melhoria da segurança das hidrovias. A introdução de novas tecnologias, como o uso de drones para monitoramento de trechos críticos e a automação de processos de controle de tráfego, é um exemplo de como o setor tem buscado soluções inovadoras para superar os desafios garantindo operações mais estáveis e funcionais.

Embora as inovações tecnológicas ofereçam inúmeros benefícios, sua implementação enfrenta desafios significativos. "Os custos elevados de aquisição e manutenção, a necessidade de infraestrutura de suporte e o treinamento de pessoal são barreiras importantes" (Oliveira, 2019, p. 45). Entretanto, é necessário que esses avanços sejam acompanhados por políticas públicas que incentivem a adoção dessas tecnologias e promovam a modernização do setor de forma equitativa. O incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento de novas soluções tecnológicas também é indispensável para garantir que o setor continue avançando e possa responder de forma produtiva aos desafios emergentes. Diferente do Brasil, especificamente Tietê-Paraná, no Rio Mississippi, o corpo de engenheiros do exército dos EUA (USACE) implementou sistemas avançados de monitoramento, incluindo sensores e câmeras, para rastrear níveis de água, taxas de fluxo e riscos potenciais. Esses sistemas fornecem dados em tempo real, permitindo respostas oportunas a mudanças nas condições (Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, 2020). Existe um projeto que está revolucionando usando robóticos para operações de afundamento de esteiras. Essa tecnologia reduz a necessidade de trabalho manual

e aumenta a segurança (Salas O'Brien, 2024). Na Bacia do Baixo Rio Mississippi, técnicas de agricultura de precisão, como seleção computadorizada de furos e automação de bombas, melhoraram a eficiência da irrigação e reduziram o uso de águas subterrâneas (ASABE, 2020).

Um outro ponto importante na inovação é a estratégia de restauração e resiliência do Rio Mississippi (MRRRS) que se concentra em melhorar a qualidade da água, restaurar habitats e eliminar espécies invasoras (EPA, 2022). Essa estratégia envolve investimentos federais e estaduais para melhorar a saúde ecológica do rio (EPA, 2022). O Departamento de Segurança Interna (DHS) desempenha um papel vital na proteção do Rio Mississippi ao implantar pessoal de segurança treinado, sistemas de vigilância e mecanismos avançados de alerta para detectar e responder a ameaças potenciais (Aboutriver, 2024). Já no âmbito de Gestão de Inundações, existem estratégias abrangentes inundações, incluindo elementos estruturais e não estruturais, que foram implementadas para mitigar o impacto das inundações. Essas medidas incluem diques, muros de contenção e áreas de inundação controladas para proteger comunidades e infraestrutura (Galloway, 2024). A implementação dessas inovações e medidas de segurança melhorou significativamente a eficiência operacional e a segurança do Rio Mississippi. O uso de tecnologia robótica e agricultura de precisão reduziu os custos de mão de obra e o impacto ambiental, enquanto medidas de segurança aprimoradas minimizaram os riscos e garantiram a proteção da infraestrutura vital (Salas O'Brien, 2024; ASABE, 2020).

## 2.8 CULTURA DE SEGURANÇA

Outro ponto determinante para a segurança na navegação fluvial é a criação de uma cultura de segurança entre todos os envolvidos nas operações hidroviárias. A cultura de segurança se refere ao comprometimento coletivo com práticas e comportamentos que minimizam riscos e previnem acidentes. Isso inclui desde a adesão rigorosa às normas de segurança por parte das embarcações até o desenvolvimento de políticas organizacionais que priorizem a segurança em todas as etapas das operações.

Conforme apontado por Tokarski (2019), a promoção de campanhas de conscientização e treinamentos regulares pode ser uma ferramenta eficaz para fortalecer a cultura de segurança no setor hidroviário, garantindo que todos os envolvidos compreendam a importância de suas ações na prevenção de acidentes.

A cultura de segurança deve ser promovida por meio de uma abordagem integrada, que inclua tanto ações educativas quanto medidas regulatórias que incentivem as boas práticas. A implementação de programas de auditoria de segurança, nos quais as operações das embarcações são periodicamente avaliadas quanto ao cumprimento das normas, é uma estratégia que pode contribuir significativamente para o fortalecimento dessa cultura. Além disso, o uso de incentivos para empresas públicas, privadas e operadores que mantêm altos padrões de segurança, como a redução de taxas portuárias, é uma forma eficaz de promover o comprometimento com a segurança no setor hidroviário.

Portanto, a segurança na navegação fluvial é um tema complexo que envolve fatores humanos, estruturais, tecnológicos, legislativos e ambientais. Para garantir que as operações sejam confiáveis e produtivas, é essencial que todos os envolvidos no setor de navegação fluvial trabalhem de maneira coordenada, promovendo a integração entre tecnologias desenvolvidas, regulamentações adequadas e práticas sustentáveis.

Além disso, deve-se fomentar a capacitação contínua dos operadores e a criação de uma cultura de segurança que priorize a prevenção de riscos e a mitigação de impactos. O fortalecimento da fiscalização e a modernização da infraestrutura são aspectos básicos para garantir a segurança das operações. Somente com o comprometimento coletivo e uma abordagem integrada será possível construir um sistema de navegação fluvial seguro, sustentável e eficiente, que contribua de maneira significativa para o desenvolvimento econômico e social das regiões atendidas pelas hidrovias.

É fundamental a cooperação entre os agentes envolvidos, incluindo autoridades, empresas de navegação, comunidades ribeirinhas e organizações ambientais, para garantir que as operações sejam realizadas de forma responsável e que os recursos naturais sejam preservados. Além disso, a adoção de uma abordagem proativa, baseada em inovações tecnológicas e em um compromisso contínuo com a capacitação dos profissionais, permitirá que o setor hidroviário se

desenvolva de forma integrada e resiliente, capaz de enfrentar os desafios atuais e futuros.

Assim, o fortalecimento das políticas públicas, a modernização da infraestrutura e a criação de uma cultura de segurança sólida são elementos-chave para transformar a navegação fluvial em um modal de transporte cada vez mais competitivo e seguro.

### **3 HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ E RIO MISSISSIPI: UM PARALELO**

A Bacia Hidrográfica do Tietê-Paraná e o Rio Mississippi representam dois dos mais importantes sistemas de navegação fluvial do Brasil e dos Estados Unidos, respectivamente. Ambos desempenham papéis cruciais no desenvolvimento logístico e econômico de suas regiões, sendo elementos centrais para o escoamento de produtos e a integração de áreas produtivas. No entanto, esses dois sistemas enfrentam desafios distintos em termos de condicionantes geográficos e operacionais, o que torna uma análise comparativa altamente relevante para compreender como as experiências norte-americanas podem fornecer subsídios valiosos para a otimização do sistema brasileiro.

A Hidrovia Tietê-Paraná está situada na região Sudeste do Brasil, abrangendo diversos estados e conectando importantes áreas produtoras do país. Possuindo mais de 2.400 km de rotas navegáveis, abrangendo 5 unidades federativas, além do Paraguai e da Argentina. Para acessar este último, ainda é necessário encontrar uma solução para a transposição da barragem de Itaipu. Administrativamente, a Hidrovia Tietê-Paraná está segmentada em 2 trechos: o Tietê (localizado no estado de São Paulo) e o Paraná (abrangendo os estados do Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais), sob a responsabilidade do Departamento Hidroviário (ligado à Secretaria de Transportes do estado de São Paulo) e da AHRANA (Administração da Hidrovia do Paraná), que está vinculada ao Ministério dos Transportes, respectivamente. Entretanto, a bacia enfrenta desafios geográficos significativos, tais como variações sazonais nos níveis de água e sedimentação excessiva, que comprometem diretamente a navegabilidade e impõem limitações substanciais à operação contínua e eficiente do sistema. Para mitigar esses impactos, o governo brasileiro tem promovido ações de desassoreamento e

dragagem da hidrovía. Contudo, esses esforços são frequentemente insuficientes para garantir uma navegação segura durante todo o ano, devido à natureza paliativa das soluções empregadas e à falta de um planejamento de longo prazo. A carência de uma gestão integrada e a falta de investimentos consistentes limitam o pleno aproveitamento do potencial da hidrovía no âmbito nacional e internacional, comprometendo sua competitividade. Segundo pesquisas, empresas autônomas e privadas vêm apresentando aos órgãos competentes, estudo de um Plano de Desenvolvimento de Infraestrutura para Exportação de Etanol na hidrovía, viabilizando as exportações, principalmente considerando que o crescimento da produção ocorrerá cada vez mais para o interior do país e, portanto, cada vez mais distante dos terminais de embarque para a exportação.

O Rio Mississippi, por sua vez, constitui uma das maiores e mais importantes hidrovias do mundo, com cerca de 3.700 km de extensão, desempenhando um papel essencial na economia dos Estados Unidos. Cruzando diversas regiões produtivas, o Mississippi conecta o centro do país ao Golfo do México, sendo vital para o transporte de produtos agrícolas, combustíveis e bens industriais. A geografia do Mississippi, caracterizada por um fluxo de água mais constante e por uma vasta rede de afluentes, favorece a navegação de grandes embarcações durante a maior parte do ano. Todavia, o rio também enfrenta desafios, como as cheias sazonais, que podem comprometer a segurança da navegação e demandar esforços coordenados de controle e mitigação. Um dos grandes diferenciais do Rio Mississippi está no uso extensivo de tecnologias de monitoramento e controle das cheias. Sistemas de alerta precoce e medidas preventivas de contenção são rotineiramente empregados para mitigar os impactos das inundações sobre as atividades de transporte, aumentando a resiliência dos sistemas hidroviários. Essa abordagem tecnológica poderia ser amplamente adotada no contexto brasileiro para incrementar a eficiência e a segurança da Hidrovía Paraná-Tietê.

