

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

JOÃO PEDRO ALVES SANCHEZ

Análise conceitual das dimensões náuticas da Hidrovia do Rio Paraguai para diagnóstico sobre obras corretivas para navegação nos passos críticos entre Corumbá e a Foz do Rio Apa (Brasil)

São Paulo
2024

JOÃO PEDRO ALVES SANCHEZ

Análise conceitual das dimensões náuticas da Hidrovia do Rio Paraguai para diagnóstico sobre obras corretivas para navegação nos passos críticos entre Corumbá e a Foz do Rio Apa (Brasil)

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Ciências, no âmbito do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.

Área de Concentração Engenharia Hidráulica
Orientador. Prof. Dr. Paolo Alfredini

São Paulo

2024

SANCHEZ, JOAO PEDRO ALVES. Análise conceitual das dimensões náuticas da Hidrovia do Rio Paraguai para diagnóstico sobre obras corretivas para navegação nos passos críticos entre Corumbá e a Foz do Rio Apa (Brasil). 2023, 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

Banca Examinadora

Prof. Dr.	Paolo Alfredini
Instituição	Escola Politécnica da USP
Julgamento	
Dr.	Helio Mitio Morishita
Instituição	Universidade de São Paulo (EP – PNV)
Julgamento	
Prof. Dra.	Juliana Dorn Nóbrega
Instituição	Universidade Federal de Goiás
Julgamento	

FICHA CATALOGRÁFICA

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 07 de fevereiro de 2024

Assinatura do autor:



Assinatura do orientador:



Catálogo-na-publicação

Sanchez, João Pedro

Análise conceitual das dimensões náuticas da Hidrovia do Rio Paraguai para diagnóstico sobre obras corretivas para navegação nos passos críticos entre Corumbá e a Foz do Rio Apa (Brasil) / J. P. Sanchez -- versão corr. -- São Paulo, 2024.

165 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental.

1.Hidráulica Fluvial 2.Navegação interior 3.Dimensões Náuticas
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental II.t.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que me conduziu à pesquisa e ao amor à engenharia, ajudando a me desenvolver como pessoa, engenheiro e pesquisador.

Quero agradecer ao meu orientador, Paolo Alfredini, pela orientação sábia, paciência e pelo contínuo apoio ao longo deste processo de pesquisa. Suas orientações críticas foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, amigos e minha namorada, por seu apoio inabalável e compreensão ao longo destes anos de estudo, agradeço do fundo do meu coração. Suas palavras de encorajamento e incentivo foram um alicerce essencial para minha jornada acadêmica.

À Promon Engenharia pelo apoio durante o período da pesquisa, fomentando, através do programa de crédito educativo, a condução do mestrado. À Hidrovias do Brasil, pelo apoio técnico no período final da pesquisa, contribuindo de forma muito relevante com informações sobre a operação na Hidrovia.

Por fim, gostaria de deixar um agradecimento especial ao Dr. Diego Cartacho, meu mentor na vida acadêmica e profissional que me abriu diversas portas e me mostrou que é possível aliar a produção acadêmica e as boas práticas no campo dos projetos de engenharia civil.

RESUMO

SANCHEZ, J.P.A. **Análise conceitual das dimensões náuticas da Hidrovia do Rio Paraguai para diagnóstico sobre obras corretivas para navegação nos passos críticos entre Corumbá e a Foz do Rio Apa (Brasil)**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

A Hidrovia do Rio Paraguai, apesar de sua extensa rede fluvial e potencial estratégico para o transporte de mercadorias e passageiros, é subutilizada devido a desafios como normas regulatórias desatualizadas, falta de investimento em infraestrutura e capacitação, e inadequação das tecnologias e serviços de navegação. Ela atravessa metade do Continente, iniciando no Município de Cáceres (MT) e terminando em Nueva Palmira, no Uruguai, em seus 3442 km. O trecho brasileiro do rio tem aproximadamente 1270 km, entre Cáceres (MT) e a Foz do Rio Apa (MS), estando subdividido em Trecho Norte, de Cáceres a Corumbá, e Trecho Sul, de Corumbá à Foz do Rio Apa. Com o intuito de assegurar a navegação das embarcações, melhorando a segurança, a confiabilidade e a eficiência do transporte hidroviário, em um período mínimo correspondente a 90% do ano, são necessárias intervenções com obras, principalmente dragagens em pontos críticos. A pesquisa destaca a importância de adotar diretrizes internacionais atualizadas, utilizando como abordagem metodológica as recomendações do Grupo de Trabalho 141 da PIANC (2019), para superar essas barreiras e otimizar a eficiência dos sistemas hidroviários. As dificuldades, como baixos níveis d'água e normativas obsoletas, limitam o transporte fluvial, elevando os custos e reduzindo a eficiência logística. A transição para diretrizes mais modernas e adaptáveis, exemplificadas pelas recomendações da PIANC, é vista como essencial para desbloquear o potencial completo da hidrovia. A partir da análise dos 44 passos críticos selecionados, com o auxílio das cartas náuticas da Marinha Brasileira, foi possível dimensionar a hidrovia de maneira mais eficiente e obter novos resultados quanto à necessidade de intervenções nela. Portanto, a aplicação de recomendações diferentes das brasileiras (ANTAQ), analisando-as e comparando-as, é uma pesquisa que traz uma importante contribuição aos projetos hidroviários e, conseqüentemente, apoia o desenvolvimento de uma navegação interior mais segura e eficiente.

Palavras-chave: Hidrovias. Navegação interior. Rio Paraguai.

ABSTRACT

SANCHEZ, J. P. A.. **Conceptual analysis of the nautical dimensions of the Paraguay River Waterway for diagnosis of corrective works for navigation in critical steps between Corumbá and Foz do Rio Apa (Brazil)**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

The Paraguay River Waterway, despite its extensive river network and strategic potential for the transportation of goods and passengers, is underutilized due to challenges such as outdated regulatory norms, lack of investment in infrastructure and training, and inadequacy of navigation technologies and services. It spans half of the continent, starting in the municipality of Cáceres (MT) and ending in Nueva Palmira, Uruguay, covering a distance of 3442 km. The Brazilian stretch of the river is approximately 1270 km, between Cáceres (MT) and the mouth of the Apa River (MS), divided into the Northern Section, from Cáceres to Corumbá, and the Southern Section, from Corumbá to the mouth of the Apa River. In order to ensure the navigation of vessels, improving the safety, reliability, and efficiency of inland water transport for a minimum period of 90% of the year, interventions with civil works are necessary, especially dredging at critical points. The research emphasizes the importance of adopting updated international guidelines, using the methodological approach recommended by the Working Group 141 of PIANC (2019), to overcome these barriers and optimize the efficiency of waterway systems. Challenges such as low water levels and outdated regulations limit river transport, increasing costs and reducing logistical efficiency. The transition to more modern and adaptable guidelines, exemplified by PIANC recommendations, is seen as essential to unlock the full potential of the waterway. By analyzing the 44 selected critical points with the assistance of navigational charts from the Brazilian Navy, it was possible to design the waterway more efficiently and obtain new results regarding the need for interventions. Therefore, the application of recommendations different from those of the Brazilian ones (ANTAQ), analyzing and comparing them, is a research that brings an important contribution to waterway projects and, consequently, supports the development of safer and more efficient inland navigation.

Keywords: Waterways. Inland Navigation. Paraguay River.

LISTA DE FIGURAS

Tabela 1 – Matriz de amarração desta pesquisa e relações de causa e efeito esperadas. Fonte: Autor (2023).	29
Figura 2 – Hidrovia do Rio Paraguai em território brasileiro.....	31
Figura 3 – Movimentação de carga por vias navegáveis interiores – Brasil. Fonte: ANTAQ, 2023.....	32
Figura 4 – Total transportado em vias interiores no Brasil em 2022.	33
Figura 5 – Movimentação de carga por vias interiores – Hidrovia do Rio Paraguai. .	34
Figura 6 - Tramo Sul da Hidrovia do Rio Paraguai.....	35
Figura 7 - Comboio-tipo para transporte no Tramo Sul da Hidrovia.	36
Figura 8 - Canal de Pereira Barreto. Fonte: Prefeitura de Pereira Barreto, 2023.....	41
Figura 9 – Indicação da largura mínima determinada pela PIANC. Fonte: Adaptado de PIANC, 2019.	42
Figura 10 - Rio Paraguai. Fonte: Ministério Público do Mato Grosso, 2023.....	44
Figura 11 - Hidrovia Tietê-Paraná, Eclusa em Nova Avanhandava. Fonte: Wikimapia, 2023.	46
Figura 12 - Área de aproximação de eclusas conforme recomendações chinesas. Fonte: PIANC 2019. Adaptado pelo autor	58
Figura 13 – Diagrama para determinação da classificação da hidrovia a partir da nota numérica.	77
Figura 14 – Seção transversal típica de um canal projetado sobreposta ao perfil batimétrico do rio. Fonte: Adaptado de PIANC 2019.	78
Figura 15 – Larguras existentes de canal de navegação em rios e a partir de diretrizes (largura na profundidade de calado), interpretadas como sendo limitadas por boias, relacionadas à boca da embarcação para tráfego em via única. Fonte PIANC 2019.	79
Figura 16 - Pontos do batimétricos sobre a carta náutica. Ilha do Braga.	91
Figura 17 – Modelo digital do terreno. Ilha do Braga.....	91
Figura 18 – Eixo e bordos do canal navegável, Isla del Sauce. Fonte: Autor, 2023.....	92
Figura 19 - Verificação dos passos quanto ao raio - Critério DNIT.	99
Figura 20 - Verificação dos passos quanto ao raio - Critério PIANC 2019. Fonte: Autor, 2023.....	99
Figura 21 - Verificação dos passos quanto à profundidade - Critério DNIT. Fonte: Autor, 2023.....	100
Figura 22 - Verificação dos passos quanto à profundidade - Critério PIANC 2019. Fonte: Autor, 2023.....	100
Figura 23 - Verificação dos passos quanto à largura - Critério PIANC 2019. Fonte: Autor, 2023.....	101
Figura 24 – Proximidades Ilha da República.....	122
Figura 25 – Porto Sastre.	123
Figura 26 – Proximidades da Cancha Estrela.	124
Figura 27 – Boca Inferior Riacho Celina.....	125
Figura 28 – Proximidades de Porto Murtinho.	126
Figura 29 - Passo Tarumã.....	127
Figura 30 – Ilha Fecho dos Morros.....	128

Figura 31 - Passo Camba Nupa.	129
Figura 32 - Passo Barranco Branco.....	130
Figura 33 - Passo Olimpo.	131
Figura 34 - Passo Furado do Nabileque.	132
Figura 35 - Passo Curuçu.....	133
Figura 36 – Ilha do Braga.	134
Figura 37 - Passo da Ilha do Rabo de Ema a Ilha Spinello.....	135
Figura 38 – Porto Mirhanovich.....	136
Figura 39 - Passo Alegrete Inferior.	137
Figura 40 – Proximidades da Fazenda Nu Guazu.	138
Figura 41 - Passo Periquitos.....	139
Figura 42 – Porto Esperanza.	140
Figura 43 - Passo Cururu.....	141
Figura 44 – Baía Negra.....	142
Figura 45 – Rio Negro.....	143
Figura 46 – Proximidades da Isla del Sauce.....	144
Figura 47 – Proximidades da Ilha Santa Rosa.....	145
Figura 48 – Proximidades da Ilha Santa Fé.....	146
Figura 49 - Passo M'Bigua.....	147
Figura 50 - Passo Rebojo Grande.	148
Figura 51 - Passo Paratudal.	149
Figura 52 – Proximidades Fazenda Primavera.....	150
Figura 53 - Passo Piuvas Inferior.....	151
Figura 54 - Passo Volta da Ferradura.....	152
Figura 55 – Proximidades do Morro do Conselho.....	153
Figura 56 – Proximidades da Ilha do Bugio.	154
Figura 57 - Passo do Jacaré e Ponte do Rio Branco.	155
Figura 58 – Ponte Nossa Senhora do Pantanal.....	156
Figura 59 - Passo Caraguatá.....	157
Figura 60 – Proximidades da Ilha Cambará Ferrado.	158
Figura 61 - Passo Abobral.	159
Figura 62 – Proximidades do Porto da Manga.....	160
Figura 63 – Proximidades do Rio Taquari.....	161
Figura 64 - Passo Mucunã.....	162
Figura 65 – Proximidades da Ilha Tira Catinga.....	163
Figura 66 – Volta Miguel Henrique.	164
Figura 67 - Passo de Santana ou Jatobá.....	165

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Passos críticos do Tramo Sul da Hidrovia do Rio Paraguai. Fonte: Autor, 2023.	37
Tabela 2 – Dimensões típicas para comboios de acordo com classificação dos rios, conforme recomendação europeia CEMT/ITF 1992. Fonte: PIANC (2019). Tradução do Autor.	52
Tabela 3 - Classificação para Frota de Navegação Interior - 2011. Fonte: PIANC 2019. Tradução do Autor.....	53
Tabela 4 - Dimensões para rios não canalizadas incluindo a folga com as margens e o vento para trechos retilíneos, segundo as recomendações chinesas	54
Tabela 5 - Velocidade e sentido de escoamento recomendados. Fonte: PIANC 2019. Tradução do autor.	56
Tabela 6 - Valores de w_c Fonte: PIANC (2019). Tradução do autor	57
Tabela 7 - Bacia de evolução segundo a recomendação chinesa. Fonte: PIANC (2019). Tradução do autor.....	58
Tabela 8 - Largura mínima das hidrovias segundo as recomendações americanas. Fonte: PIANC (2019). Tradução do autor.....	59
Tabela 9 - Multiplicador para vias de mão simples, conforme recomendações americanas. Fonte: PIANC (2019). Traduzido pelo autor.....	60
Tabela 10 - Multiplicador para vias de mão dupla, conforme recomendações americanas. Fonte: PIANC (2019). Traduzido pelo autor.....	61
Tabela 11 – Classe das hidrovias conforme comboio de projeto (PIANC, 2018).	61
Tabela 12 – Subclasses das hidrovias conforme profundidade (PIANC, 2018).	61
Tabela 13 – Características dimensionais mínimas segundo DNIT. Fonte: PIANC, 2018. Tradução do autor.	63
Tabela 14 - Grupo 1 de critérios para avaliação da hidrovia. Fonte: PIANC, 2019. Tradução do autor.	72
Tabela 15 - Grupo 2 de critérios para avaliação da hidrovia. Fonte: PIANC, 2019. ..	73
Tabela 16 - Grupo 3 de critérios para avaliação da hidrovia. Fonte: PIANC, 2019. ..	74
Tabela 17 – Tabela de classificação e atribuição de notas para a hidrovia.	75
Tabela 18 – Recomendações para projeto hidroviário. Fonte: PIANC, 2019.	81
Tabela 19 - Diretrizes geométricas para a Hidrovia do Rio Paraguai, conforme critérios PIANC 2019. Fonte: Autor, 2022.	96
Tabela 20 - Classificação dos 44 passos críticos estudados do Tramo Sul da Hidrovia do Rio Paraguai. Fonte: Autor, 2023.....	97
Tabela 21 – Faixas de profundidades dos modelos.	102
Tabela 22 – Tabela resumo de quantidades de dragagem – Critério PIANC (2019). Fonte: Autor, 2023.....	103
Tabela 23 - Tabela resumo de quantidades de dragagem – Critério DNIT Fonte: Autor, 2023.....	104
Tabela 24 – Dados relativos à dragagem – Proximidades da Ilha da República	122
Tabela 25 – Dados planialtimétricos do trecho – Proximidades da Ilha da República	122
Tabela 26 – Dados relativos à dragagem – Porto Sastre.....	123
Tabela 27 – Dados planialtimétricos do trecho – Porto Sastre.....	123