Em termos de relevância econômica, tanto a Hidrovía Tietê-Paraná quanto o Rio Mississippi são essenciais para o desenvolvimento regional e nacional de seus respectivos países. A Hidrovía Tietê-Paraná contribui significativamente para a competitividade do agronegócio brasileiro, permitindo o escoamento de grandes volumes de carga com custos relativamente mais baixos em comparação ao transporte rodoviário. O Rio Mississippi, por outro lado, é fundamental para a

logística dos Estados Unidos, proporcionando um meio de transporte econômico para uma vasta gama de produtos e promovendo a integração econômica das regiões centrais do país aos mercados internacionais, especialmente por meio do Porto de Nova Orleans.

A gestão eficiente dos recursos e a estruturação de parcerias público-privadas têm se mostrado fundamentais para a manutenção e modernização da infraestrutura da hidrovia Mississippi. Esse modelo de gestão colaborativa entre o setor público e privado assegura não apenas a disponibilidade de recursos financeiros, mas também a troca de conhecimentos técnicos e a celeridade na solução de problemas operacionais. A adoção de tais parcerias poderia constituir uma estratégia vantajosa para a Hidrovia Tietê-Paraná, promovendo investimentos mais robustos em infraestrutura, manutenção e inovação tecnológica.

Ambos os sistemas hidroviários enfrentam desafios operacionais que afetam sua eficiência. No caso da Hidrovia Tietê-Paraná, além das dificuldades naturais, há também deficiências em termos de manutenção e modernização da infraestrutura, comprometendo diretamente a capacidade operacional da hidrovia. Problemas como a insuficiência de dragagem, a limitação das eclusas e a carência de investimentos em sinalização e monitoramento dificultam a navegação de embarcações de maiores portes, como navios. O Rio Mississippi, embora conte com uma infraestrutura mais desenvolvida, ainda enfrenta desafios relacionados à gestão das cheias e ao desgaste natural das estruturas de navegação, que requerem intervenções e investimentos constantes para manter a hidrovia operando de maneira eficiente e segura.

A principal diferença reside na extensão e no fluxo dos rios. "Enquanto o Rio Mississippi é um rio de planície com um fluxo constante, a Hidrovia Tietê-Paraná é composta por rios de planalto com quedas d'água que requerem a construção de eclusas" (Johnson, 2019, p. 93). Além disso, as questões ambientais como poluição e sedimentação têm impactos diferenciados em cada hidrovia devido às características geográficas e climáticas distintas.

Assim, a analogia entre os rios, sob uma perspectiva de condicionantes geográficos, relevância econômica e desafios operacionais, permite compreender a importância de ambos os sistemas e os obstáculos que cada uma precisa superar. Uma análise aprofundada e comparativa dos desafios enfrentados por cada hidrovia

pode oferecer subsídios importantes para que o Brasil invista em soluções tecnológicas e sustentáveis, visando aprimorar a eficiência do sistema de transporte fluvial e maximizar o desenvolvimento logístico do país. A comparação entre a Hidrovia Tietê-Paraná e o Rio Mississippi revela a importância das hidrovias para o transporte e a economia, bem como os desafios que enfrentam para manter a navegabilidade e a segurança. "As lições aprendidas na gestão dessas hidrovias podem ser aplicadas mutuamente para melhorar as práticas de manutenção e operação"

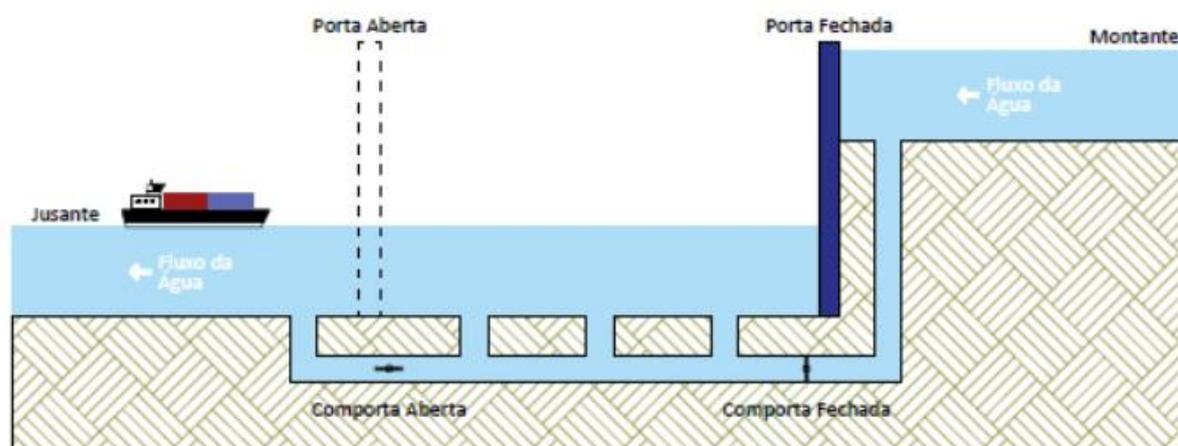
### 3.1 INFRAESTRUTURA NA HIDROVIA PARANÁ-TIETÊ

Apesar de compartilharem semelhanças, especialmente no que se refere ao importante papel que desempenham para a economia e a logística de seus países, os sistemas de navegação da Hidrovia Paraná-Tietê e do Rio Mississippi enfrentam desafios específicos relacionados à sua infraestrutura. Assim, uma análise comparativa torna-se bastante relevante para identificar melhores práticas nos Estados Unidos que possam ser adaptadas para aprimorar a infraestrutura e operação da Hidrovia Tietê-Paraná.

A infraestrutura da Hidrovia Tietê-Paraná desempenha um papel essencial para a navegação interior no Brasil. Segundo Ferreira (2000), o sistema é composto por eclusas, canais e outras estruturas que facilitam a navegação de embarcações de menores portes.

A hidrovia possui 10 eclusas, que são construções que funcionam como elevadores de água, permitindo que embarcações possam transpor desníveis ao longo do curso do rio. Cada eclusa é composta por duas comportas que controlam a entrada e saída de água, regulando o nível para que a embarcação possa ser elevada ou abaixada até alcançar a cota desejada.

Figura 1 - Funcionamento de eclusas



Fonte: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/aquaviario/eclusas/eclusas\\_nova](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/aquaviario/eclusas/eclusas_nova). Acesso: 10/09/2024

Contudo, no Brasil, o sistema de eclusas enfrenta desafios como a necessidade constante de dragagem, a fim de controlar o assoreamento e manter as profundidades adequadas para navegação segura (AMORIM et al., 2011). A dragagem é uma atividade de manutenção essencial, que envolve a remoção de sedimentos acumulados no leito do rio, garantindo a profundidade mínima necessária para a navegação. Devido sua profundidade, na hidrovia Tietê-Paraná, o transporte é feito por comboios compostos de um empurrador e um conjunto de balsas, perfazendo 137 m de comprimento e até 6.000 t de carga útil, a uma velocidade de 12 km/h. A dragagem automatizada é uma inovação principal. "O uso de equipamentos de dragagem automatizados e controlados por GPS melhora a precisão e a eficiência na remoção de sedimentos, garantindo a profundidade adequada dos canais navegáveis" (Ribeiro, 2021, p. 52). Essa tecnologia reduz os custos operacionais e minimiza os impactos ambientais.

Figura 2 - Equipamento de dragagem



Fonte: <https://allonda.com/blog/gestao-de-residuo-pt/draga-conheca-diferentes-equipamentos/>  
Acesso: 10/09/2024

Além disso, a utilização de sistemas de monitoramento contribui para a conservação da qualidade da água e a gestão eficiente dos recursos hídricos.

A falta de investimentos regulares em manutenção e modernização das infraestruturas compromete a eficiência operacional da hidrovia, gerando gargalos que afetam diretamente o escoamento de produtos agroindustriais (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ, 2024). Ademais, a ausência de uma política pública robusta voltada para o desenvolvimento contínuo da infraestrutura hídrica reflete em uma limitação significativa para o crescimento da logística e da competitividade da região.

Os canais são outra parte essencial da infraestrutura da Hidrovia Tietê-Paraná. Eles são vias artificiais ou partes do rio que foram adaptadas para permitir a passagem segura das embarcações. A manutenção dos canais envolve não apenas a dragagem, mas também a sinalização adequada para indicar áreas de risco, como bancos de areia ou locais de pouca profundidade.

Figura 3 - Canal de navegação



Fonte: <https://www.jornalpelicano.com.br/2021/06/canais-de-navegacao/> Acesso: 20/09/2024

A sinalização fluvial no Brasil ainda carece de tecnológica mais avançada, como sistemas automatizados de monitoramento, que poderiam melhorar a segurança a navegação, evitando assim possíveis acidentes ou incidentes relacionados a navegação. Por se tratar de balizamento para as embarcações, como áreas, rotas e profundidades, a sinalização na hidrovia Tietê-Paraná é essencial para proporcionar uma navegação precisa e confiável, especialmente nas áreas de difícil acesso ou com alto tráfego de embarcações.

Figura 4 - Sinalização de hidrovia



Fonte: [http://www.sph.rs.gov.br/sph2005/hidrovias/sinalizacao\\_oqe.php](http://www.sph.rs.gov.br/sph2005/hidrovias/sinalizacao_oqe.php). Acesso: 01/10/2024

No Rio Mississippi, a infraestrutura é altamente desenvolvida e considerada um modelo de eficiência para o transporte hidroviário. Com uma extensão de aproximadamente 3.700 km, o rio é dotado de um sistema de eclusas modernas, diques e barreiras de contenção, que ajudam a regular o fluxo da água e garantir a navegabilidade durante todo o ano (UNITED STATES COAST GUARD, 2022).

Eclusas e barragens desempenham um importante na manutenção de um canal navegável para embarcações comerciais. "O sistema de eclusas e barragens no Rio Mississippi consiste em 29 eclusas e barragens que ajudam a gerenciar os níveis de água e permitem a passagem de barcas e outras embarcações" (Johnson, 2021, p. 58). Essas estruturas são essenciais para dar suporte ao transporte de mercadorias, especialmente produtos agrícolas do Centro-Oeste para mercados internacionais via Golfo do México.

Os portos ao longo do Rio Mississippi são centros vitais para a troca de mercadorias. O Porto de Nova Orleans, por exemplo, é um dos maiores e mais movimentados portos dos Estados Unidos. "A infraestrutura do Porto de Nova Orleans inclui instalações modernas para manuseio de uma ampla gama de cargas,

incluindo contêineres, commodities a granel e produtos fracionados" (Brown, 2019, p. 63).

Com a infraestrutura envelhecida, se torna um dos principais desafios enfrentados pelo Rio Mississippi. Muitos dos diques, eclusas e barragens foram construídos no início ou meados do século XX e agora estão chegando ao fim de sua vida útil pretendida. "A infraestrutura envelhecida apresenta riscos significativos para a estabilidade e funcionalidade do sistema do Rio Mississippi, necessitando de reparos e atualizações urgentes" (Smith, 2020, p. 79).

Preocupações ambientais Desafios ambientais, como sedimentação, erosão e poluição, são questões críticas que afetam infraestrutura do Rio Mississippi. "A sedimentação reduz a profundidade dos canais do rio, dificultando a navegação e aumentando a necessidade de operações de dragagem" (Johnson, 2021, p. 84). Além disso, a erosão das margens do rio pode enfraquecer as estruturas dos diques e levar a brechas durante eventos de águas altas. A poluição do escoamento agrícola, descargas industriais e desenvolvimento urbano representam ameaças à qualidade da água e aos ecossistemas aquáticos.

o aumento do investimento em manutenção e atualizações de infraestrutura é essencial para estender a vida útil de estruturas críticas. "Investimentos estratégicos na modernização de diques, eclusas e barragens podem aumentar a resiliência e a eficiência do sistema do Rio Mississippi" (Smith, 2020, p. 93). Em segundo lugar, a adoção de práticas ambientais sustentáveis, como a restauração de pântanos e a implementação de melhores práticas de gestão para a agricultura, pode mitigar a poluição e melhorar a qualidade da água. "Projetos de restauração de pântanos podem fornecer amortecedores naturais contra inundações e aumentar a biodiversidade" (Johnson, 2021, p. 99).

Integrar a resiliência climática ao planejamento de infraestrutura é crucial. "Projetar infraestrutura para suportar condições climáticas futuras ajudará a mitigar os impactos de eventos climáticos extremos e garantir a funcionalidade de longo prazo" (Miller, 2022, p. 76).

Figura 5 - Navegação no Rio Mississippi



Fonte: <https://www.expressocanela.com.br/viagens/2015/4/21/mississippi-river>. Acesso: 15/10/2024

O Rio Mississippi possui cerca de 29 eclusas e barragens ao longo de sua extensão. As eclusas do Mississippi são significativamente maiores e mais tecnológicas do que as encontradas na Hidrovia Tietê-Paraná. Elas são equipadas com sistemas automatizados de controle de comportas, o que permite uma operação mais ágil e eficiente, reduzindo o tempo de espera para as embarcações.

Os diques e barreiras de contenção desempenham um papel vital no controle do nível da água, protegendo as margens do rio e evitando inundações que poderiam comprometer tanto a infraestrutura quanto as operações de navegação. Além disso, as estruturas de controle de cheias são um diferencial importante do sistema do Mississippi, visto que ajudam a mitigar os riscos de inundações e permitem uma navegação mais segura, mesmo em épocas de maior precipitação (SAFETY4SEA, 2024).

Figura 6 - Dique

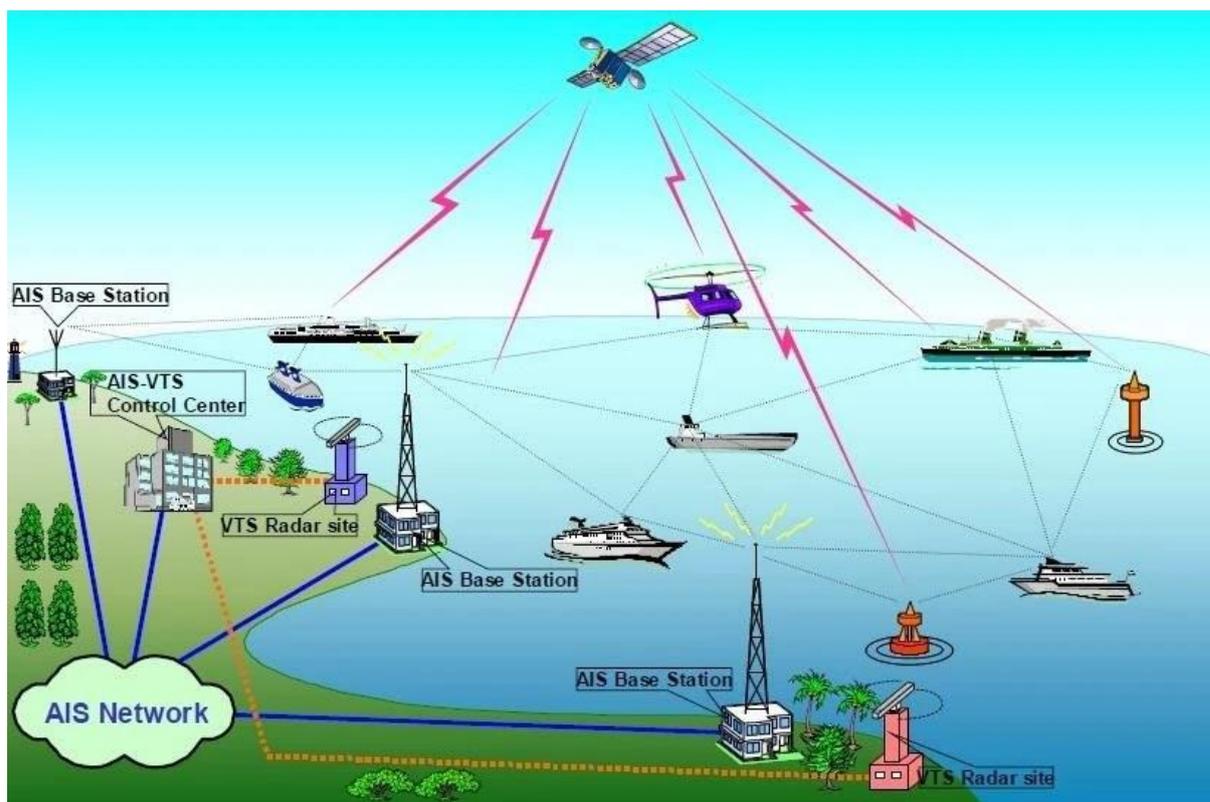


Fonte: <https://www.megacurioso.com.br/feitos-absurdos/69459-veja-como-as-pessoas-protegeram-suas-casas-durante-uma-cheia-do-mississippi.htm> Acesso: 22/09/2024

O sistema de sinalização e monitoramento do Rio Mississippi é um dos mais avançados do mundo. Ele inclui o uso de sistemas automáticos de identificação (AIS) e de serviços de tráfego de embarcações (VTS), que monitoram em tempo real a posição, velocidade e direção das embarcações, garantindo a segurança da navegação (SHELTER, 2024).

O Sistema de Identificação Automática (AIS) foi criado com o único propósito de aprimorar a segurança marítima, possibilitando que embarcações próximas trocassem automaticamente dados sobre seu nome, direção, velocidade, tipo, carga, entre outros. A troca dessas informações permite que as tripulações em cada embarcação tomem decisões mais acertadas em relação à probabilidade de encontros imediatos e à necessidade de alterar a rota e/ou velocidade da embarcação. Além disso, facilita o contato entre os navios por rádio, com a probabilidade de eliminar qualquer incerteza referente a navegação.