Tabela 28 – Dados relativos à dragagem – Proximidades da Cancha Estrela.	124
Tabela 29 – Dados planialtimétricos do trecho – Proximidades da Cancha Estrela.	124
Tabela 30 – Dados relativos à dragagem – Boca Inferior Riacho Celina.....	125
Tabela 31 – Dados planialtimétricos do trecho – Boca Inferior Riacho Celina.....	125
Tabela 32 – Dados relativos à dragagem – Porto Murtinho.....	126
Tabela 33 – Dados planialtimétricos do trecho – Porto Murtinho.....	126
Tabela 34 – Dados relativos à dragagem – Passo Tarumã.....	127
Tabela 35 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Tarumã.....	127
Tabela 36 – Dados relativos à dragagem – Ilha Fecho dos Morros.....	128
Tabela 37 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha Fecho dos Morros.	128
Tabela 38 – Dados relativos à dragagem – Passo Camba Nupa.	129
Tabela 39 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Camba Nupa.	129
Tabela 40 – Dados relativos à dragagem – Passo Barranco Branco.	130
Tabela 41 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Barranco Branco.	130
Tabela 42 – Dados relativos à dragagem – Passo Olimpo.	131
Tabela 43 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Olimpo.....	131
Tabela 44 – Dados relativos à dragagem – Furado do Nabileque.....	132
Tabela 45 – Dados planialtimétricos do trecho – Furado do Nabileque.....	132
Tabela 46 – Dados relativos à dragagem – Passo Curuçu.....	133
Tabela 47 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Curuçu.....	133
Tabela 48 – Dados relativos à dragagem – Ilha do Braga.....	134
Tabela 49 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha do Braga.....	134
Tabela 50 – Dados relativos à dragagem. Ilha do Rabo de Ema.....	135
Tabela 51 – Dados planialtimétricos do trecho. Ilha do Rabo de Ema.	135
Tabela 52 – Dados relativos à dragagem – Porto Mirhanovich.	136
Tabela 53 – Dados planialtimétricos do trecho – Porto Mirhanovich.	136
Tabela 54 – Dados relativos à dragagem – Passo Alegrete Inferior.....	137
Tabela 55 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Alegrete Inferior.....	137
Tabela 56 – Dados relativos à dragagem – Fazenda Nu Guazu.	138
Tabela 57 – Dados planialtimétricos do trecho – Fazenda Nu Guazu.....	138
Tabela 58 – Dados relativos à dragagem – Passo Periquitos.	139
Tabela 59 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Periquitos.	139
Tabela 60 – Dados relativos à dragagem – Porto Esperanza.....	140
Tabela 61 – Dados planialtimétricos do trecho – Porto Esperanza.	140
Tabela 62 – Dados relativos à dragagem – Passo Cururu.	141
Tabela 63 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Cururu.	141
Tabela 64 – Dados relativos à dragagem – Baía Negra.....	142
Tabela 65 – Dados planialtimétricos do trecho – Baía Negra.....	142
Tabela 66 – Dados relativos à dragagem – Rio Negro.....	143
Tabela 67 – Dados planialtimétricos do trecho – Rio Negro.....	143
Tabela 68 – Dados relativos à dragagem – Isla Del Sauce.....	144
Tabela 69 – Dados planialtimétricos do trecho – Isla Del Sauce.....	144
Tabela 70 – Dados relativos à dragagem – Ilha Santa Rosa.....	145
Tabela 71 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha Santa Rosa.....	145
Tabela 72 – Dados relativos à dragagem – Ilha Santa Fé.....	146
Tabela 73 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha Santa Fé.....	146
Tabela 74 – Dados relativos à dragagem – Passo M'Bigua.	147
Tabela 75 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo M'Bigua.	147
Tabela 76 – Dados relativos à dragagem – Passo Rebojo Grande.....	148

Tabela 77 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Rebojo Grande.	148
Tabela 78 – Dados relativos à dragagem – Passo Paratudal.	149
Tabela 79 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Paratudal.	149
Tabela 80 – Dados relativos à dragagem – Fazenda Primavera.....	150
Tabela 81 – Dados planialtimétricos do trecho – Fazenda Primavera.	150
Tabela 82 – Dados relativos à dragagem – Passo Piuvas Inferior.	151
Tabela 83 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Piuvas Inferior.	151
Tabela 84 – Dados relativos à dragagem – Passo Volta da Ferradura.	152
Tabela 85 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Volta da Ferradura.	152
Tabela 86 – Dados relativos à dragagem – Morro do Conselho.	153
Tabela 87 – Dados planialtimétricos do trecho – Morro do Conselho.	153
Tabela 88 – Dados relativos à dragagem – Ilha do Bugio.	154
Tabela 89 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha do Bugio.	154
Tabela 90 – Dados relativos à dragagem – Passo do Jacaré e Ponte do Rio Branco.	155
Tabela 91 – Dados planialtimétricos do trecho Passo do Jacaré e Ponte do Rio Branco.	155
Tabela 92 – Dados relativos à dragagem – Ponte Nossa Senhora do Pantanal.	156
Tabela 93 – Dados planialtimétricos do trecho – Ponte Nossa Senhora do Pantanal.	156
Tabela 94 – Dados relativos à dragagem – Passo Caraguatá.	157
Tabela 95 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Caraguatá.	157
Tabela 96 – Dados relativos à dragagem – Ilha Cambará Ferrado.	158
Tabela 97 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha Cambará Ferrado.	158
Tabela 98 – Dados relativos à dragagem – Passo Abobral.	159
Tabela 99 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Abobral.	159
Tabela 100 – Dados relativos à dragagem – Porto da Manga.	160
Tabela 101 – Dados planialtimétricos do trecho – Porto da Manga.	160
Tabela 102 – Dados relativos à dragagem – Proximidades do Rio Taquari.	161
Tabela 103 – Dados planialtimétricos do trecho – Proximidades do Rio Taquari.	161
Tabela 104 – Dados relativos à dragagem – Passo Mucunã.	162
Tabela 105 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Mucunã.	162
Tabela 106 – Dados relativos à dragagem – Ilha Tira Catinga.	163
Tabela 107 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha Tira Catinga.	163
Tabela 108 – Dados relativos à dragagem – Volta Miguel Henrique.	164
Tabela 109 – Dados planialtimétricos do trecho – Volta Miguel Henrique.	164
Tabela 110 – Dados relativos à dragagem – Passo Santana ou Jatobá.	165
Tabela 111 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Santana ou Jatobá.	165

LISTA DE SÍMBOLOS, VARIÁVEIS E ABREVIATURAS

AIS: Automated Information System

ANTAQ: Agência Nacional de Transportes Aquaviários

BIM: *Building information Modeling*

BNDO: Banco Nacional de Dados Oceanográficos

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ECDIS: Electronic Chart Display and Information System

GPS: Global Positioning System

MTPA: Milhões de toneladas por ano

PIANC: The World Association for Waterborne Transport Infrastructure

RIS: River Information System

S&E: Safety and Ease

a_g : espaçamento dos espigões

B: boca da embarcação

c_c : coeficiente de minoração relacionado aos adimensionais T/h e B/L

c_W : coeficiente relacionado ao ângulo de deriva causado pela interação com o vento

ΔF_c : largura extra devido à curva

ΔF_{cf} : largura extra devido ao escoamento transversal

$\Delta F_{GDeságue}$: largura extra devido ao deságue próximo ao campo de espigões

$\Delta F_{GEScoamento}$: largura extra devido ao escoamento próximo ao campo de espigões

ΔF_{GTot} : largura extra total devido à presença de espigões

ΔF_{HT} : largura extra devido à alta densidade de tráfego

ΔF_I : largura extra devido às instabilidades

ΔF_T : largura extra devido à travessia da via com significativo escoamento

longitudinal

ΔF_{Turb} : largura extra devido à turbulência

ΔF_W : largura extra devido ao vento cruzado

h: profundidade do canal navegável

h_G : altura do espigão

I_{GB} : comprimento do espigão

L: comprimento da embarcação

L_{eclusa} : comprimento da eclusa

L_t : comprimento do trecho

R: raio de curvatura do canal navegável

T: calado da embarcação

v : velocidade da embarcação em relação ao escoamento

v_{aG} : velocidade da embarcação em relação ao solo

v_{cmS} : velocidade média do escoamento cruzado

v_{crit} : velocidade do escoamento

v_{fluxo} : velocidade do escoamento

Vol : volume de dragagem

w_c : coeficiente da extensão do campo de correntes transversais

W_F : largura do canal navegável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	19
1.2	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	23
1.3	JUSTIFICATIVA	24
1.4	OBJETIVO	26
1.5	ÂMBITO	27
1.6	MÉTODOS E MATERIAIS	27
2	ÁREA DE ESTUDO	30
2.1	PANORAMA GEOGRÁFICO GERAL	30
2.2	PANORAMA ECONÔMICO GERAL	31
2.3	PANORAMA HIDROVIÁRIO GERAL	34
3	FUNDAMENTAÇÃO DE PROJETO DE VIAS NAVEGÁVEIS	39
3.1	CURSOS D'ÁGUA NATURAIS	39
3.2	PARÂMETROS DE PROJETOS HIDROVIÁRIOS	40
3.2.1	CANAIS	41
3.2.2	RIOS DE FLUXO LIVRE	44
3.2.3	RIOS CANALIZADOS	45
3.2.4	PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DE NAVEGAÇÃO	47
3.3	REVISÃO DE DIRETRIZES INTERNACIONAIS	52
3.3.1	EUROPA	52
3.3.2	CHINA	53
3.3.3	ESTADOS UNIDOS	58
3.3.4	BRASIL	61
4	PUBLICAÇÃO “DESIGN GUIDELINES FOR INLAND WATERWAY DIMENSIONS”	64
4.1	MÉTODO GERAL DE PROJETO HIDROVIÁRIO	64
4.1.1	DEFINIÇÃO DO ESCOPO	64
4.1.2	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES LIMITES LOCAIS	65
4.1.3	SELEÇÃO DO MÉTODO DE PROJETO	65
4.1.4	ANÁLISE DAS CONDIÇÕES ATUAIS	65
4.1.5	EXECUÇÃO DO PROJETO	65
4.1.6	COMPARAÇÃO E ANÁLISE	65
4.1.7	VERIFICAÇÃO DOS IMPACTOS	65
4.2	DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ABORDAGEM TRIPLA	66
4.3	PROJETO CONCEITUAL	66
4.4	ABORDAGEM PRÁTICA	68
4.5	PROJETO DETALHADO	68
4.6	MÉTODO “SAFETY AND EASE”	69

4.6.1	PRIMEIRO GRUPO	71
4.6.2	SEGUNDO GRUPO.....	72
4.6.3	TERCEIRO GRUPO	73
4.7	APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DAS DIMENSÕES NÁUTICAS	
	77	
4.7.1	MÉTODO CONCEITUAL PARA RIOS.....	78
4.7.2	ABORDAGEM PRÁTICA PARA RIOS.....	79
4.7.3	MÉTODO PRÁTICO ESTENDIDO	81
4.7.4	ABORDAGEM DETALHADA PARA RIOS.....	85
5	OBRAS DE MELHORIA.....	86
5.1	DRAGAGEM.....	86
5.1.1	DRAGAGEM POR ESCAVAÇÃO	86
5.1.2	DRAGAGEM HIDRÁULICA	87
5.1.3	DRAGAGEM DE SUÇÃO POR GRAVIDADE	87
5.1.4	DRAGAGEM MECÂNICA DE SUÇÃO	88
5.2	DERROCAGEM.....	88
5.2.1	EXPLOSIVOS SUBAQUÁTICOS	89
5.2.2	QUEBRAS DE ROCHAS MECÂNICA	89
5.2.3	ESCAVAÇÃO SUBAQUÁTICA.....	89
6	MODELAGEM	90
6.1	MÉTODO	90
6.2	CARTAS NAÚTICAS	94
7	RESULTADOS	96
7.1	CLASSIFICAÇÃO DOS PASSOS.....	96
7.2	FOLHAS DE DADOS DOS PASSOS CRÍTICOS	101
7.3	QUANTITATIVOS	103
8	ANÁLISES.....	109
9	CONCLUSÃO.....	111
10	REFERÊNCIAS	114
	APÊNDICE I – LARGURAS EXTRAS RECOMENDADAS – PIANC 2019	118
	APÊNDICE II – FOLHAS DE DADOS DOS PASSOS CRÍTICOS.....	122
	PROXIMIDADES DA ILHA DA REPÚBLICA.....	122
	PORTO SASTRE	123
	PROXIMIDADES DA CANCHA ESTRELA.....	124
	BOCA INFERIOR RIACHO CELINA	125
	PROXIMIDADES DE PORTO MURTINHO	126
	PASSO TARUMÃ.....	127
	ILHA FECHO DOS MORROS	128
	PASSO CAMBA NUPA	129
	PASSO BARRANCO BRANCO	130
	PASSO OLIMPO	131
	FURADO DO NABILEQUE	132

PASSO CURUÇU	133
ILHA DO BRAGA	134
DA ILHA DO RABO DE EMA A ILHA SPINELLO	135
PORTO MIRHANOVICH.....	136
PASSO ALEGRETE INFERIOR	137
PROXIMIDADES DA FAZENDA NU GUAZU	138
PASSO PERIQUITOS	139
PORTO ESPERANZA	140
PASSO CURURU	141
BAÍA NEGRA.....	142
RIO NEGRO	143
PROXIMIDADES DA ISLA DEL SAUCE	144
PROXIMIDADES DA ILHA SANTA ROSA	145
PROXIMIDADES DA ILHA SANTA FÉ.....	146
PASSO M'BIGUÁ	147
PASSO REBOJO GRANDE	148
PASSO PARATUDAL.....	149
PROXIMIDADES FAZENDA PRIMAVERA.....	150
PASSO PIUVAS INFERIOR	151
PASSO VOLTA DA FERRADURA	152
PROXIMIDADES DO MORRO DO CONSELHO	153
PROXIMIDADES DA ILHA DO BUGIO.....	154
PASSO DO JACARÉ E PONTE DO RIO BRANCO	155
PONTE NOSSA SENHORA DO PANTANAL	156
PASSO CARAGUATÁ	157
PROXIMIDADES DA ILHA CAMBARÁ FERRADO	158
PASSO ABOBRAL	159
PROXIMIDADES DO PORTO DA MANGA	160
PROXIMIDADES DO RIO TAQUARI.....	161
PASSO MUCUNÃ.....	162
PROXIMIDADES DA ILHA TIRA CATINGA	163
VOLTA MIGUEL HENRIQUE	164
PASSO DE SANTANA OU JATOBÁ	165

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Nesta Introdução, apresenta-se a contextualização do tema e sua importância tecnológica e prática. Apresenta-se uma sucinta descrição da situação da navegação interior no Brasil, destacando a vasta rede fluvial do país e sua subutilização no transporte de mercadorias e passageiros. São apontados diversos desafios que dificultam o emprego eficiente dos sistemas hidroviários. Para superar esses desafios é sugerida a adoção de diretrizes internacionais atualizadas e destacada a importância das recomendações do Grupo de Trabalho 141 da PIANC - *The World Association for Waterborne Transport Infrastructure* (2019), que propôs um método para definição das dimensões mínimas das vias navegáveis interiores, levando em consideração a qualidade da navegação e a classificação das embarcações.

A rede fluvial brasileira é conhecida por ser uma das mais densas e de larga cobertura geográfica no mundo; entretanto, apesar desse legado natural, a navegação interior ainda desempenha um papel relativamente marginal no transporte de cargas e passageiros. O país está longe de se beneficiar plenamente desta vantagem. Este extenso sistema de aquavias necessita melhor integração com a rede de transportes nacional, de modo a atender a sempre crescente demanda para a mobilidade de cargas e pessoas. O modal aquaviário interior é responsável por menos de 1% em termos de valores e volumes exportados pelo país.

Segundo Jaimurzina (2016), de um ponto de vista amplo, o emprego dos sistemas hidroviários interiores na região é dificultado por diversos fatores, entre eles:

- Padrões regulatórios nacionais e regionais incompletos, desatualizados ou ausentes;
- Falta de uma base comum para a classificação das hidrovias na América do Sul para a padronização dos protocolos de navegação em nível nacional e regional;
- Falta de padronização, embarcações e procedimentos de controle;
- Falta de investimento na construção e manutenção de infraestruturas hidroviárias e portos fluviais;

- Estruturas administrativas deficientes e atrasos na construção de capacidade institucional, especialmente no que diz respeito a recursos humanos e financeiros;
- Ausência de auxílios à navegação, incluindo mapas atualizados, cartas eletrônicas, sinais e outros serviços de navegação;
- Insuficiência de pessoal qualificado e instituições para formação e formação de profissionais altamente qualificados.

No Brasil o emprego dos sistemas aquaviários interiores esbarra em desafios por vários fatores, tais como:

- Reduzido nível de investimento na implantação e manutenção da infraestrutura e dos portos fluviais;
- Normas incompletas, obsoletas ou ausentes e estruturas regulatórias insuficientes;
- Pobres estruturas administrativas e com capacidade institucional;
- Limitado emprego de serviços de navegação e tecnologias, como auxílios à navegação, como cartas atualizadas, cartas eletrônicas, AIS (*Automatic Identification System*) e outros RIS (*River Information Services*);

Estes desafios limitaram e continuarão a limitar o desenvolvimento da navegação interior, afetando não somente um maior emprego deste modal de transporte, mas também a integração com outros modais, gerando ineficiência, como alto custo do transporte, maior poluição e perdas de cargas.

A aplicação de recomendações atualizadas internacionalmente é um dos rumos para apoiar o desenvolvimento da navegação interior no Brasil, conforme a experiência adquirida em outras regiões do mundo. Trata-se de adotar diretrizes para apoiar e implementar políticas e projetos voltados para as hidrovias interiores, permitindo identificar as limitações e o potencial econômico das hidrovias.

A compreensão aprofundada dos conceitos e fundamentos dos projetos hidroviários é vital para aprimorar a eficiência e sustentabilidade dos sistemas de transporte aquático.

A meticulosa avaliação dos cursos d'água, desde rios de fluxo livre até canais artificialmente criados, é imprescindível para garantir a segurança, adaptabilidade e

eficiência na navegação. Projetos bem fundamentados contribuem não apenas para uma navegação mais segura, mas também para a preservação do equilíbrio ecológico, levando em consideração as complexas dinâmicas fluviais e os impactos ambientais das intervenções humanas.

A seguir é exposto um resumo do conteúdo abordado em cada capítulo dessa dissertação:

- O capítulo 1 faz uma introdução do tema da pesquisa ao leitor, explorando a subutilização crônica da rede fluvial brasileira para navegação interior, apesar de sua extensiva cobertura geográfica. A pesquisa identifica desafios críticos como normas regulatórias obsoletas, falta de investimento em infraestrutura, e insuficiências administrativas e institucionais que impedem a maximização deste recurso natural abundante. O estudo defende a urgência da incorporação de diretrizes atualizadas, tomando como referência as recomendações do Grupo de Trabalho 141 da PIANC de 2019, como um caminho promissor para otimizar o uso de hidrovias para o transporte de mercadorias e passageiros, e, conseqüentemente, integrar de forma mais eficaz os sistemas hidroviários à malha de transporte nacional;
- O capítulo 2 fornece um exame detalhado da área de estudo, abordando aspectos geográficos, econômicos e hidroviários. A Bacia do Rio Paraguai, englobando territórios do Brasil, Bolívia e Paraguai, é caracterizada por sua biodiversidade e fenômenos hidrológicos únicos, alimentados por afluentes significativos e abrigando ecossistemas variados. Economicamente, a região é influenciada pelo transporte de *commodities*, com a soja, minério de ferro e outros produtos essenciais impulsionando a economia. Entretanto, a infraestrutura de transporte, especialmente hidrovias, é um desafio, com subutilização e falta de investimento limitando a eficiência logística;
- O capítulo 3 aborda os fundamentos do projeto de vias navegáveis. Os canais artificiais, rios de fluxo livre e rios canalizados são discutidos, abordando as teorias hidráulicas e hidrodinâmicas que regem os dimensionamentos associados aos projetos. Além disso, o texto revisa as diretrizes internacionais para o projeto e operação de vias

navegáveis, focando na Classificação Hidroviária Brasileira e nas práticas adotadas na Europa, China e Estados Unidos.

- O capítulo 4 detalha a publicação do grupo de trabalho 141 da PIANC, focada em estabelecer diretrizes unificadas para o projeto e a segurança de vias navegáveis. A abordagem tripla, proposta pelo grupo, compreende o Projeto Conceitual, Abordagem Prática e Projeto Detalhado, oferecendo flexibilidade e adaptabilidade. Essa publicação introduz a abordagem "*Safety and Ease*" (S&E), que substitui o modelo anterior baseado em riscos, considerando características específicas e desafios únicos de cada sistema de via navegável. O S&E é categorizado em diferentes níveis para representar graus variados de facilidade de navegação e é aplicado rigorosamente para garantir que as especificações e diretrizes sejam personalizadas para atender às necessidades locais e garantir operações de navegação seguras;
- O capítulo 5 descreve obras de melhoria típicas em rios como dragagem e derrocagem, essenciais para manter parâmetros mínimos para navegação. Diferentes métodos de dragagem são explorados, cada um com suas vantagens e desafios, sendo crucial a consideração das regulamentações ambientais e legais. A derrocagem, também é detalhada, incluindo métodos que usam explosivos subaquáticos e quebra de rochas mecânica, cada um com seus requisitos de segurança e impactos ambientais associados;
- O capítulo 6 aborda a modelagem utilizada para calcular o volume de sedimentos a ser dragado, usando o software Autodesk Civil 3D. Este software, gera superfícies 3D do canal existente e proposto, permitindo a subtração entre as superfícies e a determinação do volume de dragagem necessário. A modelagem se baseia em informações geométricas, sem considerar a dinâmica de transporte de sedimentos do rio, requerendo simulações hidrodinâmicas para uma análise mais completa. O capítulo também cita o método de concepção das Cartas Náuticas da Marinha Brasileira, essenciais para a navegação e elaboradas a partir de levantamentos hidrográficos;

- O capítulo 7 discute os resultados da pesquisa, subdivididos em três seções. "Classificação dos Passos" compara as classificações de 44 passos críticos do Tramo Sul, baseando-se nos critérios DNIT e PIANC (2019), relacionados à largura, raio e profundidade do canal navegável. "Folhas de Dados dos Passos Críticos" detalha a sistematização das informações dos modelos construídos para cada passo crítico, incluindo identificação, estaqueamento, número da carta náutica correspondente, e um modelo 3D do canal projetado conforme as recomendações PIANC 2019. A seção "Quantitativos" oferece os volumes geométricos de dragagem necessários para cada passo crítico selecionado, fornecendo dados cruciais para entender as intervenções necessárias para otimizar a navegabilidade da hidrovia.
- O capítulo 8 discute de forma abrangente algumas considerações técnicas, econômicas e ambientais sobre os resultados e sobre os critérios utilizados. Além disso busca fazer uma análise crítica das diferenças obtidas entre os critérios PIANC e DNIT identificando as razões para tais diferenças.
- O capítulo 9 encerra a dissertação revisitando as motivações da pesquisa e sintetizando os principais resultados e contribuições da pesquisa. Além disso, identifica potenciais limitações e sugere direções para pesquisas futuras.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A navegação hidroviária desempenhou um papel crucial na formação e desenvolvimento do Brasil ao longo de sua história. A exploração dos recursos naturais e da agricultura demandava o desenvolvimento dos transportes no Brasil, com a interiorização da colonização levando ao emprego intensivo dos meios de transporte para deslocar mercadorias até os portos e centros urbanos. No entanto, as dificuldades associadas ao transporte terrestre encareciam a produção e desestimulavam as novas regiões produtoras (POMPERMAYER, et al 2014).

Apesar de sua importância histórica, a navegação hidroviária enfrentou desafios ao longo dos anos, como a falta de investimento em infraestrutura, problemas de dragagem e questões ambientais (SÁ, 2014).

As históricas dificuldades que permearam o desenvolvimento deste modal de transporte têm desempenhado um papel fundamental como catalisadores de iniciativas contemporâneas, consolidando, desse modo, sua importância no contexto do desenvolvimento econômico e da integração regional. Neste cenário, encontram-se em andamento alguns projetos voltados para a modernização e expansão das hidrovias, com o intuito de aprimorar a acessibilidade navegacional em rios de relevância estratégica. Simultaneamente, a alocação de recursos destinados à pesquisa e desenvolvimento tecnológico, notadamente no que concerne à logística e à administração portuária, desempenha um papel substancial no aperfeiçoamento da eficiência e da competitividade do setor de transporte aquaviário.

Além disso, a preocupação com a sustentabilidade assume uma posição central na agenda, manifestando-se através de esforços direcionados à mitigação do impacto ambiental associado à navegação, incluindo medidas específicas de preservação dos ecossistemas aquáticos.

No aspecto geográfico, a Bacia do Rio Paraguai se destaca como uma das mais expansivas da América do Sul, caracterizada por suas vastas zonas alagáveis e diversidade de ecossistemas. Do ponto de vista econômico, a região está profundamente influenciada pela produção de *commodities*, porém, encontra-se restrita por uma infraestrutura de transporte deficiente. A Hidrovia do Rio Paraguai desempenha um papel crucial no transporte de bens, incluindo minério de ferro e soja, mas é confrontada com desafios relacionados à sua profundidade insuficiente em pontos críticos e presença de barreiras artificiais.

Para superar esses desafios, é fundamental investir em infraestrutura, com foco na melhoria da eficiência no transporte de mercadorias. Ao modernizar e expandir as hidrovias, não só se potencializa a produtividade logística, mas também se impulsiona o crescimento econômico do Brasil.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo o Plano Estratégico das Hidrovias Interiores Brasileiras (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2013), ocorre uma significativa ausência de emprego do modal hidroviário interior, uma vez que não mais de 5% da carga era transportada por este modal, mas evidencia-se um potencial de crescimento de 27 MTPA, em 2016, até 120 MTPA em 2031. Com uma rede fluvial de 42.000 km de hidrovias potencialmente

navegáveis, somente cerca de 20.000 km são correntemente empregadas para a navegação, expondo o fraco desenvolvimento nacional deste modal (PIANC, 2018).

O baixo aproveitamento das hidrovias brasileiras, mesmo diante de seu vasto potencial, destaca a necessidade de avanços em sua infraestrutura e gestão. Entretanto, não são apenas as dimensões físicas e a extensão das hidrovias que determinam a eficácia do transporte fluvial. Fatores naturais, especialmente as condições hidrológicas, desempenham um papel central na determinação de quão efetivamente as embarcações podem operar. Esse intrincado relacionamento entre infraestrutura e natureza ressalta a complexidade da otimização do transporte hidroviário.

Em comparação com a atividade logística em outros modos de transporte, o transporte de mercadorias em vias navegáveis interiores revela uma notável sensibilidade às condições naturais, particularmente às variáveis hidrológicas. A capacidade máxima de carga de uma embarcação é, em primeiro lugar, determinada por sua capacidade de transporte, todavia, as condições hidráulicas, mais especificamente os níveis de água, em um determinado trecho de um curso d'água e em um momento específico, desempenham um papel crucial como fator restritivo (Kriedel, 2022).

Kriedel (2022), por meio do estudo de caso com o Rio Reno, expõe as dificuldades enfrentadas por trechos hidroviários navegáveis com fins de transporte de cargas devido a baixos níveis d'água. O estudo conclui que as implicações econômicas dos períodos de baixa vazão de água se traduzem em uma considerável redução no tráfego de carga, resultante das limitações nas capacidades de carga das embarcações. Adicionalmente, durante esses períodos, observa-se um acentuado aumento nos custos de transporte, e há até mesmo indícios de um "efeito de absorção econômica", que denota a propagação de um nível de preços elevado em regiões onde os níveis de água permaneceram relativamente estáveis.

Essa mesma conclusão foi observada no período recente de seca do Rio Paraguai, com destaque para o ano de 2021, o que corrobora com a transposição das causas para o contexto brasileiro as decorrências do estudo.

Recomendações para o projeto das dimensões náuticas das hidrovias interiores, como recentemente publicado pela PIANC (2019), representam uma importante contribuição ao estado da arte sobre este tema, propiciando conhecimento atualizado, sintonizado com as mudanças na frota de embarcações, especialmente

com o crescente número de embarcações mais longas, mais largas, de maiores calados e mais potentes. Estas novas embarcações são geralmente mais bem dotadas em termos de propulsão e governo do que as tradicionais. Também os auxílios à navegação são bem mais sofisticados, dispendo-se de GPS, ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*) e AIS (*Automated Information System*), batimetrias mais frequentemente atualizadas e melhores informações sobre as correntes fluviais.

Os avanços tecnológicos relacionados à navegabilidade das embarcações podem, quando associados a novos métodos de dimensionamento, otimizar o emprego da hidrovia, favorecendo o incremento da capacidade de tráfego.

A região economicamente afetada pelo desenvolvimento da Hidrovia do Rio Paraguai está em plena expansão dentro do mercado agroindustrial e siderúrgico. Estima-se que a exportação de milho, em toneladas, registrada em 2015 de 15,89 milhões cresça até 41,50 milhões em 2030; já a soja tem crescimento projetado de 12,42 milhões para 28,75 milhões, no mesmo período (UFPR e ITTI, 2015).

Além disso, com o aumento da demanda de movimentação dessas cargas é viável a discussão sobre o emprego de embarcações automotoras como discutido em J. Kulczyk & T. Tabaczek (2018). O emprego de embarcações automotoras aumentaria a eficiência logística das cadeias de suprimentos, podendo absorver parte da demanda de outros modais utilizados, como o rodoviário e ferroviário. Entretanto, a substituição da frota, por embarcações maiores requer uma reavaliação dos trechos para garantir sua boa navegabilidade. Nesse contexto, o emprego de um outro método de concepção das dimensões náuticas deve ser adotado, mais recente e mais condizente com as embarcações atuais.

1.4 OBJETIVO

O objetivo da Dissertação é o de avaliar as dimensões náuticas vigentes no Brasil segundo a ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários, por meio de uma avaliação conceitual com o método PIANC (2019) para as dimensões náuticas da Hidrovia do Rio Paraguai em território brasileiro. Identificar as dimensões dos passos críticos em profundidade, largura, raio de curvatura e dimensões de travessias de pontes, tendo em vista as embarcações pretendidas e analisar de forma conceitual as intervenções necessárias para revitalização da Hidrovia segundo os critérios escolhidos.

1.5 ÂMBITO

O âmbito desta pesquisa é o da navegação de pequeno calado, tipicamente em rios não canalizados (sem obras de transposição de desnível) com profundidade abaixo de 5,0 m.

Dos 117 trechos críticos identificados nos Trechos Norte e Sul (MARINHA DO BRASIL, 2021) – áreas rasas e curvas acentuadas – foram avaliados 44 trechos críticos do Tramo Sul, considerando as dimensões do projeto sugerido de comboio com navegação segura. Além disso, para avaliar as obras de melhoramento necessárias para garantir a navegação com a classificação recente de acordo com as diretrizes da PIANC (2019), as obras têm como objetivo garantir a navegação de comboios por um período mínimo correspondente a 90% do ano, consistindo essencialmente em dragagens de manutenção.

1.6 MÉTODOS E MATERIAIS

Pode-se considerar este estudo como uma pesquisa de natureza exploratória, que, segundo Gil (2008), tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, a fim de torná-lo mais explícito.