Figura 7 - Funcionamento do AIS

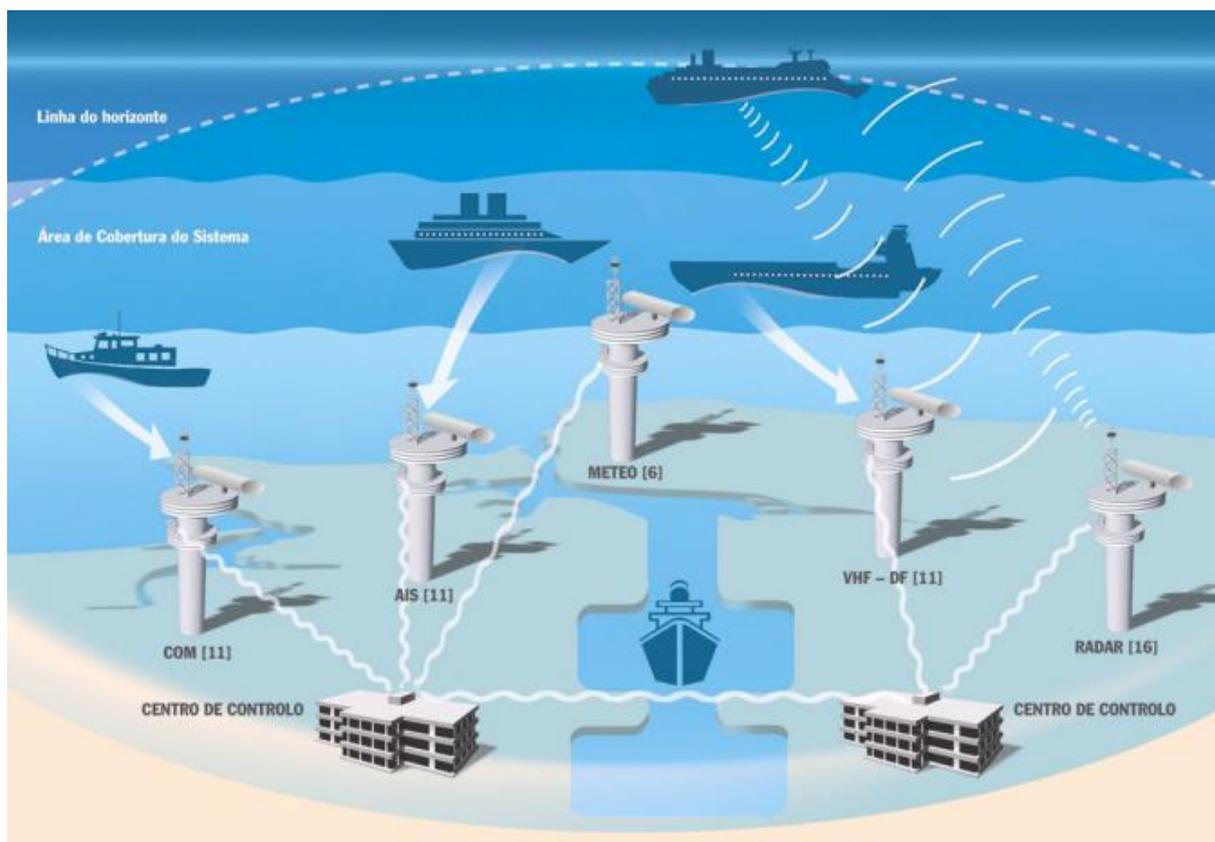


Fonte: <https://www.yachting.com/pt-pt/news/what-is-ais-and-how-it-works> Acesso: 02/08/2024

Já o Serviço de Tráfego de Embarcação tem como objetivo aumentar a segurança e a eficácia da navegação em regiões específicas, como portos e canais. Ele funciona de maneira similar ao controle de tráfego aéreo, com operadores responsáveis por coordenar o movimento das embarcações em áreas críticas, como portos e estreitos. Também é capaz de monitorar a movimentação de embarcações em tempo real, utilizando radares, câmeras e outros dispositivos de vigilância. Auxilia na prevenção de colisões e incidentes, fornecendo informações essenciais sobre as condições de navegação e alertas sobre potenciais riscos, além de facilitar a articulação entre diversas embarcações e as autoridades portuárias, otimizando o fluxo de tráfego. Em alguns casos, contribui para a preservação do meio ambiente, monitorando atividades que possam provocar poluição ou danos ecológicos.

O investimento contínuo em tecnologia e manutenção reflete uma clara prioridade por parte do governo e das autoridades locais garantindo sua eficiência e segurança do transporte hidroviário, estabelecendo um modelo de referência para outras hidrovias ao redor do mundo.

Figura 8 - Fundionamento do VTS



Fonte: <https://www.dgrm.pt/sistema-vts> Acesso: 02/08/2024

A comparação da infraestrutura da Hidrovia Tietê-Paraná com a do Rio Mississippi evidencia discrepâncias significativas em termos de capacidade e eficiência operacional. Enquanto o Rio Mississippi se destaca por contar com eclusas automatizadas e sistemas avançados de controle de cheias, permitindo uma navegação segura e eficiente ao longo de toda sua extensão, a Hidrovia Tietê-Paraná depende de estruturas simplificadas que carecem de modernização e manutenção adequada. Essa diferença reflete diretamente no desempenho e na segurança das operações, evidenciando a necessidade de investimentos estruturais na infraestrutura brasileira.

No Brasil, a manutenção da dessa hidrovia, especialmente no que se refere ao desassoreamento dos rios, revela-se precária e insuficiente, prejudicando severamente o tráfego de embarcações de maior porte e, conseqüentemente, reduzindo a capacidade de carga transportada. Em contraste, os investimentos substanciais na infraestrutura hidroviária dos Estados Unidos demonstram um compromisso claro com a eficiência e a segurança, elementos essenciais para a

competitividade logística. Nesse sentido, a adoção de políticas que incentivem a modernização das eclusas e a aplicação de tecnologias avançadas de monitoramento poderia melhorar significativamente a eficiência e a segurança da Hidrovia Tietê-Paraná.

Contudo, é essencial reconhecer que os contextos geográfico e econômico dos dois sistemas são distintos, tornando inviável a simples replicação das soluções adotadas no Rio Mississippi no Brasil sem as devidas adaptações. A Bacia do Tietê-Paraná, caracterizada por severos problemas de assoreamento e pela degradação da vegetação ciliar, demanda soluções específicas que levem em consideração as particularidades ambientais locais. Assim, embora o Mississippi sirva como inspiração para a modernização da infraestrutura brasileira, o planejamento e a execução das melhorias devem ser realizados respeitando as especificidades regionais e as condições socioambientais do país.

A implementação de tecnologias de controle de fluxo, por exemplo, exigiria uma análise detalhada das características dos rios brasileiros, de modo a garantir que as adaptações fossem eficazes e sustentáveis. Além disso, o envolvimento de diferentes stakeholders, incluindo governos locais e autoridades portuárias, é fundamental para assegurar que as melhorias na infraestrutura sejam socialmente inclusivas e ambientalmente responsáveis. Essa abordagem integrada e participativa torna fundamental para promover um desenvolvimento hidroviário sustentável e resiliente.

Em termos de sustentabilidade e manutenção, o Rio Mississippi se diferencia por sua infraestrutura robusta de contenção e controle de cheias, a qual minimiza os impactos das inundações e garante uma navegação mais previsível. Já a Bacia do Tietê-Paraná carece de medidas resultantes para a contenção e controle de inundações, o que a torna vulnerável a eventos climáticos extremos e compromete a regularidade das operações de navegação. A adoção de soluções adaptadas de controle de cheias, como barreiras de contenção e reservatórios para armazenar o excesso de água durante períodos de alta precipitação, poderia representar um passo importante para aumentar a estabilidade e a segurança das operações na hidrovia.

Portanto, a comparação entre a infraestrutura dos rios ressalta a importância de investimentos contínuos e inovações das estruturas para garantir o desempenho

e a segurança das hidrovias. Embora o Rio Mississippi sirva como referência em termos de infraestrutura e eficiência operacional, é imprescindível que o Brasil adapte essas soluções às suas particularidades, considerando não apenas os desafios naturais, mas também as necessidades econômicas e sociais da região. Investir em tecnologia, modernização e estratégias de controle de cheias adaptadas às condições locais são essenciais para transformar a Hidrovia Tietê-Paraná em um sistema mais eficiente e competitivo, capaz de impulsionar o desenvolvimento econômico e a integração regional, de forma similar ao impacto positivo do Rio Mississippi nos Estados Unidos. Além disso, a criação de parcerias público-privadas é uma estratégia relevante para viabilizar os investimentos necessários, promovendo uma gestão compartilhada e eficiente dos recursos disponíveis para a infraestrutura hidroviária.

### 3.2 REGULAMENTAÇÕES E POLÍTICAS DE SEGURANÇA NO BRASIL E NOS EUA

A segurança na Hidrovia Tietê-Paraná é regida por um conjunto de regulamentações estabelecidas por órgãos governamentais e agências reguladoras. A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e a Marinha do Brasil são responsáveis por fiscalizar e garantir o cumprimento das normas de segurança. Segundo Silva (2020, p. 54), "as regulamentações de segurança incluem requisitos técnicos para as embarcações, normas de operação e protocolos de emergência".

Entre as principais regulamentações estão a obrigatoriedade de equipamentos de segurança a bordo, como coletes salva-vidas e dispositivos de sinalização, e a realização de inspeções periódicas nas embarcações. "A conformidade com os regulamentos de segurança é crucial para prevenir acidentes e garantir a integridade das operações na hidrovia" (Oliveira, 2021, p. 62).

Ambos os países cumprem as Regras Internacionais para Evitar Abalroamentos no Mar (COLREGS). Essas regras foram estabelecidas pela Organização Marítima Internacional (IMO) para assegurar a navegação segura e prevenir colisões entre embarcações. Essas regras são aplicáveis a todos os navios em mar aberto e em águas conectadas ao mar. As COLREGS consistem em 41 regras divididas em cinco partes principais: regras gerais, regras de governo e

manobra, regras de luzes e marcas, regras de sinais sonoros e luminosos, e regras complementares. Segundo Smith (2021, p. 34), "as COLREGS são essenciais para a prevenção de colisões, estabelecendo procedimentos claros para manobras e a comunicação entre navios".

Uma das regras mais conhecidas é a Regra 5, que exige a vigilância constante por todos os meios disponíveis para uma navegação segura. "A vigilância eficaz é fundamental para detectar e evitar riscos de colisão" (Brown, 2020, p. 48). Além disso, as regras sobre luzes e marcas garantem que as embarcações sejam visíveis durante a noite e em condições de baixa visibilidade, prevenindo acidentes.

A falta de conscientização e treinamento adequado é um dos principais desafios no cumprimento das COLREGS. De acordo com Oliveira (2019, p. 65), "muitos acidentes marítimos ocorrem devido à inabilidade dos tripulantes em interpretar e seguir as regras estabelecidas". A capacitação contínua e o treinamento prático são essenciais para garantir que as tripulações compreendam e implementem as regras corretamente. As variações regionais nas interpretações e adaptações das COLREGS também podem dificultar o cumprimento uniforme. "Diferenças culturais e operacionais podem levar a variações na aplicação das regras, criando potencial para mal-entendidos e colisões" (Mendes, 2021, p. 58). A harmonização das práticas regionais com as diretrizes internacionais é crucial para a segurança global.

As regulamentações e políticas de segurança para a navegação hidroviária são pilares fundamentais para a operacionalidade dos sistemas fluviais. No Brasil, a Hidrovia Tietê-Paraná além cumprimento das regras e regulamentos da IMO, também é regida pela Lei nº 9.537/1997, conhecida como Lei de Segurança do Tráfego Aquaviário (LESTA), que estabelece normas para a navegação segura em águas interiores (BRASIL, 1997).

Nos Estados Unidos, a navegação no Rio Mississippi é regulamentada pela Guarda Costeira dos EUA e pelo *Army Corps of Engineers*, que aplicam uma combinação de leis federais e locais para assegurar a segurança das operações fluviais.

Embora ambos os países possuam regulamentações voltadas para a segurança da navegação, é inegável a disparidade na efetividade dessas políticas. Nos Estados Unidos, observa-se um comprometimento expressivo com a aplicação

rigorosa das normas, refletindo um sistema institucional robusto e preparado para atender às demandas da navegação contemporânea. Em comparação, no Brasil, existe efetividade da legislação e cumprimento pelos órgãos competentes, mas as limitações por fatores estruturais, como a insuficiência de recursos deixa o sistema fragilizado. Essa disparidade evidencia a necessidade premente de modernização da infraestrutura de fiscalização e de um maior comprometimento institucional para que as diretrizes de segurança possam ser realmente implementadas.

A fiscalização das normas de segurança na hidrovia Brasileira é realizada pela Marinha do Brasil, que enfrenta desafios significativos devido à escassez de recursos e à extensão territorial da hidrovia. De acordo com Ferreira (2000), a falta de infraestrutura adequada para a fiscalização eficaz compromete o cumprimento das normas de segurança, contribuindo para o aumento do risco de acidentes. Em contrapartida, a Guarda Costeira dos Estados Unidos possui uma presença efetiva ao longo do Rio Mississippi, utilizando tecnologias avançadas que facilitam o monitoramento constante e asseguram o cumprimento das regulamentações. Segundo o United States Coast Guard (2022), o uso de Sistemas Automáticos de Identificação (AIS) e de Serviços de Tráfego de Embarcações (VTS) é indispensável para manter a segurança ao longo da via navegável, permitindo uma fiscalização eficiente em tempo real e a tomada de decisões preventivas para mitigar os riscos.

A ausência de tecnologias equivalentes no Brasil compromete a aplicação eficaz das políticas de segurança na Hidrovia Tietê-Paraná, criando uma situação de vulnerabilidade que poderia ser mitigada com a adoção de soluções tecnológicas modernas. O controle de cheias no Rio Mississippi é realizado de maneira sofisticada pelo *Army Corps of Engineers*, que emprega diques, reservatórios e sistemas de alerta para prevenir inundações (SAFETY4SEA, 2024). Em contraste, o Comitê da Bacia do Baixo Tietê (2024) reconhece que a Hidrovia Tietê-Paraná carece de infraestrutura adequada para enfrentar eventos climáticos extremos, o que torna o sistema mais vulnerável a inundações e assoreamentos.

As medidas de segurança também incluem requisitos para as embarcações e a certificação das tripulações. Nos Estados Unidos, as embarcações são submetidas a rigorosas inspeções para garantir a conformidade com os padrões estabelecidos pela Guarda Costeira (UNITED STATES COAST GUARD, 2022). No Brasil, embora existam requisitos semelhantes, a falta de recursos, torna a fiscalização limitada

para o cumprimento, em comparação aos Estados Unidos, podendo comprometer a segurança. Beinecke e Trovati (2021) destacam a importância da integração de tecnologias de segurança a bordo, como sensores para detecção de riscos e sistemas de controle de descargas atmosféricas. Enquanto essas tecnologias são amplamente empregadas nos Estados Unidos, a adoção no Brasil ainda é limitada, refletindo o desafio da modernização das embarcações nacionais.

O foco norte-americano em tecnologias de comunicação e gestão integrada é uma vantagem para a segurança do tráfego no Rio Mississippi (SAFETY4SEA, 2024). Sistemas de comunicação em tempo real entre embarcações e centros de controle permitem uma resposta rápida e coordenada em situações de emergência, minimizando os riscos associados à navegação. Em contraste, a falta de um sistema robusto de comunicação na Hidrovia Tietê-Paraná restringe a capacidade de resposta a situações adversas, aumentando a vulnerabilidade das operações.

Para alinhar o Brasil às melhores práticas internacionais, Padovezi et al. (2023) defendem a necessidade de investimentos na capacitação das tripulações, garantindo que estejam preparadas para utilizar tecnologias avançadas. Nos Estados Unidos, a formação de tripulações inclui o uso de simuladores que reproduzem situações de risco, permitindo aos profissionais se prepararem para atuar em diversas condições, uma abordagem que ainda é pouco explorada no Brasil. Tokarski (2019) ressalta que o envolvimento de parcerias público-privadas nos Estados Unidos contribuiu significativamente para o desenvolvimento de sistemas de segurança no Rio Mississippi. A promoção de parcerias similares no Brasil poderia ser uma estratégia essencial para garantir investimentos em infraestrutura e tecnologias de segurança.

Outro aspecto relevante é a regulamentação do uso de tecnologias sustentáveis. Moore (2018) aponta que, nos Estados Unidos, há um foco crescente na integração de tecnologias que minimizem o impacto ambiental da navegação. No Brasil, no entanto, a aplicação de regulamentações ambientais na navegação fluvial ainda é inconsistente, o que compromete a conservação dos ecossistemas aquáticos. A adoção de políticas de sustentabilidade alinhadas às melhores práticas internacionais poderia não apenas aumentar a segurança, mas também promover a preservação ambiental da Bacia do Tietê-Paraná.

Por fim, o uso de tecnologias preditivas e de *big data* emerge como uma prática relevante no Rio Mississippi, permitindo às autoridades prevenir problemas e planejar soluções antes que se tornem críticos. No Brasil, essa abordagem é ainda incipiente, em grande parte devido à falta de investimento e infraestrutura tecnológica adequada. A aplicação dessas tecnologias na hidrovia poderia transformar a gestão da segurança, promovendo uma mudança de um enfoque reativo para um modelo proativo. Dessa forma, a adoção de soluções tecnológicas adaptadas à realidade brasileira, juntamente com investimentos em infraestrutura, fiscalização e capacitação, torna vital para elevar o padrão de segurança da navegação fluvial no país.

### 3.3 TECNOLOGIAS APLICADAS NA NAVEGAÇÃO HIDROVIÁRIA NO BRASIL E NOS EUA

Nas últimas décadas, o desenvolvimento tecnológico transformou profundamente o setor de navegação hidroviária, impactando diretamente a segurança, produtividade e a capacidade de integração dos sistemas de transporte fluvial. A incorporação de tecnologias modernas permitiu maior previsibilidade e controle das operações, consolidando a navegação como um meio essencial para o transporte de mercadorias em larga escala, especialmente em países como os Estados Unidos e o Brasil.

Nos Estados Unidos, o Rio Mississippi exemplifica uma infraestrutura hidroviária altamente integrada tecnologicamente. Entre as tecnologias implementadas, destacam-se sistemas de sinalização com boias equipadas com luzes LED e marcação submersa para delimitação dos canais de navegação em águas rasas, minimizando os riscos de encalhe e garantindo segurança, especialmente em condições de baixa visibilidade. Apesar de aparentarem simplicidade, tais dispositivos são fundamentais para a segurança básica da navegação, reduzindo significativamente o risco de acidentes e proporcionando um tráfego mais previsível.

Tecnologias mais sofisticadas, como o Sistema de Identificação Automática (AIS) e o Sistema de Gestão de Tráfego de Embarcações (VTS), também são amplamente empregadas no Mississippi. O AIS por permitir em tempo real, o

monitoramento das embarcações, facilita o gerenciamento do tráfego e a coordenação entre as embarcações, reduzindo a probabilidade de colisões. Integrado ao VTS, que utiliza radares e sensores para fornecer uma visão abrangente do tráfego fluvial, essa tecnologia permite a previsão e prevenção de congestionamentos, otimizando as rotas e aumentando a segurança das embarcações. Esse tipo de integração tecnológica funciona como um sistema de gestão inteligente do tráfego, semelhante aos mecanismos utilizados em grandes centros urbanos para controle de mobilidade.

Outro diferencial é o uso de tecnologias de previsão climática e hidrológica, implementadas pelo *Army Corps of Engineers*, que permitem prever cheias e gerenciar os níveis de água do Rio Mississippi. Esses sistemas são complementados por diques, reservatórios e barreiras móveis, que são ativados para controlar os fluxos hídricos durante eventos climáticos extremos, garantindo a segurança da navegação. A previsão precisa de eventos climáticos é importante para mitigar riscos, reduzir custos associados a danos materiais e assegurar a continuidade das operações.

Foi fundado em 2010 por dois capitães do rio Mississippi, inicialmente sob o nome de "River Tools", o MRTIS (Serviço de Informações de Tráfego do Rio Mississippi) com o objetivo de melhorar a consciência situacional e a disseminação de informações na indústria marítima. É um sistema avançado de informações marítimas e rastreamento de embarcações, projetado especificamente para o rio Mississippi. Ele oferece uma ampla gama de serviços, desde operações portuárias até consciência situacional, atendendo às necessidades de diversos usuários, como gerentes de frota, operadores de navios, pilotos fluviais e agências governamentais.

No centro do sistema está uma rede de antenas e câmeras ribeirinhas personalizadas, que fornecem dados e imagens em tempo real do rio Mississippi. Esses dados são usados para criar uma imagem abrangente e precisa do tráfego, clima e outras condições do rio, o que é vital para garantir a eficiência e a segurança no rio. Um dos principais recursos do MRTIS é sua interface compatível com dispositivos móveis, que permite que os usuários permaneçam conectados ao sistema, estejam eles em casa ou em trânsito. O sistema pode ser acessado por meio de qualquer dispositivo habilitado para internet, o que o torna fácil de usar e conveniente para todos.