Foi realizada uma revisão bibliográfica, abordando os seguintes temas:

- Dimensões náuticas vigentes na Hidrovia do Rio Paraguai;
- Revisão bibliográfica sobre estudos hidráulicos e hidrológicos na Bacia do Rio Paraguai em território brasileiro;
- Classificação, características e comportamento das embarcações comerciais e sua influência no projeto da hidrovia;
- Análise de Segurança e Facilidade (*Safety & Ease*) da navegação;
- Métodos para o projeto hidroviário.

Para o desenvolvimento dos estudos de caso dos passos, foram empregadas cartas náuticas fluviais *raster geotiff* disponíveis no acervo do BNDO do Centro de Hidrografia da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil, seguindo-se:

- Elaboração de dados sobre a cartografia dos passos para a navegação na documentação cartográfica da Marinha do Brasil;

- Sistematização das informações cartográficas dos passos: profundidade, largura, raio de curvatura e vãos de pontes;
- Avaliação das dimensões náuticas mínimas necessárias e comparação da classificação hidroviária nacional (ANTAQ) com a da PIANC (2019);
- Revisão bibliográfica sobre as técnicas de dragagem fluvial;
- Estabelecidos os comboios tipo, determinação as dimensões náuticas necessárias a serem implantadas pelas obras de melhoramento nos 44 passos críticos previamente identificados;
- Apresentação em nível conceitual das obras diagnosticadas.

A mostra a matriz de amarração entre a Pesquisa, Questões de Pesquisa, Problemas, Referencial Teórico e Resultados Esperados.

Tabela 1 - Matriz de amarração da pesquisa e relações de causa e efeito esperadas. Fonte: Autor (2023).

Método			
Realizar, por meio das recentes recomendações da PIANC (2019), uma análise conceitual das dimensões náuticas da Hidrovia do Rio Paraguai, a fim de avaliar as obras civis necessárias para adequação dos passos críticos do Tramo Sul do trecho brasileiro			
Problema	Questões de Pesquisa	Referencial teórico para respostas às questões	Resultados esperados
As recomendações vigentes das normas do DNIT estão ultrapassadas e foram dimensionadas para automotores, não para comboios	Como empregar as novas recomendações PIANC de forma a obter projetos hidroviários mais eficientes	InCom WG 241 - PIANC 2019	Sistematização dos dados presentes na PIANC para emprego no estudo de caso da Hidrovia do Rio Paraguai (Capítulos 3 e 4)
Limitação do potencial de transporte da hidrovia quando comparado às transformações das embarcações	Como adequar a Hidrovia do Rio Paraguai de forma a atender à crescente demanda de exportação de commodities do Centro-Oeste brasileiro	Levantamento de dados ANTAQ/Marinha/PIANC 2019; Waterway Guidelines - <i>Rijkswaterstaat, Centre for Transport and Navigation</i>	Exibição do investimento (quantitativos de dragagem dos passos críticos conforme a atual recomendação do DNIT vs PIANC 2019) (Capítulos 5, 6 e 7)

2 ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo apresenta as informações geográficas, econômicas e logísticas da área de estudo com o objetivo de contextualizar o leitor com objeto de estudo.

2.1 PANORAMA GEOGRÁFICO GERAL

A Bacia do Rio Paraguai representa uma das mais significativas bacias hidrográficas da América do Sul, abrangendo territórios do Brasil, Bolívia e Paraguai. A região hidrográfica do Paraguai no Brasil abrange uma área de 362.249 km², distribuída principalmente entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, correspondendo a 52% e 48% da área total, respectivamente (UFPR e ITTI, 2015).

Além disso, a bacia abraça uma série de lagoas e áreas pantanosas, notadamente o Pantanal, que é a maior planície alagável do planeta e exerce um papel fundamental na regulação do ciclo hidrológico da bacia (WWF, 2021).

A planície do Pantanal apresenta uma baixa declividade, com aproximadamente 40 cm/km de leste a oeste e 2 cm/km de norte a sul. Durante as maiores cheias, causadas por intensas precipitações na região do alto curso da bacia, uma área de cerca de 30 mil km², correspondente ao Pantanal, é inundada. Esse fenômeno ocorre ao longo de vários meses devido ao baixo gradiente topográfico e à complexa combinação das contribuições das planícies, onde lagoas e baías atuam como reguladores de vazão, armazenando água e mitigando as variações do nível durante a cheia e a recessão (CPRM, 2015).

A diversidade de ecossistemas encontrada na Bacia do Rio Paraguai é de grande relevância, abrangendo desde florestas tropicais até extensas áreas de cerrado. Essa multiplicidade de habitats sustenta uma riqueza biológica notável, incluindo diversas espécies ameaçadas de extinção.

Concentrando-se no objeto de estudo, o Rio Paraguai nasce no interior do continente sul-americano, no município de Cáceres (Estado do Mato Grosso - MT) e tem seu curso no sentido Norte-Sul, até Nueva Palmira (Uruguai), como mostra a Figura 1.

O Rio Paraguai desempenha um papel crucial na regulação de toda a rede de drenagem da região, com seus principais afluentes originando-se nas áreas planaltinas ao norte e leste (RADAMBRASIL, 1982 apud UFPR e ITTI, 2015).

Destacam-se entre esses afluentes os rios Cuiabá, São Lourenço, Itaquira, Miranda, Taquari e Negro, que desempenham um papel significativo nas cheias do Pantanal.

O trecho brasileiro tem aproximadamente 1.270 km de extensão, entre Cáceres (MT) e a foz do Rio Apa, sendo subdividido em Trecho Norte – em azul claro – e Trecho Sul – azul escuro – conforme Figura 1. A hidrovia faz ligação direta entre o Centro-Oeste brasileiro e o Oceano Atlântico. A região ao longo do Rio Paraguai nesta área apresenta uma ampla variedade de depósitos naturais de minérios, incluindo ferro, manganês e calcário. Além disso, a agricultura, com foco na produção de soja, e a pecuária são atividades econômicas importantes que impulsionam as operações portuárias nos portos de Cáceres (MT) e Porto Murtinho (MS). Entre os desafios apresentados na navegação deste trecho, a principal dificuldade é a profundidade em alguns de seus trechos críticos.



Figura 1 – Hidrovia do Rio Paraguai em território brasileiro.
Fonte: Adaptado de UFPR e ITTI, 2015.

2.2 PANORAMA ECONÔMICO GERAL

A produção de *commodities* é uma parte importante da economia brasileira, as exportações desses produtos têm sido um importante impulsionador do crescimento econômico do país. Dentre as exportações brasileiras, destacam-se a soja, o minério de ferro, o petróleo e o açúcar. Essa proeminência deve-se não somente às condições

naturais favoráveis, mas também aos avanços tecnológicos e à excelência na gestão agrícola. Ademais, a demanda global crescente por alimentos, combustíveis e minérios representa uma janela de oportunidade para o Brasil expandir ainda mais suas exportações.

Entretanto, a infraestrutura de transportes é um dos principais gargalos da economia brasileira e a falta de investimentos em hidrovias é um dos fatores que limitam sua expansão. Em contrapartida, as hidrovias são uma alternativa eficiente e econômica para o transporte de cargas em longas distâncias, permitindo o escoamento de produtos a partir de regiões produtoras até os portos, de forma menos onerosa e mais sustentável.

No Brasil, as hidrovias são subutilizadas não apenas pela ausência de aporte em infraestrutura, mas também devido a problemas em segurança e navegação. Segundo o Observatório Nacional de Transporte e Logística, para os anos de 2018 a 2021 o transporte de soja e milho por rodovias e ferrovias juntos foram aproximadamente 6 vezes maiores que o transportados por vias navegáveis interiores. (ONTL, 2023)

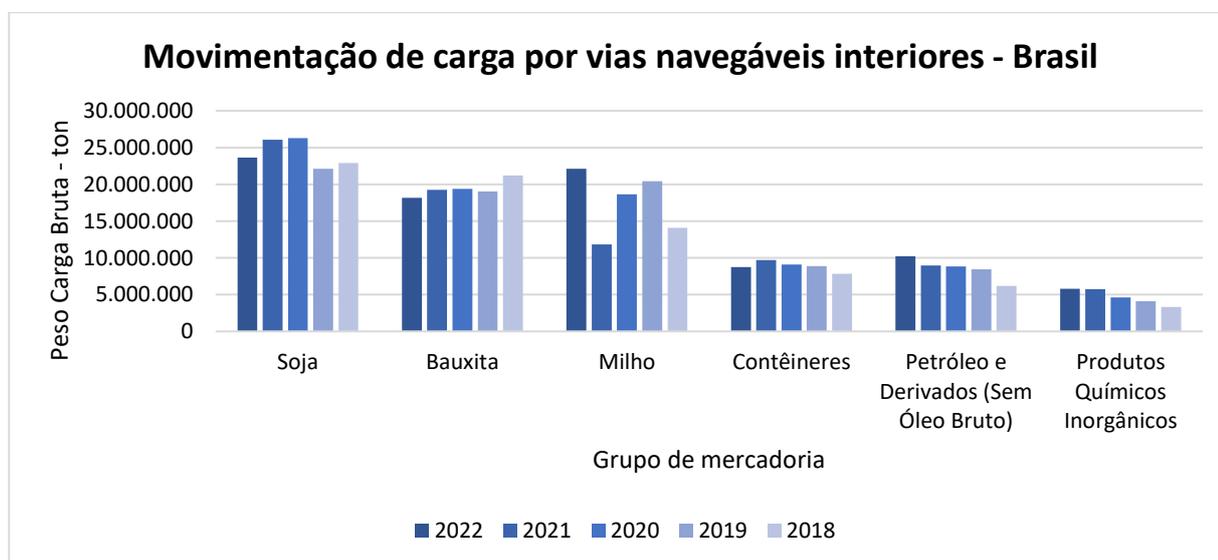


Figura 2 – Movimentação de carga por vias navegáveis interiores – Brasil.
Fonte: ANTAQ, 2023.

A Figura 2 apresenta a movimentação de cargas por vias navegáveis interiores no Brasil, dividido por grupo de mercadoria e por ano, desde 2018 até 2022. Observando os dados, é possível notar que a soja lidera em termos de volume transportado, seguida de bauxita e milho. De 2018 a 2022, a movimentação da maioria

das mercadorias apresentou uma tendência de crescimento, com exceção do milho, que tiveram uma diminuição acentuada em 2021.

Ao analisar sob a ótica de cada região hidrográfica – ver Figura 3 – a região Amazônica destaca-se por movimentar um volume significativamente maior de cargas em relação às outras regiões hidrográficas. Este dado reforça a importância estratégica dos rios da bacia Amazônica para o transporte de mercadorias no país. A região do Tocantins-Araguaia também tem uma presença notável, enquanto as regiões do Atlântico Sul, Paraná e Paraguai apresentam volumes similares entre si, porém menores em comparação.

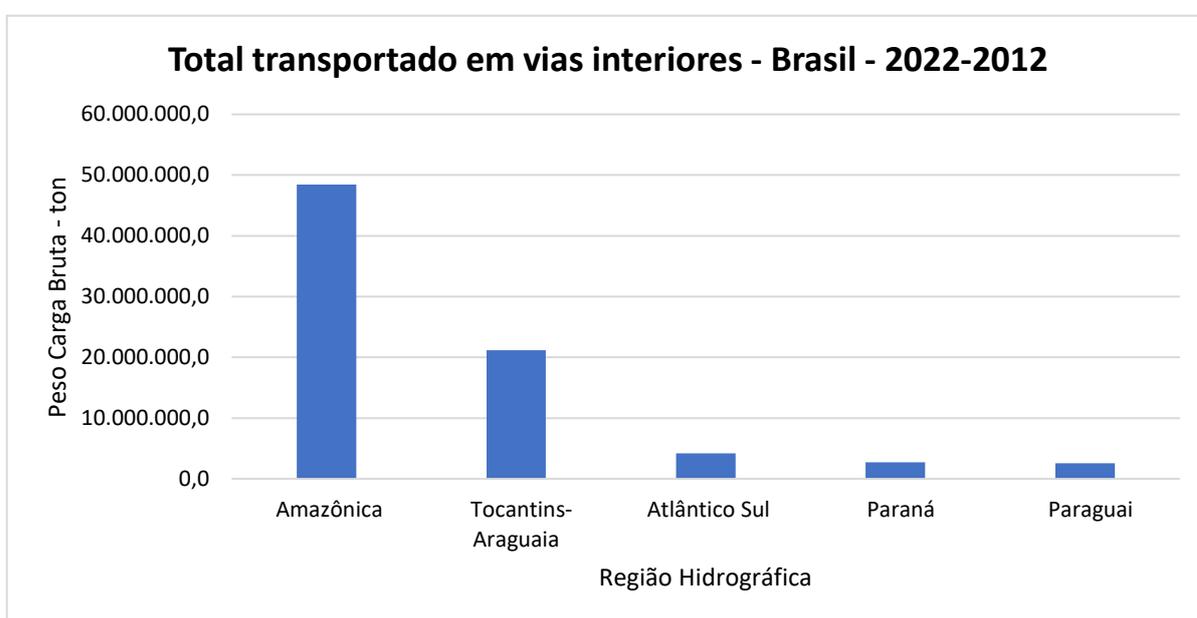


Figura 3 – Total transportado em vias interiores no Brasil em 2022.
Fonte: ANTAQ, 2023.

A Figura 4 mostra o peso bruto de carga transportada para diferentes categorias de mercadorias (minério de ferro, soja, manganês, ferro e aço) no recorte da Hidrovia do Rio Paraguai de 2018 a 2022.

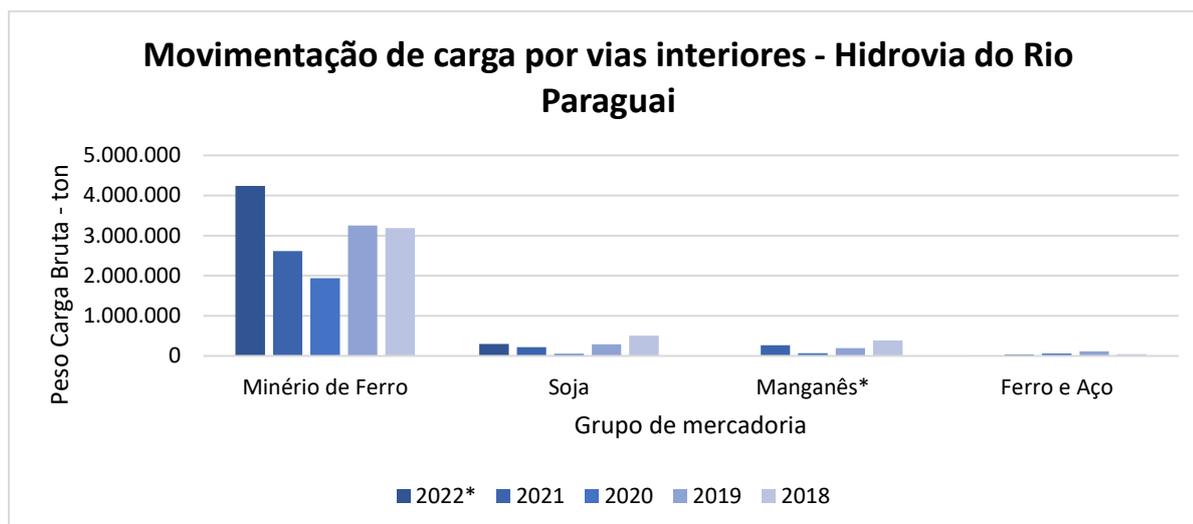


Figura 4 – Movimentação de carga por vias interiores – Hidrovia do Rio Paraguai.

Fonte: ANTAQ, 2023.

Em 2022 – ano de maior movimentação da série analisada – o minério de ferro teve o maior peso de carga transportada com 4,24 milhões de toneladas, seguido pela soja com 299.684 toneladas. Os dados de movimentação de Manganês para o mesmo ano não estavam disponíveis, enquanto ferro e aço apresentaram pesos de carga mais baixos, com 268.067 toneladas e 12.303 toneladas, respectivamente.