A MRTIS fornece uma ampla variedade de serviços personalizados projetados especificamente para melhorar a eficiência de uma operação. O sistema inclui recursos como rastreamento de embarcações, gerenciamento de frota, interpretação de tráfego, dados meteorológicos, monitoramento de visibilidade e muito mais. Esses serviços fornecem aos usuários as ferramentas necessárias para tomar decisões mais bem informadas e melhorar a segurança e a eficiência de suas operações. O conjunto abrangente e robusto de serviços fornecidos pelo MRTIS o torna uma ferramenta inestimável para qualquer operação marítima no rio Mississippi. Seja você um capitão de navio, um gerente de frota ou uma agência responsável pelo gerenciamento do rio, o MRTIS tem as ferramentas e informações necessárias para manter sua operação funcionando sem problemas.

O MRTIS utiliza uma combinação de tecnologias avançadas para rastrear embarcações no rio Mississippi, como AIS, Radar, GPS, Sensores, Câmaras e Comunicação por Rádio. Essas tecnologias trabalham juntas para fornecer uma visão abrangente e em tempo real do tráfego no rio, ajudando a melhorar a segurança e a eficiência das operações marítimas.

Esses benefícios tornam o MRTIS uma ferramenta essencial para todos os envolvidos na navegação e gestão do rio Mississippi.

Figura 9 - Serviço de Informações de Tráfego do Rio Mississippi



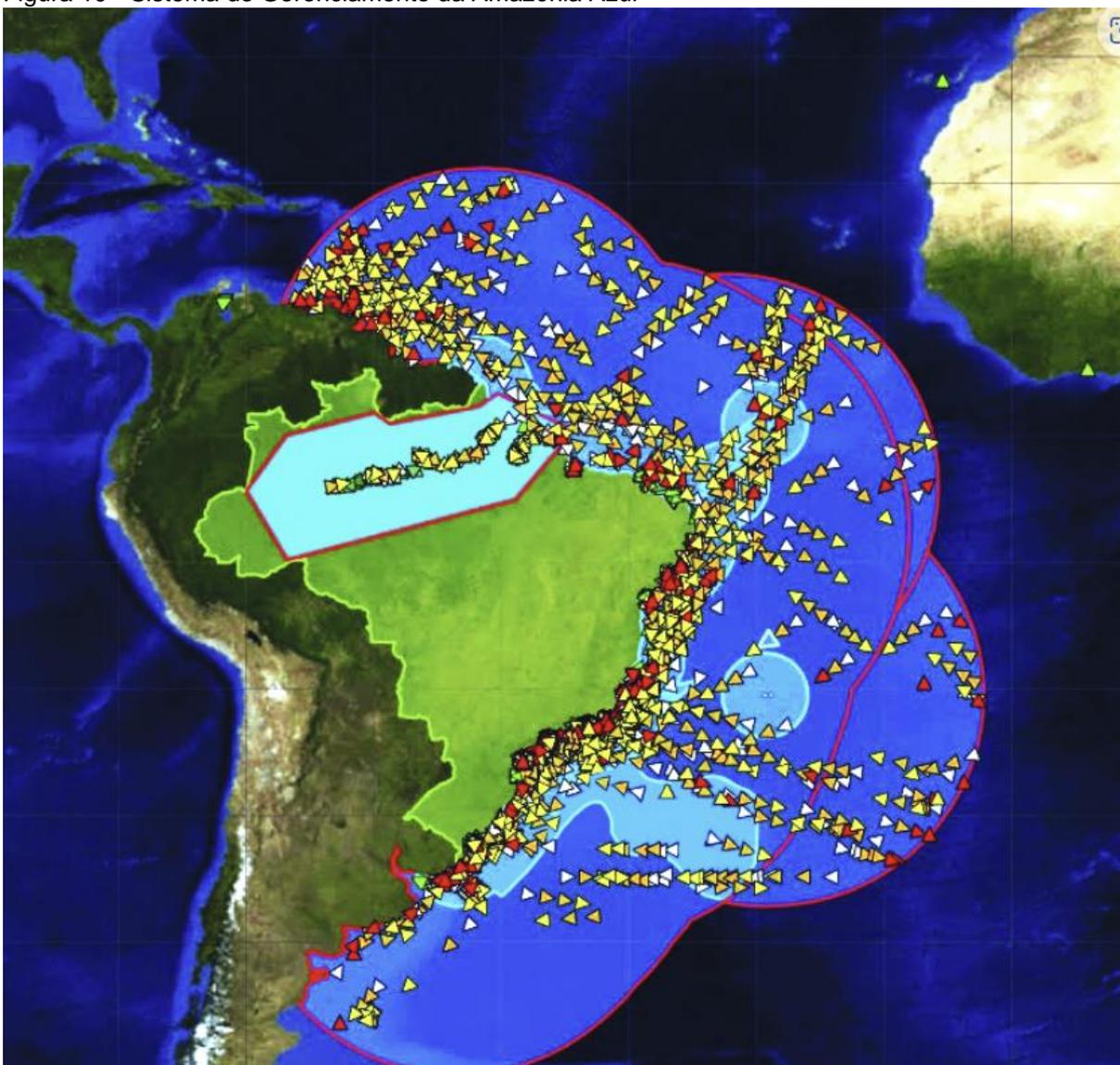
Fonte: <https://mrtis.com> Acesso: 15/08/2024

Em contrapartida, a Hidrovia Tietê-Paraná no Brasil faz uso de tecnologias semelhantes, mas de forma ainda limitada. O Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SIGAAZ) é uma iniciativa estratégica do governo brasileiro, voltada para a proteção e monitoramento das águas jurisdicionais do Brasil, conhecidas como Amazônia Azul. Este sistema integra diversas tecnologias e informações para garantir a segurança e a soberania nacional sobre essa vasta área marítima (Marinha do Brasil, 2023). O SIGAAZ utiliza uma combinação de sensores, satélites e sistemas de comunicação para monitorar atividades marítimas, detectar ameaças e coordenar respostas a incidentes. A integração desses recursos permite uma vigilância contínua e abrangente, essencial para a proteção das riquezas naturais e econômicas da região (Marinha do Brasil, 2023).

Um dos principais desafios enfrentados pelo SIGAAZ é a gestão de dados. A quantidade massiva de informações coletadas requer sistemas avançados de processamento e análise para transformar dados brutos em informações úteis para a tomada de decisão (Silva, 2022). O sistema monitora os impactos ambientais das atividades humanas e naturais, contribuindo para a preservação dos ecossistemas marinhos e costeiros (Gomes, 2023). A implementação de políticas de conservação baseadas nos dados fornecidos pelo SIGAAZ é crucial para garantir a saúde a longo prazo da Amazônia Azul (Gomes, 2023).

O SisGAAz integra equipamentos e sistemas compostos por radares localizados em terra e embarcações, além de câmeras de alta resolução e capacidades como o funcionamento de informações recebidas de sistemas colaborativos, destacando o Sistema de Monitoramento Marítimo de Apoio às Atividades de Petróleo (SIMMAP), o Sistema de Identificação e Acompanhamento de Navios a Longa Distância (LRIT), o Sistema de Informação Sobre o Tráfego Marítimo (SISTRAM) e o Programa Nacional de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélite (PREPS), todos baseados em rastreamento de posição por via satélite. Os dados captados por GPS são transmitidos por meio de comunicação satelital para centrais de rastreamento e, no futuro, haverá a incorporação de sensores acústicos aos sites de monitoramento (SILVA, 2023).

Figura 10 - Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul



Fonte: <https://www.marinha.mil.br/> 10/10/2024

A falta de um sistema robusto como o VTS é uma das principais vulnerabilidades da hidrovia, aumentando a susceptibilidade a erros humanos e diminuindo o rendimento das operações. Ademais, a ausência de tecnologias para controle das cheias frequentemente resulta na interrupção das atividades de navegação durante períodos de chuvas intensas, acarretando prejuízos econômicos e riscos para as embarcações.

Outro ponto de divergência significativo entre os dois sistemas é a infraestrutura tecnológica a bordo das embarcações. Enquanto no Mississippi as embarcações são equipadas com sensores de detecção de colisões, sistemas automáticos de estabilização e comunicação por satélite, no Brasil muitos desses

dispositivos estão ausentes, o que eleva o risco operacional e compromete a segurança. Além disso, a formação das tripulações nos Estados Unidos inclui treinamentos regulares e simuladores que reproduzem situações de risco, preparando os profissionais para responder de maneira rápida nas situações de emergências. No Brasil, a capacitação ainda carece de recursos tecnológicos, e o treinamento não é realizado de forma contínua, o que compromete a segurança das operações. As empresas privadas e particulares atualmente buscam treinamentos para suas tripulações de forma aleatórias, no intuito de familiarização com equipamentos de segurança e navegação. Segundo convenção SOLAS/74, os treinamentos e exercícios para todos embarcados, são obrigatórios para salvaguardar a vida humana em situações de emergências.

Por fim, a aplicação de tecnologias de *big data* no contexto da navegação hidroviária também é um diferencial significativo do Rio Mississippi. O uso de *big data* permite o monitoramento e a análise de parâmetros como fluxo de tráfego, condições climáticas e desempenho das embarcações em tempo real, possibilitando uma gestão proativa e a tomada de decisões informadas. Essa capacidade de análise preditiva é importante para otimizar e prevenir riscos iminentes a navegação. No Brasil, o uso dessas tecnologias ainda é incipiente, limitando a capacidade de resposta a incidentes e a eficiência da gestão da hidrovia. A implementação de *big data* na Hidrovia Paraná-Tietê poderia elevar substancialmente o padrão de segurança e eficiência, além de reduzir custos operacionais.

Em síntese, a comparação entre as tecnologias empregadas no Rio Mississippi e na Hidrovia Tietê-Paraná revela disparidades significativas na modernização e na segurança dos sistemas hidroviários. Enquanto os Estados Unidos se destacam pela incorporação de tecnologias modernas em todas as etapas da navegação, o Brasil ainda enfrenta desafios estruturais que dificultam a implementação de soluções semelhantes. A adoção de tecnologias sofisticadas, o incremento na capacitação das tripulações e a promoção de parcerias público-privadas ainda são ineficientes em comparação aos Estados Unidos, impactando no seu desenvolvimento econômico pelas hidrovias.

#### **4 COMPARAÇÃO ENTRE DUAS HIDROVIAS: APRENDIZADOS POSSÍVEIS**

A comparação entre a Hidrovia Tietê-Paraná e o Rio Mississippi oferece importantes lições que podem ser aplicadas no contexto brasileiro, especialmente em relação à infraestrutura, à legislação e à fiscalização, bem como às tecnologias empregadas na navegação fluvial. Cada um desses aspectos representa uma oportunidade de modernização e aperfeiçoamento das práticas atualmente adotadas no Brasil, com a devida adaptação às especificidades do país.

O Rio Mississippi é um exemplo bem-sucedido de infraestrutura hidroviária, especialmente no que tange à manutenção dos canais de navegação, eclusas e sistemas de controle de inundações. A infraestrutura desse rio permite sua navegabilidade durante todo o ano, com poucas interrupções relacionadas a eventos climáticos. As eclusas modernas do Mississippi foram projetadas para acomodar embarcações de grande porte, garantindo eficiência operacional e reduzindo os custos de transporte, o que torna o modal hidroviário altamente competitivo e seguro.

Em contraste, a Hidrovia Tietê-Paraná no Brasil possui uma infraestrutura menos robusta, onde as barragens e eclusas têm como prioridade a geração de energia e o abastecimento para a agricultura, relegando a navegação a um papel secundário. A ausência de investimentos dedicados à melhoria da infraestrutura de navegação afeta negativamente a eficiência logística da hidrovia. A modernização da infraestrutura deve envolver investimentos em sistemas específicos para controle de água e sinalização voltados à navegação, com canais mais profundos e sistemas de drenagem eficazes que possibilitem a passagem segura e contínua de grandes embarcações como navios mercantes, mesmo em períodos de estiagem.

Outro ponto de destaque é a utilização de tecnologias modernas para o controle de eclusas e de inundações. Enquanto o Mississippi possui eclusas automatizadas e monitoramento contínuo do nível de água, que reduzem significativamente o tempo de operação e aumentam a capacidade de tráfego, no Brasil as eclusas ainda apresentam limitações tecnológicas que resultam em travessias prolongadas e eficiência operacional reduzida. A incorporação de tecnologias de automação e monitoramento nas eclusas da Hidrovia Tietê-Paraná poderia melhorar substancialmente a competitividade do modal hidroviário brasileiro.

O sistema de controle de inundações do Rio Mississippi é um dos mais avançados do mundo, utilizando uma combinação de diques, barragens e reservatórios para regular os níveis de água e evitar inundações que comprometam a navegação. No Brasil, o controle de cheias é insuficiente, resultando em interrupções frequentes durante períodos de chuvas intensas, impactando na navegação dos comboios de cargas. A implantação de um sistema robusto de controle de inundações, com tecnologias de monitoramento e estruturas físicas adequadas, torna elemento fundamental para garantir a navegabilidade da Hidrovia Tietê-Paraná.

A legislação aplicada ao Rio Mississippi é rigorosa e conta com fiscalização integrada e eficiente, conduzida pela Guarda Costeira dos EUA e pelo *Army Corps of Engineers*, garantindo que todas as normas sejam cumpridas e proporcionando um ambiente seguro e previsível para a navegação. No Brasil, a fiscalização ainda é menos integrada e conta com recursos limitados. A legislação que rege a Hidrovia Tietê-Paraná inclui normas e regulamentos da Capitania Fluvial do Tietê-Paraná, bem como leis federais relacionadas ao transporte aquaviário e à gestão de recursos hídricos. "A legislação federal estabelece diretrizes para a manutenção e modernização das hidrovias, garantindo a segurança e a eficiência das operações" (Silva, 2020, p. 45). A implementação da legislação, enfrenta diversos desafios. "Os altos custos de aquisição e manutenção dos equipamentos, além da necessidade de infraestrutura de suporte, são barreiras importantes para a adoção generalizada" (Mendes, 2022, p. 110). A legislação vigente também traz diversos benefícios. "A implementação de sistemas de monitoramento e controle permite a identificação precoce de riscos e a implementação de medidas preventivas, resultando em uma redução notável no número de acidentes" (Silva, 2020, p. 70).

A melhoria do sistema de fiscalização brasileiro deve envolver um aumento de recursos humanos e tecnológicos, bem como a integração entre diferentes órgãos públicos. Ademais, a atualização das leis de segurança e regulamentação para alinhá-las às melhores práticas internacionais poderia estabelecer uma base mais sólida para o aprimoramento do setor.

Por fim, o uso de tecnologias de monitoramento, como o Sistema de Identificação Automática (AIS) e o Sistema de Gestão de Tráfego de Embarcações (VTS), é uma diferença considerável entre os dois sistemas hidroviários. No Rio

Mississippi, essas tecnologias garantem o monitoramento em tempo real e uma maior previsibilidade nas operações, auxiliando tanto na operação quanto nas embarcações, enquanto no Brasil o monitoramento é ainda limitado e de certa forma manual. A implementação de sistemas como o AIS e o VTS, adaptados às condições locais da Hidrovia Tietê-Paraná, seria fundamental para elevar os níveis de segurança e segurança da navegação fluvial no país, garantindo um desenvolvimento hidroviário mais integrado e competitivo.

## **5 RECOMENDAÇÕES PARA A HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ: SUGESTÕES BASEADAS NAS PRÁTICAS DO RIO MISSISSIPPI**

A análise comparativa entre a Hidrovia Tietê-Paraná e o Rio Mississippi proporciona informações importantes para o aprimoramento do contexto hidroviário brasileiro, especialmente nos diversos âmbitos: como infraestrutura, legislação, fiscalização e tecnologias aplicadas à navegação fluvial. Cada um desses elementos constitui uma oportunidade concreta de modernização e aperfeiçoamento das práticas vigentes no Brasil, desde que adequadamente adaptadas às especificidades nacionais.

O Rio Mississippi é amplamente reconhecido como um paradigma de infraestrutura hidroviária bem-sucedida, destacando-se pela manutenção rigorosa dos canais de navegação, pela operação eficiente das eclusas e pelos sofisticados sistemas de controle de inundações. As eclusas modernas do Mississippi foram projetadas para acomodar embarcações de grande porte, garantindo não apenas a eficiência operacional, mas também a redução significativa dos custos de transporte, o que torna o modal hidroviário extremamente competitivo e seguro.

Em contraste, a Hidrovia Tietê-Paraná enfrenta obstáculos significativos relacionados à sua infraestrutura, que ainda se mostra menos sólida e prioriza, principalmente, a geração de energia e o fornecimento agrícola, relegando a navegação a um papel secundário. A falta de investimentos direcionados à melhoria da infraestrutura especificamente voltada para a navegação afeta diretamente a eficácia logística da hidrovia.

A modernização da infraestrutura deve contemplar investimentos que incluam sistemas dedicados ao controle de água e à sinalização voltada à navegação, como

o aprofundamento de canais através de dragagens, possibilitando rotas com navios maiores durante todo o ano, mesmo durante períodos de estiagem prolongada.

Um aspecto crítico que diferencia o Mississippi da Tietê-Paraná é a aplicação de tecnologias avançadas para o controle de eclusas e a gestão de inundações. No Mississippi, as eclusas automatizadas e o monitoramento contínuo dos níveis de água são fatores determinantes para a redução dos tempos de operação e para o aumento da capacidade de tráfego. Em contrapartida, no Brasil, as eclusas ainda apresentam limitações tecnológicas significativas, resultando em operações prolongadas e com maior tempo de estadia. A incorporação de tecnologias de automação e monitoramento contínuo nas eclusas da Hidrovia Tietê-Paraná poderia, portanto, aumentar substancialmente a competitividade do modal hidroviário brasileiro, elevando sua capacidade de movimentação de cargas e reduzindo custos operacionais.

O sistema de controle de inundações do Mississippi é considerado um dos mais eficientes do mundo, empregando uma combinação de diques, barragens e reservatórios que asseguram a regulação precisa dos níveis de água, evitando que as inundações prejudiquem a navegabilidade. No Brasil, o controle de cheias permanece insuficiente, resultando em interrupções frequentes, sobretudo durante os períodos de chuvas intensas. Dessa forma, a implementação de um sistema robusto de controle de inundações, que integre tecnologias de monitoramento em tempo real e infraestrutura adequada, é indispensável para assegurar a navegabilidade contínua da Paraná-Tietê ao longo de todo o ano.

No campo da legislação e fiscalização, o Rio Mississippi conta com uma regulamentação rigorosa, sustentada por uma fiscalização integrada e eficiente realizada pela Guarda Costeira dos EUA e pelo *Army Corps of Engineers*. Essa abordagem garante o cumprimento das normas de segurança, criando um ambiente previsível e seguro para a navegação. No Brasil, a fiscalização é fragmentada e carece de recursos adequados. O aprimoramento através de recursos é um fator preocupante que requer tanto um aumento de recursos humanos e tecnológicos quanto uma maior coordenação entre os órgãos competentes. Além disso, a atualização das leis de segurança e regulamentação, visando alinhá-las às melhores práticas internacionais, é fundamental para fortalecer a base institucional do setor.

Por fim e o mais importante, as tecnologias de monitoramento constituem um diferencial substancial entre os dois sistemas hidroviários. No Mississippi, o uso do Sistema de Identificação Automática (AIS) e do Sistema de Gestão de Tráfego de Embarcações (VTS) permite um monitoramento em tempo real das embarcações, aumentando a previsibilidade das operações e garantindo maior segurança. No Brasil, o monitoramento das embarcações ainda é limitado e frequentemente manual, o que compromete a operacionalidade e a segurança das embarcações. A implementação de sistemas como o AIS e o VTS, devidamente adaptados às condições e especificidades da Hidrovia Tietê-Paraná, seria crucial para elevar os níveis operacionais e de segurança na navegação fluvial no Brasil, promovendo, assim, um desenvolvimento mais integrado e competitivo do modal hidroviário nacional.