Concluindo, os gráficos mostram que as vias navegáveis interiores do Brasil desempenham um papel crucial no transporte de mercadorias, especialmente *commodities* como soja, bauxita e minério de ferro. A região Amazônica se destaca pela sua capacidade de transporte, enquanto a Hidrovia do Rio Paraguai tem o minério de ferro como seu principal produto. Essas tendências refletem a importância de investir e manter essas vias para garantir a eficiência logística e econômica do país.

2.3 PANORAMA HIDROVIÁRIO GERAL

O Tramo Norte da Hidrovia do Rio Paraguai corresponde ao trecho de 680 km entre as cidades de Cáceres (MT) e Corumbá (MS). Trata-se de uma região, em geral, de difícil navegabilidade. O território logo ao sul de Cáceres possui baixas profundidades durante a época de estiagem, além das curvas acentuadas. As condições de navegação melhoram à medida que o Rio Paraguai se aproxima da cidade de Corumbá, havendo um aumento em sua largura e uma redução no número de bancos de areia.

O Tramo Sul (Figura 5) possui cerca de 590 km, entre Corumbá (MS) e a Foz do Rio Apa (divisa com o Paraguai). No Tramo Sul há a presença de obstáculos artificiais, dentre os quais se destaca a Ponte Presidente Eurico Gaspar Dutra, junto à qual é necessário o desmembramento dos comboios para sua transposição.

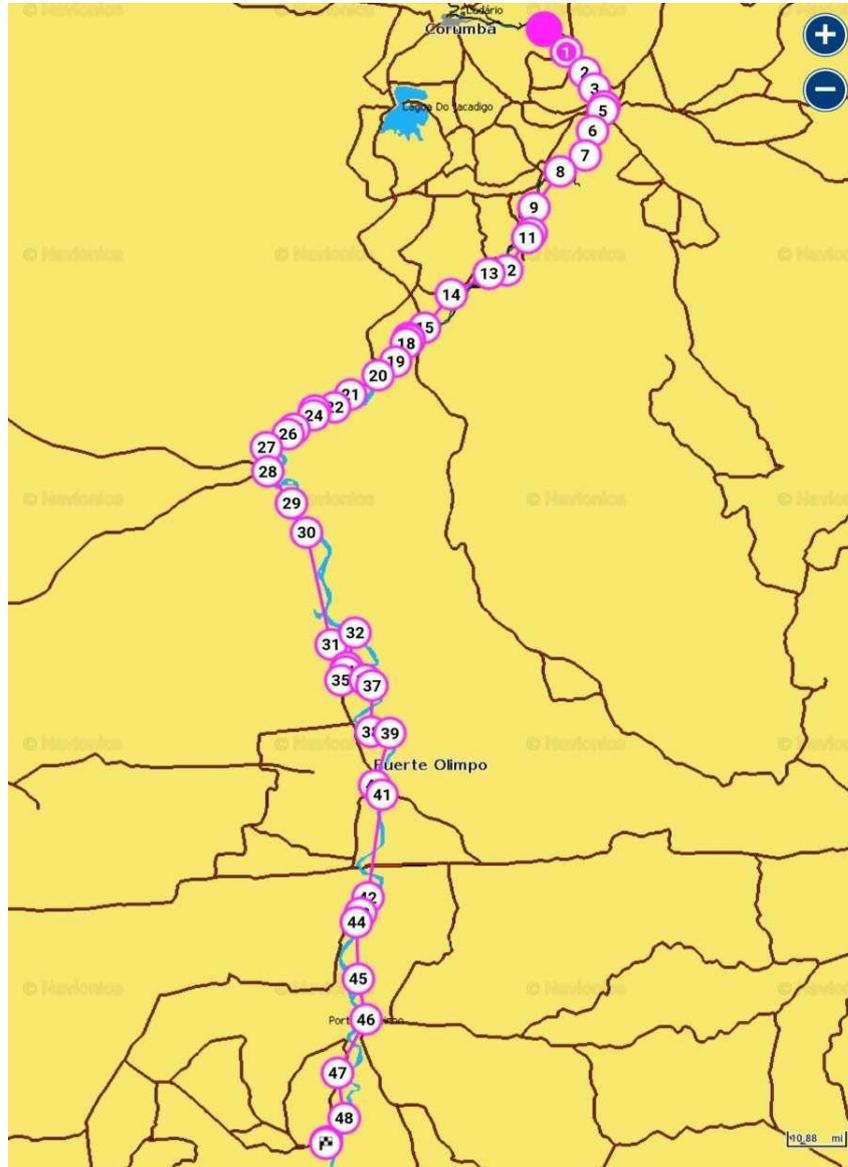


Figura 5 - Tramo Sul da Hidrovia do Rio Paraguai.
Fonte: Autor, 2023.

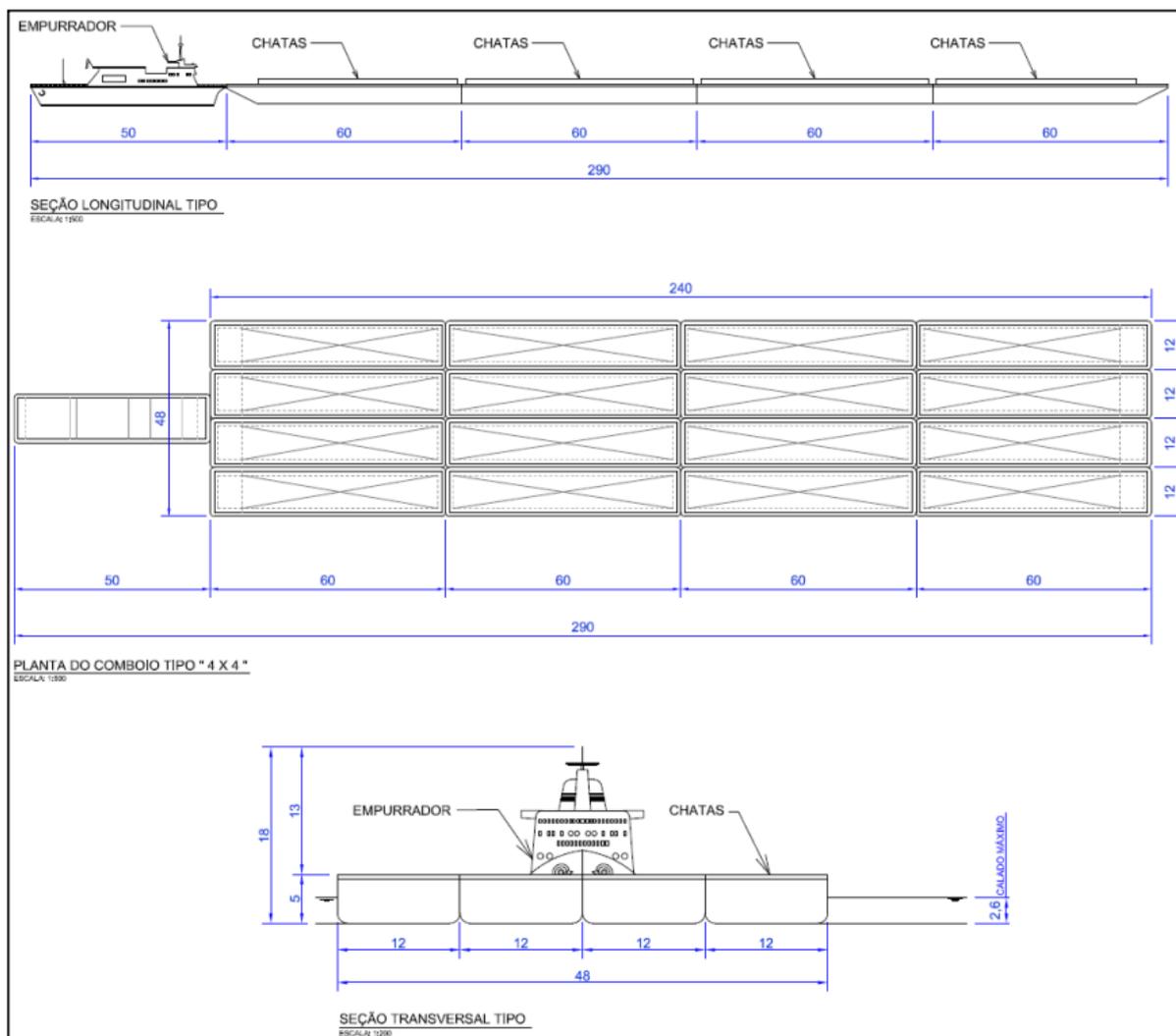


Figura 6 - Comboio-tipo para transporte no Tramo Sul da Hidrovia.
Fonte: UFPR e ITTI, 2015.

Atualmente, esse tramo concentra a grande maioria das cargas transportadas pela hidrovia, apesar de ainda haver trechos que dificultam a navegação no tramo – destacados na Tabela 2. A profundidade mínima adotada é de 3,0m, com 0,3m de pé de piloto. O perfil do comboio tipo é 4x4, com calado de 2,6m (Figura 6).

Foram avaliadas, conforme Tabela 2, e avaliadas as dimensões náuticas dos trechos críticos do Tramo Sul em termos de profundidades, larguras, raios de curvatura e obras de travessia. Estas dimensões foram comparadas com as atualmente vigentes no País (ANTAQ) e com as mais recentes recomendações da PIANC (2019). Assim, foram diagnosticadas e esboçadas conceitualmente as obras mais necessárias para as dimensões dos comboios tipo preconizados. Estas obras teriam o intuito de assegurar a navegação dos comboios, em um período mínimo correspondente a 90% do ano, consistindo fundamentalmente de dragagens.

Tabela 2 - Passos críticos do Tramo Sul da Hidrovia do Rio Paraguai. Fonte: Autor, 2023.

Passo	Carta	Data	ID
Proximidades da Ilha da República	3334	2006	48
Porto Sastre	3334	2006	47
Proximidades da Cancha Estrela	3334	2006	45
Boca inferior riacho Celina	3335	2017	44
Proximidades de Porto Murtinho	3336	2008	43
Passo Tarumã	3337	2009	42
Ilha Fecho dos Morros	3338	2006	41
Passo Camba Nupa	3339	2016	40
Barranco Branco	3341	2016	39
Passo Olimpo	3341	2016	37
Furado do Nabileque	3342	2011	36
Passo Curuçu	3343	2017	35
Ilha do Braga	3343	2017	34
Da Ilha Rabo de Ema a Ilha Spinello	3344	2017	33
Porto Mirhanovich	3344	2017	32
Passo Alegrete Inferior	3344	2017	30
Proximidades da Fazenda Nu Guazu	3345	2010	29
Passo Periquitos	3345	2010	28
Porto Esperanza	3348	2016	27
Passo Cururu	3348	2016	26
Baía Negra	3349	2007	25
Rio Negro	3349	2007	24
Isla del Sauce	3350	2016	23
Ilha Santa Rosa	3350	2016	22
Proximidades da Ilha Santa Fé	3351	2017	21
M'Biguá	3351	2017	20
Passo Rebojo Grande	3351	2017	19
Passo Paratudal	3353	2017	18
Proximidades Fazenda Primavera	3353	2016	17
Passo Piuvas Inferior	3354	2017	15
Volta da Ferradura	3355	2009	14
Proximidades do Morro do Conselho	3356	2017	13
Proximidades da Ilha do Bugio	3356	2017	12
Passo do Jacaré + Ponte do Rio Branco	3357	2011	11
Proximidades da Ponte Nossa Senhora do Pantanal	3357	2011	10
Passo Caraguatá	3359	2006	09

Passo	Carta	Data	ID
Proximidades da Ilha Cambará Ferrado	3359	2010	08
Passo Abobral	3360	2012	07
Proximidades do Porto da Manga	3361	2015	06
Proximidades do rio Taquari	3361	2015	05
Passo Macunã	3361	2015	04
Proximidades da Ilha Tira Catinga	3362	2015	03
Volta Miguel Henrique	3362	2015	02
Passo de Santana	3363	2007	01

3 FUNDAMENTAÇÃO DE PROJETO DE VIAS NAVEGÁVEIS

Este capítulo apresenta aspectos básicos necessários para a concepção de projetos de vias navegáveis, partindo da conceituação do curso d'água natural até os critérios de projeto para torná-lo uma hidrovia, focando nos parâmetros geométricos: profundidade, largura e raio de curvatura do canal.

O canal é uma via navegável artificial, geralmente restrita em sua extensão, construída para permitir a navegação. Os rios canalizados são corpos d'água que foram regulados por meio de construções, como barragens, com a gestão do escoamento controlado por comportas e a inclusão de instalações de transposição de desnível, como eclusas. Por fim, os rios de fluxo livre são naturalmente navegáveis, em que não há barragens em seu curso.

Para que um rio seja considerado como uma hidrovia navegável, é necessário que as dimensões náuticas planialtimétricas sejam satisfeitas, garantindo o tráfego seguro e livre das embarcações de projeto adotadas. Em trechos que não se enquadram naturalmente em dimensões seguras, são necessárias obras de melhoria da calha fluvial, adequando o desenho geométrico por meio de dragagens.

Para aumentar a qualidade das intervenções propostas nos rios, com o objetivo de assegurar a qualidade e segurança da navegação, se faz necessário entender, previamente, os mecanismos básicos que envolvem a evolução dos cursos d'água

3.1 CURSOS D'ÁGUA NATURAIS

Visando melhorar o tráfego de embarcações nos rios o homem altera seu regime natural por meio obras civis, essas intervenções tendem a romper a condição de equilíbrio do rio. Portanto, para entender o alcance das consequências das intervenções na seção transversal do rio de modo a minimizar a perda de estabilidade do rio é importante que se compreenda os fenômenos físicos envolvidos no processo.

Partindo da classificação proposta por Bandini (1958) e abordada por Bernardino (2005), é possível dividir o mecanismo de evolução de um curso d'água em três etapas:

- **Formação:** Os cursos d'água se originam a partir do escoamento das águas da chuva na superfície do solo, fluindo ao longo das linhas de menor elevação chamadas talvegues. Essa água em excesso da chuva começa a erodir o terreno ao longo das linhas de talvegue, devido à sua

capacidade de transportar sedimentos, começando com os materiais mais finos do solo. Além disso, a ação abrasiva dos materiais carregados pela água, que causam atrito e impacto com o solo, também contribui para a erosão. Essa erosão do solo cria o primeiro leito do curso d'água, que ao longo dos séculos sofre modificações significativas devido ao contínuo escoamento, em um processo chamado de modelação do rio.

- **Modelação:** A fase de modelação de um rio envolve alterações nas características geométricas do curso d'água, como a forma em planta, a largura da seção transversal, a inclinação das margens e a profundidade do escoamento. Essas mudanças são resultado de processos de erosão e deposição que ocorrem no canal e são governados por três princípios fundamentais: o princípio da saturação, a lei das declividades e o princípio da seleção
- **Estabilização:** Os trechos do rio onde as mudanças nas características geométricas devido à erosão ou deposição são praticamente imperceptíveis são chamados de trechos estáveis. Essa é a última fase da evolução de um curso d'água, na qual as principais características da seção transversal, declividade e traçado não sofrem mais modificações significativas ao longo dos anos.

Compreende-se que qualquer intervenção no rio, seja ela aumento da profundidade, canalização, alargamento ou estruturas hidráulicas irá interagir com a dinâmica fluvial existente, devendo ser levados em consideração esses aspectos de evolução do curso d'água na hora de conceber as soluções de melhoramento dos trechos navegáveis.

3.2 PARÂMETROS DE PROJETOS HIDROVIÁRIOS

A maioria das vias navegáveis interiores naturais não é restrita pelo homem, enquanto as vias navegáveis artificiais, como canais e vias fluviais canalizadas, são restritas por estruturas hidráulicas. Três tipos de vias navegáveis: canais artificiais (3.2.1), rios de fluxo livre (3.2.2) e rios canalizados (3.2.3) são discutidas a seguir, a partir de toda a bibliografia que embasa a publicação "*Design Guidelines for Inland Waterways*" destacando os tópicos mais relevantes a cada uma delas.

Além disso, foram abordados alguns parâmetros hidrodinâmicos relevantes (3.2.4) para a compreensão mais ampla do sistema hidroviário. Ressalta-se que o objetivo é apenas familiarizar o leitor com esses parâmetros, não sendo abordados em toda sua complexidade.

3.2.1 CANAIS ARTIFICIAIS

Os canais artificiais são implantados e mantidos para criar uma via navegável estável e previsível. A Figura 7, que é um exemplo desse tipo de obra, exhibe o Canal de Pereira Barreto no Estado de São Paulo. Eles são projetados com especificações precisas para acomodar tipos específicos de embarcações, e as condições de navegação são, em grande parte, constantes.



Figura 7 - Canal de Pereira Barreto. Fonte: Prefeitura de Pereira Barreto, 2023.

3.2.1.1 GABARITO VERTICAL

Para garantir a passagem segura de embarcações, é necessário garantir uma folga vertical adequada em estruturas como pontes. A folga vertical é a distância entre a superfície da água e a parte inferior da estrutura. Algumas vias navegáveis não são acessíveis devido a pontes muito baixas.

A folga vertical é variável em rios, pois depende do nível da água, que pode mudar com as chuvas e inundações. Em canais, o nível da água é mais constante. A folga é calculada levando em conta o nível mais alto da água que pode ocorrer

normalmente, considerando variações devido à gestão da água, operações de eclusas e ação de vento.

3.2.1.2 ÁREA DE SEÇÃO TRANSVERSAL

A largura da via navegável (W_F), ou a largura efetiva que uma embarcação requer para navegar com segurança através de um canal, é geralmente determinada pela boca da própria embarcação. Existem diretrizes que ajudam a decidir quão larga uma via navegável deve ser, e isso é frequentemente baseado em múltiplos da boca da embarcação.

A Figura 8, ilustra de forma representativa como é obtida a largura do canal de navegação. A proposição da PIANC para largura mínima em um canal de seção trapezoidal é determinada com relação ao rebatimento nas margens do rio da profundidade do calado estático da embarcação de projeto, de forma respeitar a relação com a boca da embarcação explicado anteriormente.

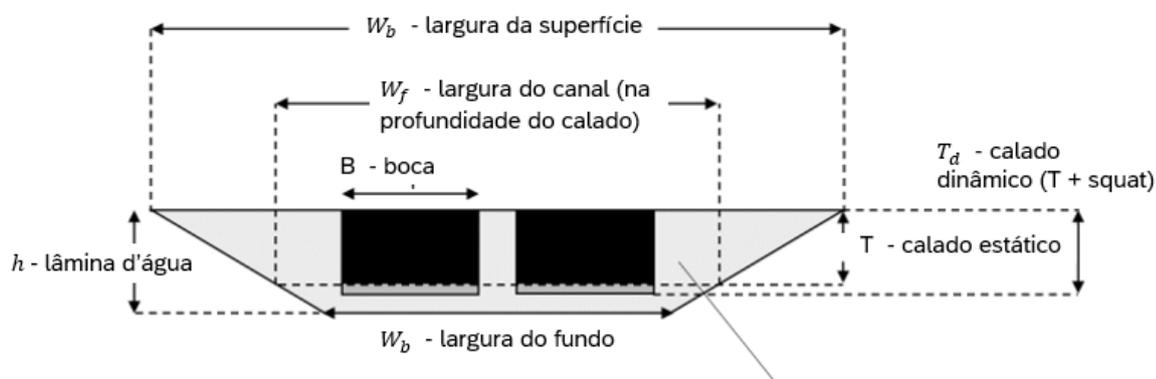


Figura 8 – Indicação da largura mínima determinada pela PIANC. Fonte: Adaptado de PIANC, 2019.

A profundidade do canal é medida da superfície da água até o fundo do canal. É importante considerar o nível mais baixo de água possível, levando em conta fatores como gestão hídrica e condições climáticas, para garantir que as embarcações possam navegar com segurança sem encalhar ou colidir com o fundo do canal.

Alguns parâmetros influenciam no dimensionamento da seção transversal, sendo eles:

- Influência da Velocidade e do Calado da Embarcação

A velocidade (v) e o calado (T) da embarcação não são geralmente parte das diretrizes existentes, mas são fatores críticos que afetam as forças de

interação entre duas embarcações que passam uma pela outra ou entre uma embarcação e as margens do canal. A estabilidade do caminho da embarcação e as forças de interação podem ser influenciadas pelo calado e pela velocidade da embarcação.

- Velocidade Crítica ¹

A velocidade crítica (v_{crit}) é a máxima velocidade que uma embarcação pode atingir antes que as ondas que cria se tornem um problema. A velocidade da embarcação deve ser mantida abaixo de um certo limite para garantir que as correntes e ondas induzidas pela embarcação sejam gerenciáveis.

- Forma do Canal

Canais de diferentes formas, ainda que com a mesma largura superficial, podem afetar a velocidade e a facilidade de navegação de uma embarcação de maneiras diferentes. Por exemplo, um canal com seção transversal retangular permite uma velocidade crítica mais alta e uma navegação mais fácil em comparação com um canal de forma triangular ou trapezoidal.

- Direção

Para garantir uma navegação suave e segura, as embarcações devem ser capazes de manter um caminho estável e centralizado através do canal. Se uma embarcação se desvia do centro, pode ser afetado por correntes irregulares e ter uma navegação instável. As embarcações que se aproximam em direções opostas devem ajustar sua direção para evitar colisões e garantir uma passagem segura.

¹ O conceito de "velocidade crítica" se refere à velocidade de uma embarcação em águas rasas ou em um canal, na qual o escoamento induzido pela embarcação e o campo de onda resultam em um aumento significativo da resistência. Para embarcação de carga, é geralmente impossível exceder a velocidade crítica, tornando-a o limite superior das velocidades que podem ser alcançadas por essas grandes embarcações. Na prática, as embarcações normalmente não navegam mais rápido do que aproximadamente 90% da velocidade crítica, pois se essa velocidade for excedida, a demanda de potência aumenta acentuadamente.

3.2.2 RIOS DE FLUXO LIVRE

Os rios de fluxo livre são caracterizados por sua naturalidade e variabilidade. O nível da água, a corrente e outras condições podem mudar rapidamente, exigindo que os operadores de embarcações sejam adaptáveis e experientes. A flexibilidade é uma vantagem, mas também pode ser um desafio. A Figura 9 exhibe trecho o Rio Paraguai, exemplo de rio de fluxo livre e objeto de estudo dessa pesquisa



Figura 9 - Rio Paraguai. Fonte: Ministério Público do Mato Grosso, 2023.

3.2.2.1 PROFUNDIDADE DO CANAL

A profundidade de um canal é um elemento crucial, influenciada pelo calado da embarcação e a folga necessária abaixo do casco para evitar o contato com o leito do rio. Essa folga serve como uma margem de segurança e varia conforme o tipo de embarcação e as condições do leito do rio. A profundidade mínima é essencial para o projeto de vias navegáveis, pois assegura que as embarcações possam operar durante todo o ano, levando em conta as flutuações dos níveis de água. Além disso, a profundidade abaixo do nível médio da água é fundamental para estudos econômicos de tráfego prospectivo, uma vez que considera as condições hidrográficas anuais e exclui períodos de águas rasas e enchentes extremas.

3.2.2.2 LARGURA DO CANAL

A largura do canal é determinada não apenas pela boca da embarcação, mas também pelas necessidades de manobra, especialmente em curvas. Existem fórmulas

que ajudam a calcular a largura adicional necessária em curvas acentuadas para garantir a navegação segura. O projeto do canal também deve considerar condições como correntes transversais, áreas de atracação, vento e densidade de tráfego. A largura do canal é essencial para determinar a largura da envoltória dinâmica dos comboios que podem navegar com segurança através dele.

3.2.2.3 ÁREA DE SEÇÃO TRANSVERSAL

A seção transversal de um rio é afetada por áreas mais rasas e mais profundas ao lado do retângulo de navegação. Em rios de fluxo livre, a área de seção transversal é geralmente muito maior que a área do retângulo de navegação, o que permite atingir velocidades mais altas. A navegação em rios de fluxo livre, no entanto, pode ser complicada devido às correntes, que podem dificultar o movimento da embarcação ou gerar correntes transversais, especialmente perigosas na descida.

3.2.2.4 VELOCIDADE

Embora as diretrizes de classificação não considerem explicitamente a velocidade da embarcação, há uma velocidade de projeto implícita relacionada à velocidade crítica, que afeta a segurança e a facilidade de navegação. A velocidade de uma embarcação tem implicações diretas no projeto do canal e nas medidas de segurança implementadas para garantir uma navegação segura e eficiente.

3.2.3 RIOS CANALIZADOS

Os rios canalizados compartilham características com os rios de fluxo livre e os canais. Eles são parcialmente feitos pelo homem, como os canais, mas podem ter variabilidade nas condições de água e navegação. A presença de eclusas, como exemplificado na Figura 10, com a eclusa de Nova Avanhandava (Buritama, São Paulo), é uma característica distintiva, permitindo o controle do nível da água e o trânsito seguro de embarcações de diferentes tamanhos.



Figura 10 - Hidrovia Tietê-Paraná, Eclusa em Nova Avanhandava. Fonte: Wikimapia, 2023.

3.2.3.1 LARGURA DA ECLUSA

A largura da eclusa é um fator crítico no projeto de vias navegáveis canalizadas. As embarcações devem ser mais estreitas do que a eclusa que pretendem atravessar. As embarcações costumam ser projetadas para serem tão amplas quanto possível, considerando as dimensões da eclusa, frequentemente seguindo a regra $B = 0,95.W$.

3.2.3.2 PROFUNDIDADE SOBRE A SOLEIRA

A profundidade sobre a soleira, especialmente a soleira a jusante, é um parâmetro crucial. Em vias navegáveis canalizadas ou canais de irrigação, os níveis a jusante podem variar, afetando a profundidade disponível. Um aumento na profundidade sobre a soleira permite um calado maior para as embarcações.

3.2.3.3 COMPRIMENTO DA ECLUSA

O comprimento da eclusa é mais flexível graças à técnica de múltiplos bloqueios, levando a recomendações diferentes em cada localidade. Antigamente, o comprimento das eclusas era aproximadamente oito vezes sua largura. Para comboios empurrados, na Europa, o comprimento pode ser até 16 vezes a largura. A maior eclusa chinesa, por exemplo, tem 280 m de comprimento e é a maior do mundo em termos de conteúdo de água de bloqueio.

3.2.4 PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DE NAVEGAÇÃO

Para entender completamente o projeto e a operação de vias navegáveis interiores, é essencial compreender as dinâmicas complexas entre as embarcações, a água, e o ambiente ao redor. Embarcações grandes e vias navegáveis restritas apresentam desafios únicos que devem ser contornados para garantir a navegação segura e eficiente. A seguir serão abordadas algumas dessas dinâmicas.

3.2.4.1 INTERAÇÃO ENTRE EMBARCAÇÃO E VIA NAVEGÁVEL EM ÁGUA RESTRITA

Quando uma embarcação opera em águas restritas, seu tamanho e movimento alteram o escoamento e o nível da água ao seu redor. Embarcações mais pesadas enfrentam aumento de resistência e redução de velocidade. Este fenômeno está relacionado à resistência hidrodinâmica, onde a água exerce forças opostas ao movimento da embarcação, impactando diretamente na sua manobrabilidade e eficiência.

3.2.4.2 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ACORDO COM A HIDROVIA

As dimensões da via navegável, incluindo sua largura, profundidade e a posição da embarcação afetam diretamente a resistência que uma embarcação enfrenta. Várias teorias e fórmulas, como as de Schijf, Schlichting e BAW (1953, 1934 e 2007, respectivamente), são métodos de cálculo detalhados sobre como essas dimensões impactam a resistência da embarcação, porém não serão detalhadas nesse trabalho por estarem fora do limite de escopo.

3.2.4.3 MUDANÇAS NA EFICIÊNCIA DE PROPULSÃO

A eficiência de propulsão é influenciada não apenas pela forma da embarcação, mas também pelas condições da via navegável. Em águas restritas, a eficiência pode ser reduzida, demandando mais energia do motor, o que, por sua vez, leva a um aumento no consumo de combustível. Este é um fator crítico para a economia operacional e a sustentabilidade ambiental das operações navais.

3.2.4.4 EFEITOS DO TAMANHO E FORMA DA HIDROVIA

Nesta seção, é discutida a influência das dimensões das vias navegáveis nas embarcações que por elas transitam. A interação entre as embarcações e as

características físicas dessas vias, como a largura e a profundidade, afeta diretamente a velocidade crítica das embarcações e a formação de ondas. Por exemplo, uma via navegável com seção transversal retangular permite que uma embarcação atinja sua maior velocidade, enquanto uma seção transversal triangular reduz a velocidade em 25% a 40%. A forma trapezoidal é apresentada como um meio-termo entre esses extremos.

As fórmulas de Romisch e Schijf (1993 e 1953, respectivamente) são destacadas por sua eficácia em estimar parâmetros como o afundamento da proa e popa da embarcação e a velocidade crítica em diferentes condições de nível d'água. Este conhecimento permite ajustes e planejamento adequados para garantir a navegação eficiente e segura. Além disso, em PIANC (2019) fornece estimativas valiosas sobre as ondas geradas pelas embarcações em movimento e seu impacto nas margens das vias navegáveis.

3.2.4.5 ONDAS E CORRENTES INDUZIDAS POR EMBARCAÇÕES

O sistema de ondas e correntes causados pelo movimento de uma embarcação pode ter impactos severos, especialmente nas margens, e afeta a própria embarcação, influenciando sua velocidade, resistência e a maneira como interage com a água e outras embarcações.

O rebaixamento no nível d'água causado por uma embarcação navegando de forma excêntrica em um canal torna-se assimétrica, levando a diferenças de nível de água laterais e, assim, a forças extras na parte submersa da embarcação. Essas forças laterais aumentam com a largura do canal, especialmente se as embarcações mantiverem distâncias constantes em relação às margens. Como resultado, as distâncias de segurança requeridas em canais são geralmente menores do que em canais largos.

A redução da velocidade da embarcação pode diminuir essas diferenças de nível de água laterais, mas esse efeito é limitado. Em velocidades muito altas, relacionadas à velocidade crítica, as distâncias de segurança necessárias aumentam. Os impactos mais significativos vêm da água deslocada lateralmente na proa de uma embarcação em movimento, causando o deslocamento lateral da embarcação que se aproxima. O sistema de ondas secundárias induzidas pela embarcação tem uma influência menor no comportamento de condução da embarcação.

3.2.4.6 FATORES HUMANOS E DENSIDADE DE TRÁFEGO

Outro componente da largura extra está relacionado aos efeitos do fator humano, que podem ser influenciados pela orientação restrita no canal de navegação e pela atenção e habilidades do timoneiro. Além disso, a densidade do tráfego também é um fator significativo; em condições de tráfego intenso, é apropriado aumentar a largura da via navegável para acomodar o tráfego e garantir a segurança.

3.2.4.7 FATORES RELACIONADOS ÀS CURVAS

Este item detalhou a complexidade da navegação através de curvas em rios e canais, abordando a necessidade de os timoneiros compensarem as forças centrífugas que atuam para deslocar a embarcação para o exterior da curva. A compensação é geralmente alcançada criando um ângulo de deriva, mobilizando forças laterais significativas. Fatores como a proporção do calado para a profundidade da água, a velocidade da embarcação, a direção da viagem e a velocidade do escoamento de água influenciam a magnitude das forças envolvidas e, conseqüentemente, a largura adicional necessária para navegar com segurança pela curva.