## **6 CONCLUSÃO**

A conclusão deste estudo enfatiza a importância do fortalecimento do sistema hidroviário brasileiro, especialmente nas áreas de infraestrutura, legislação, fiscalização e tecnologias aplicadas à navegação fluvial. Para assegurar a segurança da hidrovia Tietê-Paraná, e no tráfego de embarcações de maiores portes, é crucial um esforço colaborativo entre governos, operadores e comunidades, com ênfase na integração de tecnologias, aprimoramento da infraestrutura e desenvolvimento de uma cultura de segurança. A implementação de tecnologias de monitoramento, como o AIS e o VTS, juntamente com treinamentos regulares para as tripulações, é vital para minimizar os riscos de acidentes na navegação fluvial.

A hidrovia Tietê-Paraná está situada em uma região com uma elevada concentração de usinas produtoras e um considerável potencial para instalação de novas unidades. A produção total de etanol (anidro e hidratado) na área de influência da hidrovia atualmente representa mais de 89% da produção nacional, o que torna a previsão de um crescimento significativo do transporte fluvial na região, por meio de navios. É indispensável o fluxo de embarcações de grande porte na hidrovia.

Com menor custo e maior capacidade de transporte por meio de navios, este trabalho destaca a necessidade de aprimoramento da hidrovia, por meio de dragagens, balizamento avançado, monitoramento contemporâneo, além de manutenção e reforma na infraestrutura.

Outro aspecto importante é a exigência de um sistema de monitoramento robusto e moderno que assegure a navegação na hidrovia Tietê-Paraná, prevenindo possíveis acidentes ou incidentes relacionados a navegação. A adoção de uma base de VTS, assim como a padronização do cumprimento de normas e regulamentos por meio de fiscalizações e inspeções, surge como uma solução viável para otimizar o monitoramento e garantir uma navegação segura. Essas iniciativas fortalecem a colaboração entre as empresas de navegação e os governos, promovendo segurança e permitindo que as operações ocorram com menor índice de acidentes.

Inspirando-se no Rio Mississippi, que estabeleceu uma infraestrutura hidroviária extremamente eficaz, caracterizada pela manutenção de seus canais de navegação, implementação de sistemas de controle de inundações e modernização de suas eclusas, a hidrovia Tietê-Paraná precisa realizar algumas transformações e romper paradigmas para se tornar um modal hidroviário altamente competitivo e seguro.

Além disso, a pesquisa ressalta a importância da cooperação entre os órgãos competentes e a formação de parcerias estratégicas com empresas públicas e privadas, como referência no modal do Rio Mississippi. As lições aprendidas neste estudo podem servir como base para o início de uma modernização no sistema hidroviário brasileiro, com metas a médio e longo prazo, consolidando uma referência americana, especificamente o Rio Mississippi. Isso permitirá uma gestão mais proativa dos riscos, facilitando a tomada de decisões e contribuindo para a redução de acidentes a navegação e interrupções nas operações, além de aumentar a atratividade da hidrovia para operadores e investidores.

## REFERÊNCIAS

ABDALA, Vitor. **Aplicativo permite monitorar embarcações em tempo real**. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-09/aplicativo-permite-monitorar-embarcacoes-em-tempo-real>. Acesso em: 14 out. 2024.

AMORIM, Antonio Eduardo Assis; MENDONÇA, ET; TROVATI, LR Caracterização de acidentes em comboios na hidrovía Tietê-Paraná. In: Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior. **Sobena**, 7., 2011, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: SOBENA, 2011.

AUSTRAL, Seguradora. 2022. **Os riscos envolvidos na navegação fluvial**. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/os-riscos-envolvidos-na-navega%C3%A7%C3%A3o-fluvial-seguradoraaustral/>. Acesso em: 03 jul 2024.

AYOUBI, Souhayl; SILVA, Rhiane de Assis. Geoinformação na análise de acidentes e fatos da navegação: Uma abordagem para a segurança marítima e o desenvolvimento regional. **Revista Científica ANAP Brasil**. Volume 17, número 42, 2024.

BEINECKE, Edmundo; TROVATI, Luiz R. **Aplicação de Sistema Embarcado de Descargas Atmosféricas e Tratamento e Disseminação de Dados para Segurança da Navegação Hidroviária**. In: 10ª Conferência iberoamericana em sistemas, cibernética e informática-2011, Orlando, Florida. 2021.

BENDER, Luís Eduardo; MICHEL, Fernando Dutra. Transporte hidroviário de cargas: proposta de modelo de estimativa de custos de linha na navegação interior brasileira. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, v. 11, 2018.

BRASIL. **Lei no 9.537/97**. Dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Brasília-DF, 1997.

BRASIL. **Roteiro Hidrovía Tietê-Paraná: Rio Tietê – da Foz a Anhumas, Rio Paraná – de Jupiá à Foz do Tietê, Rio São José dos Dourados, Canal Pereira Barreto**. 2. ed. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2016. 146 p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ. **A Hidrovía Tietê-Paraná registra um aumento de 1,207% na movimentação de cargas**. 2024. Disponível em: <https://comitebaixotiete.org/materias/a-hidrovía-tiete-paraná-registra-um-aumento-de-1207-na-movimentacao-de-cargas/>. Acesso em: 14 out. 2024.

EASY. **AIS Info**. 2024. Disponível em: <https://www.easyais.com/en/ais-info/#>. Acesso em: 14 out. 2024.

FERREIRA, Alex Nunes. **Estudo de acidentes na hidrovía Tietê-Paraná: aspectos preventivos**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MARTINS, Marcio; SILVA, José; BARRADAS, Sarah. Insegurança da navegação fluvial. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, n. abril, 2018.

MENDES, João. *Global Maritime Regulations and Practices*. London: Oceanic Publishing, 2021.

MOORE, Deborah. **O que podemos aprender com a experiência do Rio Mississippi?**. Instituto Socioambiental. Acervo. 2018.

MRTIS. **Serviço de Informações de Tráfego do Rio Mississippi**. 2024. Disponível em: <https://mrtis.com/>. Acesso em: 14 out. 2024.

OLIVEIRA, Ana. *Training and Education in Maritime Safety*. Rio de Janeiro: Editora Marítima, 2019.

PADOVEZI, Carlos Daher. Avaliação dos fatores de risco presentes na navegação fluvial no Brasil. **12º Seminário Internacional de Transporte e desenvolvimento Hidroviário Interior**. 12-19 out 2021.

PADOVEZI, Carlos Daher et al. Definição do comboio de maior porte para navegação segura no rio Tapajós. 2023. **Anais do 13º Seminário Internacional de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior**. Vol 1, 2023.

PADOVEZI, Carlos Daher. **Conceito de embarcações adaptadas à via aplicado à navegação fluvial no Brasil**. Polytechnic School of the University of São Paulo, São Paulo, 2022.

QUEIROZ, Paulo Roberto Cimó. A navegação na bacia do Paraná e a integração do antigo sul de Mato Grosso ao mercado nacional. **História Econômica & História de Empresas**, v. 7, n. 1, 2021.

RIBEIRO, João. *Sinalização e Balizamento em Hidrovias: Desafios e Soluções*. São Paulo: Editora Náutica, 2020.

SOUZA, Carlos. *Guia Completo de Balizamento para Hidrovias*. Brasília: Editora Fluvial, 2019.

SAFETY4SEA. **Recommendations for safe navigation in high water US rivers**. Disponível em: <https://safety4sea.com/recommendations-for-safe-navigation-in-high-water-us-rivers/>. Acesso em: 14 out. 2024.

SANTOS, Maria. Simulation Training for Mariners. São Paulo: Nautical Academy, 2018.

Salas O'Brien. (2024). Armor 1: Revolutionizing Mississippi River Revetment with the World's Largest Mobile Robot. Retrieved from Salas O'Brien

SILVA, Carlos. Technology Integration in Maritime Navigation. San Francisco: TechPress, 2020.

SHELTER. **VTS – Sistema de Gestão de Tráfego de Embarcações**. 2024. Disponível em: <https://sheltermar.com.br/vts/>. Acesso em: 14 out. 2024.

SILVA, Felipe Augusto Santos. **A navegação fluvial**: realidade e planejamento. **Anais ENANPUR**, v. 14, n. 1, 2021.

SILVA, Maria. Tecnologias Avançadas em Navegação Fluvial. Rio de Janeiro: Editora a Marítima, 2021.

SOUSA, Ferdinando. 2018. **A navegação pelo lendário Mississipi**. Disponível em: <https://ferdinandodesousa.com/2018/03/19/a-navegacao-pelo-lendario-rio-mississipi/>. Acesso em: 03 jul 2024.

SOUZA, Carlos. Guia Completo de Balizamento para Hidrovias. Brasília: Editora Fluvial, 2019.

TEIXEIRA, Cássio Adriano Nunes et al. **Navegação interior brasileira**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.47, p. [437]-482, mar. 2018.

TOKARSKI, Adalberto. **Navegação interior no Brasil e o avanço dos Investimentos públicos e privados**. 1º Reunião de Câmara Temática de 2019.

UNITED STATES COAST GUARD. **Lower Mississippi River PAWSA Workshop Report**. Disponível em: [https://www.navcen.uscg.gov/sites/default/files/pdf/pawsa/WorkshopReports/Lower\\_Mississippi\\_River\\_March\\_2022.pdf](https://www.navcen.uscg.gov/sites/default/files/pdf/pawsa/WorkshopReports/Lower_Mississippi_River_March_2022.pdf). Acesso em: 14 out. 2024.

US Army Corps of Engineers. (2020). Navigation on the Mississippi River. Retrieved from US Army Corps of Engineers

Wang, L. (2020). Technological Innovations in the Yangtze River. Retrieved from Asian Waterways Journal