Para lidar com a complexidade e a variabilidade dessas condições, a avaliação realista das larguras extras muitas vezes requer o uso de simuladores de embarcações para acomodar uma variedade de parâmetros influentes.

3.2.4.8 CORRENTES LONGITUDINAIS

As correntes longitudinais não apenas afetam diretamente a velocidade das embarcações, mas também desempenham um papel significativo na modelagem do curso, leito e gradiente de nível de água de um canal ou rio, especialmente em rios de fluxo livre. Esses fatores, por sua vez, limitam os tipos de embarcações e os calados que podem ser acomodados com segurança.

Essas correntes também geram turbulências e redemoinhos, bem como correntes secundárias e gradientes de nível de água laterais em curvas. Esses efeitos levam a um curso instável e desconfortável para as embarcações. Os timoneiros, especialmente durante a condução a jusante, são obrigados a navegar com precisão para contrabalançar as forças no corpo subaquático das embarcações causadas por essas correntes. Em cenários de canais, as ondas geradas por operações de eclusas

podem produzir efeitos semelhantes aos das correntes longitudinais, afetando a estabilidade e a manobrabilidade das embarcações.

3.2.4.9 CORRENTES TRANSVERSAIS

As correntes transversais podem ser por vários fatores, como vento, deriva de marés em águas costeiras, inundações de terras altas durante as cheias ou correntes secundárias em curvas de rios. Há também correntes transversais locais causadas por estruturas de entrada e saída de água, bocas de afluentes, entradas de canais ou portos em vias navegáveis naturais, redemoinhos em aproximação de eclusas e espigões.

Para compensar, especialmente em campos extensos de corrente transversal, como aqueles causados por correntes secundárias, a embarcação é posicionado em um ângulo α , o que cria uma largura extra necessária para a navegação segura. Em caso de correntes transversais localizadas ou eventos inesperados, pode acontecer que a embarcação derive lateralmente sem compensação. Em qualquer caso, uma largura extra deve ser considerada no projeto da via navegável para acomodar esses movimentos.

Para correntes transversais críticas é necessária uma análise detalhada, como simulações, especialmente em rios onde as eclusas estão próximas a barragens, ou em estruturas de entrada e saída, estações de bombeamento, entre outras estruturas.

3.2.4.10 ESPIGÕES

Na proximidade de espigões, a embarcação é afetada por correntes transversais, que são predominantemente geradas pelo escoamento longitudinal no canal, especialmente nas cabeças dos espigões.

A extensão das correntes transversais é influenciada pelo espaçamento entre os espigões. Quanto maior o espaçamento, mais água entra no campo de espigões e mais água flui de volta na cabeça do espigão. As larguras extras correspondentes são dimensionadas principalmente pelo comprimento dos espigões, pois quanto mais longos, mais água é armazenada no campo de espigões.

A análise de trajetos de embarcações na proximidade de espigões é complexa, pois a situação de navegação é instável e os efeitos dependem fortemente das condições locais de contorno. As fórmulas fornecidas são interpretadas apenas como uma regra geral, mostrando a ordem de magnitude das possíveis influências.

Portanto, as simulações hidráulicas adequadas são tão importantes quanto o próprio projeto da via navegável.

3.2.4.11 EFEITOS DO VENTO

O vento lateral pode tornar mais difícil para os pilotos manterem o curso das embarcações, especialmente em ventos rajados ou em áreas com exposição variável ao vento. Os timoneiros podem ter que agir antecipadamente para evitar a deriva, possivelmente criando um ângulo de deriva oposto ao vento e utilizando lemes ou propulsores de proa passivos ou ativos. Isso pode tornar a navegação mais estressante do que o normal e aumentar a probabilidade de erros de navegação.

A necessidade de espaço de navegação também aumenta sob condições de vento forte, especialmente quando as embarcações são forçadas a navegar mais devagar do que o normal. Embora as diretrizes geralmente provem a ampliação do espaço lateral para navegação, especialmente em canais, a extensão dessas larguras extras é altamente dependente das capacidades de manobra das embarcações, das velocidades possíveis ou permitidas durante manobras relevantes para o projeto, bem como das habilidades e atenção do piloto. Portanto, pode ser quase impossível fornecer recomendações geralmente válidas para essas larguras extras.

O espaço adicional de navegação será geralmente maior para embarcações com pequeno calado ou embarcações navegando em águas mais profundas, que precisam de um ângulo de deriva maior para criar força transversal suficiente no corpo subaquático para contrariar as forças transversais do vento. Embarcações com grandes áreas expostas ao vento também são significativamente afetadas. Em geral, embarcações vazias ou de contêineres, especialmente aquelas que carregam contêineres não carregados, são as mais afetadas.

Em suma, o projeto eficiente de vias navegáveis interiores requer uma análise detalhada e uma abordagem integrada, considerando a hidrodinâmica da água, as características das embarcações, os fatores humanos e ambientais, e as condições operacionais. Cada elemento, desde as ondas induzidas pelas embarcações até os efeitos do vento e as correntes, deve ser meticulosamente analisado para garantir não apenas a segurança das operações, mas também a sustentabilidade e eficiência do transporte marítimo interior.

3.3 REVISÃO DE DIRETRIZES INTERNACIONAIS

Neste subcapítulo, são discutidas diretrizes de países que serviram como base de estudo para os resultados expressos na publicação do WG 141 da PIANC (2019), que é a principal referência bibliográfica da pesquisa. Esses países, que foram selecionados por possuírem características hidrográficas e de navegação interior similares às brasileiras, com grandes rios perenes e de potencial navegável, e, incluem China e Estados Unidos, além da convenção europeia. Além disso, para fins de comparação, serão explorados também os parâmetros brasileiros

3.3.1 EUROPA

O Sistema de Classificação Europeia (CEMT/ITF, 1992) serve como a base para todas as Diretrizes Europeias, como ilustrado na Tabela 3. A padronização das dimensões permitidas para embarcações (comprimento e largura) teve início em 1879 na França, com a promulgação de uma lei que visava a construção e aprimoramento de 9.000 km de canais adequados para o tipo de embarcação Péniche (38,5 x 5,05 m). No início do século XX, na Alemanha, foram desenvolvidos canais que conectavam Dortmund-Ems e Rhein-Herne, com dimensões correspondentes para as embarcações de 73,0 x 8,20 m e 85 x 9,50 m, respectivamente. Posteriormente, foram concebidos diferentes tipos de embarcações, como as grandes embarcações do rio Reno e os comboios de empurradores, para navegar em vias navegáveis mais amplas, como rios.

A partir de 1954, a Conferência dos Ministros dos Transportes Europeus (hoje conhecida como ITF) emitiu resoluções relacionadas à classificação CEMT. A tabela atual, datada de 1992, engloba sete classes de vias navegáveis (conforme apresentado na Tabela 3).

Tabela 3 – Dimensões típicas para comboios de acordo com classificação dos rios, conforme recomendação europeia CEMT/ITF 1992.

Fonte: PIANC (2019). Tradução do Autor.

Classe	Dimensões típicas dos comboios			Folga sob pontes (m)
	L (m)	B (m)	T (m)	
I	38,5	5,05	1,8-2,2	4
II	50-55	6,6	2,5	4,0-5,0
III	67-80	8,2	2,5	4,0-5,0
IV	80-85	9,5	2,5	5,25 ou 7,00
Va	95-110	11,4	2,5-2,8-4,5	5,25 ou 7,00 ou 9,10
Vb	172-185	11,4	2,5-4,5	7,00 ou 9,10

Classe	Dimensões típicas dos comboios			Folga sob pontes (m)
	L (m)	B (m)	T (m)	
Vla	95-110	22,8	2,5-4,5	7,00 ou 9,10
Vlb	185-195	22,8	2,5-4,5	7,00 ou 9,10
Vlc	270-280	22,8	2,5-4,5	9,1
	195-200	33-34,2	2,5-4,5	9,1
VII	285	33-34,2	2,5-4,5	9,1

Análises recentes de frota realizadas pela *Rijkswaterstaat*² revelaram que os valores da classificação CEMT de 1992 não mais refletem a composição atual da frota na Europa Ocidental. Portanto, a *Rijkswaterstaat* desenvolveu uma "Classificação RWS 2010 para Frota de Navegação Interior" mais precisa e atualizada, que se baseia na Tabela 3 da CEMT e incorpora as recentes embarcações motorizadas de grande porte e comboios, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação para Frota de Navegação Interior - 2011. Fonte: PIANC 2019. Tradução do Autor.

Classe	Dimensões típicas dos comboios		
	L (m)	B (m)	T (m)
I	55	5,2	1,9
II	60-70	6,6	2,6
III	80-85	7,5-8,2	2,6-2,7
IVa	85-105	9,5	3,0
Va	95-135	11,4	3,5-4,0
Vb	170-190	11,4	3,5-4,0
Vla	95-145	22,8	3,5-4,0
Vlb	185-195	22,8	3,5-4,0
Vlc	270	22,8	3,5-4,0
VIIa	195	34,2	3,5-4,0

3.3.2 CHINA

As diretrizes chinesas são aplicáveis à classificação das vias fluviais, visando à segurança da navegação de embarcações de acordo com suas dimensões de comprimento e boca, considerando fatores como correntes, regime de escoamento e declividade. Estas recomendações oferecem especificações para rios com navegação unidirecional e bidirecional.

² Rijkswaterstaat faz parte do Ministério Holandês de Infraestruturas e Gestão da Água e é responsável pela concepção, construção, gestão e manutenção das principais instalações de infraestruturas nos Países Baixos.

No que diz respeito à largura da via navegável, ela é determinada como $B + L \sin \beta$, em que β representa o ângulo de deriva, formado entre a direção da velocidade da embarcação e seu eixo longitudinal. Além disso, consideram-se a folga com a margem (s) e a distância de passagem (p), como será detalhado posteriormente. Em situações de navegação bidirecional, a faixa de manobra pode variar entre a navegação ascendente e descendente. Quanto à profundidade, é recomendado adicionar uma margem ao calado, variando de 0,4 a 0,5 metros para embarcações da classe I e de 0,3 a 0,4 metros para as classes II e III.

As dimensões recomendadas para rios não canalizados devem ser determinadas consultando Tabela 5.

Tabela 5 - Dimensões para rios não canalizadas incluindo a folga com as margens e o vento para trechos retilíneos, segundo as recomendações chinesas
Fonte - PIANC (2019). Tradução do Autor.

Classes da hidrovia	Comboio (m)			Dimensões do trecho fluvial não canalizado (m)				Gabaritos sob pontes (m)		
	L	B	T	Profundidade	Largura com mão única	Largura com mão dupla	Raio de curvatura	Largura com mão simples	Largura com mão dupla	Altura Hm
I	406	64,8	3,5	3.5~4.0	125	250	1200	200	400	24
	316	48,6	3,5		100	195	950	160	320	18
	223	32,4	3,5		70	135	670	110	220	18
II	270	48,6	2,6	2.6~3.0	100	190	810	145	290	18
	186	32,4	2,6		70	130	560	105	210	18
	182	16,2	2,6		40	75	550	75	150	10
III	238	21,6	2	2.0~2.4	55	110	720	100	200	10
	167	21,6	2		45	90	500	75	150	10
	160	10,8	2		30	60	480	55	110	10
IV	167	21,6	1,6	1.6~1.9	45	90	500	75	150	8
	112	21,6	1,6		40	80	340	60	120	8
	111	10,8	1,6		30	50	330	45	90	8
	67,5	10,8	1,6							
V	94	18,4	1,3	1.3~1.6	35	70	280	55	110	8
	91	9,2	1,3		22	40	270	40	80	8
	55	8,6	1,3							8
VI	188	7	1	1.0~1.2	15	30	180	25	40	4,5
	45	5,5	1							6
VII	145	5,5	0,7	0.7~0.9	12	24	130	20	32	3,5
	32,5	5,5	0,7							4,5

A recomendação chinesa apresenta um método para determinar larguras adicionais que devem ser adicionadas às dimensões básicas em curvas, com vazões

não paralelas ao eixo da via e cruzamentos de embarcações. Ademais, apresenta-se um método para determinar a largura de canais adequados para embarcações as quais não estão inseridas na tabela de classificação chinesa.

3.3.2.1 Larguras adicionais e folgas

Larguras adicionais devem ser consideradas para contemplar os efeitos de curvatura, interação com as margens, correntes de vento ou correntes transversais e folgas de passagem em canais de mão dupla.

Em geral, o mínimo raio de curvatura varia de 4 a 7 vezes o comprimento da embarcação.

Para calcular a sobrelargura em curvas, deve-se aplicar a equação abaixo.

$$\Delta B = \frac{L^2}{(2R + B)}$$

Tal que L e B são o comprimento e a boca da embarcação de projeto e R é o raio da curvatura, que não deve ser menor que $4L \sim 7L$.

Para determinar as larguras adicionais é necessário calcular a largura da faixa de varredura. Como visto, esse valor é igual a $B + L \sin \beta$. O timoneiro mantém-se em ângulo de deriva para compensar forças laterais, por exemplo, de ventos transversais, correntes transversais, forças centrífugas nas curvas da navegação, forças de sucção das margens, ou outras forças de interação, como quando da passagem com outras embarcações (cruzamentos ou ultrapassagens). A recomendação sugere adotar β igual a 3° e 2° para embarcações das classes I-V e VI-VII, respectivamente.

Com a largura da envoltória, é possível adotar um valor para a largura adicional seguindo as seguintes recomendações:

- 0,25~0,30 vezes a largura da envoltória para comboios em vias com mão simples;
- 0,34~0,40 vezes a largura da envoltória para automotores em vias com mão simples.

Para vias de mão dupla, devem ser utilizadas as recomendações abaixo:

- 0,50~0,60 vezes a soma da largura das envoltórias para comboios;
- 0,67~0,80 vezes a soma da largura das envoltórias para automotores.

Além das dimensões náuticas, a recomendação chinesa sugere velocidades de escoamento adequadas para a navegação em rios e em canais. A Tabela 6 sintetiza os limites de velocidade em função das classes de embarcações e da orientação das componentes da vazão.

Tabela 6 - Velocidade e sentido de escoamento recomendados.
 Fonte: PIANC 2019. Tradução do autor.

Velocidade de escoamento (m/s)			
Classe	Longitudinal	Transversal	Refluxo
I-IV	≤ 2,0	≤ 0,30	≤ 0,4
V	≤ 1,5	≤ 0,25	≤ 0,4

Ressalve-se que esses limites se referem à velocidade na superfície.

3.3.2.2 Passagem sob pontes

Passagens sob pontes são trechos os quais apresentam os maiores riscos à segurança e requerem maior habilidade do timoneiro. Por esse motivo, o método para determinar as dimensões náuticas mínimas são diferentes.

No cálculo da folga, os chineses recomendam que ela seja determinada pelas equações abaixo:

$$\text{Via de mão única: } W = (1 + c)(B + L \sin \beta) + w_c$$

$$\text{Via de mão dupla: } W = (2 + c)(B + L \sin \beta) + 1,85w_c + p$$

Tal que w_c é uma largura adicional devido às correntes transversais, p é a distância entre as duas faixas de uma via com mão dupla e c é a folga entre a embarcação e os pilares da ponte, que pode ser igual a 0,6 e a 0,5 para embarcações das classes I-V e VI-VII respectivamente.

O w_c é determinado com base na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores de w_c
 Fonte: PIANC (2019). Tradução do autor

Classificação	Características do comboio			Desvio no trecho descendente $w_c(m)$		
	L	B	T	0,1	0,2	0,3
I	406	64,8	3,5	10	25	40
	316	48,6	3,5	10	20	35
	223	32,4	3,5	10	20	30
II	270	48,6	2,6	10	20	35
	186	32,4	2,6	10	20	30
	182	16,2	2,6	10	15	20
III	238	21,6	2,0	10	20	30
	167	21,6	2,0	10	15	20
	160	10,8	2,0	8	10	15
IV	167	21,6	1,6	10	15	20
	112	21,6	1,6	8	10	15
	111	10,8	1,6	8	10	15
	67,5	10,8	1,6	8	10	15
V	94	18,4	1,3	8	10	15
	91	9,2	1,3	8	10	15
	55	8,6	1,3	8	10	15
VI	188	7,0	1,0	8	10	15
	45	5,5	1,0	8	8	10
VII	145	5,5	0,7	5	8	8
	32,5	5,5	0,7	5	8	8

3.3.2.3 Aproximação de eclusas

O comprimento da área de aproximação de eclusas possui três componentes: l_1 , que é o comprimento do segmento de entrada e saída da eclusa, l_2 , o qual é o comprimento do segmento de transição, e l_3 , que é o comprimento do segmento no qual as embarcações ficam atracadas enquanto aguardam a eclusagem das embarcações a frente na fila.

Os valores sugeridos para essas componentes são:

- $l_1 \geq \sim L$
- $l_2 \geq \sim (1,5 - 2,0) L$
- $l_3 \geq \sim L$

A largura da área de aproximação de eclusas deve ser, pelo menos, $3,5 B$ em aproximações assimétricas de eclusas únicas com segmento de atracação, $4,5 B$ para aproximações simétricas de eclusas únicas com segmento de atracação, $7 B$ para duas eclusas com segmento de atracação.

A Figura 11 resume as componentes de comprimento e largura da área de aproximação de eclusas.

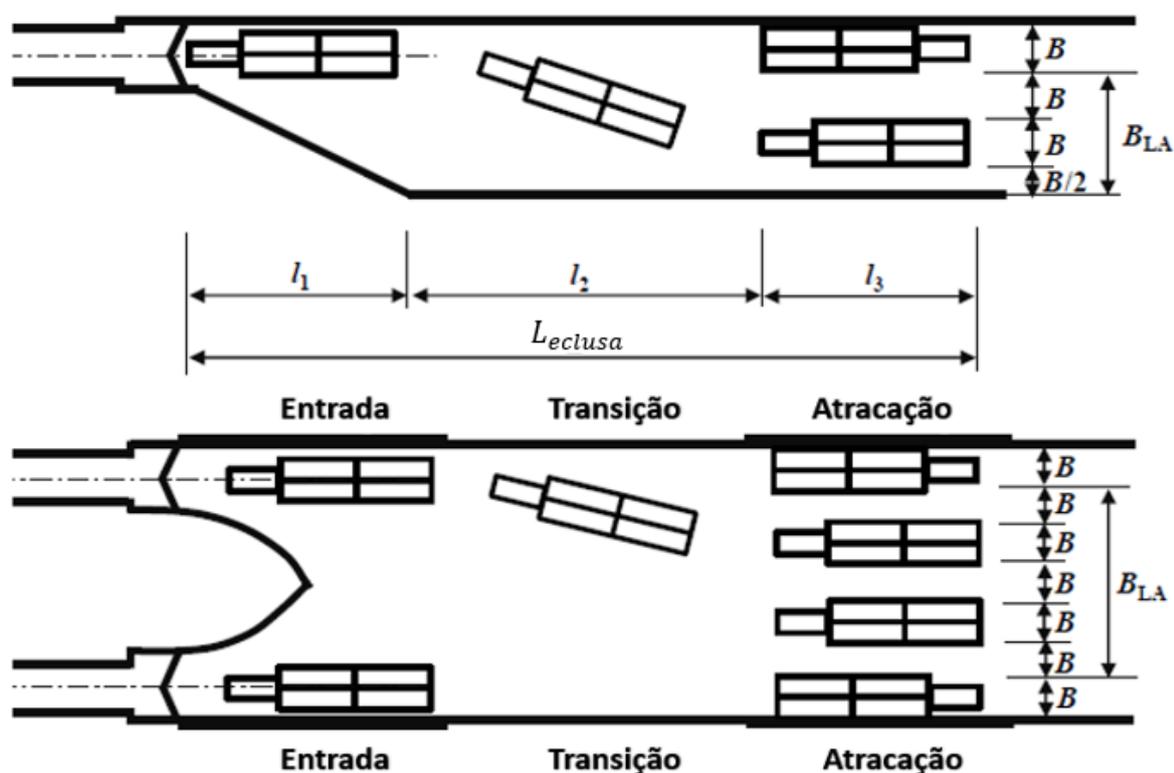


Figura 11 - Área de aproximação de eclusas conforme recomendações chinesas. Fonte: PIANC 2019. Adaptado pelo autor

3.3.2.4 Bacias de evolução

As dimensões horizontais da bacia de evolução devem ser determinadas usando os valores listados na Tabela 8.

Tabela 8 - Bacia de evolução segundo a recomendação chinesa. Fonte: PIANC (2019). Tradução do autor.

Comprimento	Largura
$\geq 2,5 L$ (condições normais)	$\geq 1,5 L$
2,5 - 4,0 L (corrente $> 1,5$ m/s)	$\geq 2,5 L$ (embarcação com um único leme)

3.3.3 ESTADOS UNIDOS

Nos EUA, não há um projeto de embarcação padrão para canais de pouca profundidade. O transporte fluvial é dominado por comboios de barcaças rebocadas por empurradores, variando em número e tamanho com base no tipo de carga e localização.

Existem três categorias de canais interiores:

- Canal: Representa canais estreitos com margens bem definidas e visíveis, muitas vezes com poucos auxílios à navegação. Geralmente,

as correntes fluem ao longo do canal, reduzindo as forças de deriva, exceto nas curvas. Há uma clara orientação da embarcação em relação às margens.

- Águas rasas: Estas vias navegáveis amplas e desimpedidas, localizadas perto do oceano no final de canais de entrada, frequentemente possuem marcadores de alcance e boias de borda do canal.
- Trincheiras: As trincheiras são canais restritos, de tipo dragado ou aberto, situados entre canais estreitos e águas rasas. Elas possuem margens submersas e são geralmente marcadas por indicadores de alcance e boias de borda do canal.

A largura mínima dos canais depende de vários fatores, incluindo o tipo de equipamento, correntes, ventos, marcadores de canal e se o tráfego é de uma ou duas pistas.

3.3.3.1 Trecho em tangente

As larguras mínimas para a composição de barcaças são tabeladas, como apresentado na Tabela 9. Ressalta-se que nesses valores já estão inclusas as folgas previstas para os desaprumos causados pelas forças do vento.

Tabela 9 - Largura mínima das hidrovias segundo as recomendações americanas. Fonte: PIANC (2019). Tradução do autor

B (m)	F (m)	
	Mão simples	Mão dupla
15,2	39,6	57,9
21,3	45,7	70,1
32	56,4	91,5

Essa tabela foi elaborada com base na recomendação de adotar, pelo menos, 12,2 m e 6,1 m entre as composições e as margens em vias de mão simples e mão dupla respectivamente. Além disso, em vias com tráfego nas duas direções, recomenda-se considerar uma distância de 15,2 m entre dois comboios em cruzamentos.

Além disso, a recomendação americana apresenta outro método para determinar a largura. Porém, para aplicá-la, é necessário conhecer o ângulo de deflexão da composição. As larguras de vias de mão simples F_1 e mão dupla F_2 são dadas pelas equações abaixo:

$$F_1 = L_1 \sin \alpha_d + B_1 + 2s_1$$

$$F_2 = L_1 \sin \alpha_u + L_2 \sin \alpha_d + B_1 + B_2 + 2s_2 + s_p$$

Em que:

- L_1 : comprimento da composição 1;
- L_2 : comprimento da composição 2;
- B_1 : largura da composição 1;
- B_2 : largura da composição 2;
- α_d : ângulo de máxima deflexão da composição no trecho descendente;
- α_u : ângulo de máxima deflexão no trecho ascendente;
- s_1 : folga entre a composição e a margem em vias de mão simples, 12,2 m;
- s_2 : folga entre a composição e a margem em vias de mão dupla, 6,1 m;
- s_p : distância mínima entre composições em cruzamentos.

3.3.3.2 Trecho sob pontes

A determinação das folgas horizontais e verticais sob pontes considera o tráfego, as características geométricas da embarcação, o formato da seção transversal da via, a velocidade e direção do escoamento, a qualidade e acurácia dos equipamentos de auxílio à navegação³, a variação da direção da via e a vazão.

Todavia, mesmo com a quantidade de fatores relevantes, a determinação da largura não é complexa; basta multiplicar a boca da embarcação por um coeficiente contido na Tabela 10 e na Tabela 11.

Tabela 10 - Multiplicador para vias de mão simples, conforme recomendações americanas. Fonte: PIANC (2019). Traduzido pelo autor

Máxima velocidade de escoamento	Multiplicador para vias de mão simples		
	Canal	Irrestrito	Restrito
	Auxílio à navegação simples		
0 - 0,31	3	3,5	3,5
0,31 - 0,82	3,5	4,5	4

³ Os sistemas de auxílio à navegação fluvial são conjuntos de tecnologias e infraestruturas que fornecem orientação e segurança para embarcações que navegam em rios e vias navegáveis. Um bom auxílio à navegação fluvial seria um sistema integrado que inclui tecnologias avançadas, como GPS, radar, cartas náuticas digitais e comunicação por rádio, proporcionando informações precisas e em tempo real sobre condições do rio, obstáculos, correntes e tráfego. Um auxílio simples poderia ser uma sinalização básica com boias e balizas, fornecendo apenas orientação visual para os navegadores, mas sem detalhes adicionais ou comunicação direta.

0,82 - 1,54	4	5,5	5
	Bom auxílio à navegação		
0 - 0,31	2,5	3	2,75
0,31 - 0,82	3	4	3,25
0,82 - 1,54	3,5	5	4

Tabela 11 - Multiplicador para vias de mão dupla, conforme recomendações americanas. Fonte: PIANC (2019). Traduzido pelo autor

Máxima velocidade de escoamento	Multiplicador para vias de mão dupla		
	Canal	Meio não confinado	Restrito
	Bom auxílio à navegação		
0 - 0,31	4	5	4,5
0,31 - 0,82	4,5	6	5,5
0,82 - 1,54	8	8	6,5

A folga entre o ponto mais alto da embarcação e o mais baixo da ponte deve ser, pelo menos, 5% do calado aéreo ou 2,0 m no caso da navegação interior.

3.3.4 BRASIL

A Classificação Hidroviária Brasileira é baseada nas diretrizes do DNIT (2016). A classificação para hidrovias brasileiras é função das dimensões de boca (B) e comprimento (L) da embarcação de projeto, incluindo o parâmetro para a profundidade operacional mínima (P) da hidrovia (Tabela 12 e Tabela 13).

Tabela 12 – Classe das hidrovias conforme comboio de projeto (PIANC, 2018).

Classe	B (m)	L (m)
I	48	280
II	33	210
III	25	210
IV	23	210
V	16	210
VI	16	120
VII	12	140
VIII	12	80
IX	12	50

Tabela 13 – Subclasses das hidrovias conforme profundidade (PIANC, 2018).

Categoria	h (m)
Especial	> 3,50
A	3,50
B	3,00
C	2,50
D	2,00
E	1,50
F	1,00

Os parâmetros dimensionais básicos de uma hidrovía são largura, profundidade e raio de curvatura. Esses parâmetros serão discutidos mais profundamente a seguir.

3.3.4.1 PROFUNDIDADE

O parâmetro de profundidade mínima é estabelecido conforme classificação da hidrovía pela ANTAQ, por meio da Tabela 13.

3.3.4.2 LARGURA

A largura da hidrovía é determinada pelas seguintes equações:

$$\text{Hidrovía de mão simples: } W_1 = 2,2 \cdot B$$

$$\text{Hidrovía de mão dupla: } W_2 = 4,4 \cdot B$$

3.3.4.3 RAIOS DE CURVATURA

Ainda que não haja recomendação para o cálculo da largura do canal no ápice de curvas, seção em que ocorre o máximo acréscimo da sobrelargura, na prática é calculada por:

$$W_c = W_f + \frac{L^2}{2R}$$

Em que:

W_c é a largura do canal em curva;

W_f é a largura do canal em tangente;

L é o comprimento da embarcação tipo;

R é o raio de curvatura do canal.

Por fim, outros critérios de projeto incluem:

- As curvas ficam definidas no intervalo entre 4 e 10 vezes o comprimento da embarcação tipo;
- A distância entre curvas consecutivas deve ser pelo menos 5 vezes o comprimento da embarcação tipo;
- A declividade dos taludes gerados por dragagem deve ser de pelo menos 1V:8H para canais aluviais;
- A declividade resultante de derrocamento deve ser de no mínimo 1V:1H.

Por fim, para o Tramo Sul da Hidrovia do Rio Paraguai as características dimensionais mínimas, de acordo com cada critério a ser abordado, são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Características dimensionais mínimas segundo DNIT.

Fonte: PIANC, 2018. Tradução do autor.

Critério	Profundidade (m)	Largura (m)	Raio de curvatura (m)
DNIT	3,0	105,6	1160 - 2900

4 PUBLICAÇÃO “DESIGN GUIDELINES FOR INLAND WATERWAY DIMENSIONS”

O capítulo 4 pormenorizou a publicação do grupo de trabalho 141 da PIANC, que foi a lacuna de conhecimento abordada na pesquisa e intensamente estudada a fim de absorver o conteúdo descrito na publicação, entender os conceitos subjacentes aos resultados exibidos e explicar de forma didática as considerações, premissas e os processos utilizados no desenvolvimento do método obtido pelo grupo de estudo.

A PIANC vem ao longo dos anos publicando diversos estudos (*Approach Channels – Preliminary Guidelines - 1995; Economic aspects of inland waterway – 2005; Considerations to reduce environmental impacts of vessels – 2008; Values of inland waterway - 2016; InCom Interim Report n° 201 – 2018*) com o objetivo de estabelecer diretrizes gerais para o dimensionamento de canais navegáveis. A partir desses estudos foi possível chegar ao método proposto em 2019 no Report 141 da PIANC “*Design guidelines for inland waterway dimensions*” que serviu como base metodológica para a análise dos trechos da Hidrovia do Rio Paraguai do presente trabalho.

O grupo de trabalho se empenhou em revisar e unificar as diretrizes para o projeto e a segurança das vias navegáveis. Eles observaram que as práticas existentes eram inconsistentes e, em resposta, introduziram a abordagem S&E. Essa abordagem considera fatores variados, como as estruturas circundantes e as características específicas de cada via navegável, para determinar o método apropriado que garantirá tanto a segurança quanto a facilidade de navegação.

4.1 MÉTODO GERAL DE PROJETO HIDROVIÁRIO

A publicação sugere um fluxo típico para o processo de planejamento e desenvolvimento de um projeto hidroviário. O processo é abrangente e envolve 7 etapas cruciais, descritas a seguir:

4.1.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO

O foco está na avaliação detalhada da frota existente e futura e na consideração do tempo de vida das iniciativas de projeto. As embarcações de projeto são definidas, e as situações de tráfego, incluindo a densidade e os possíveis tempos de espera, são analisadas para antecipar e mitigar desafios.

4.1.2 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES LIMITES LOCAIS

Fatores ambientais e climáticos, como ventos cruzados, visibilidade e variações nos níveis e velocidades de água, são cuidadosamente avaliados. O projeto deve ser adaptado conforme necessário para alinhar-se com essas condições específicas.

4.1.3 SELEÇÃO DO MÉTODO DE PROJETO

Deverá ser escolhido um método de projeto apropriado, podendo ser baseado em diretrizes nacionais ou outros padrões internacionais. Os métodos de simulação podem ser introduzidos se houver discrepâncias significativas nos resultados obtidos através dos métodos.

4.1.4 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES ATUAIS

Problemas existentes são identificados, e um caso de referência pode ser analisado para calibrar a abordagem de projeto. O padrão de facilidade é escolhido com base na segurança desejada e na qualidade de navegação (S&E).

4.1.5 EXECUÇÃO DO PROJETO

Vários métodos de projeto são empregados para garantir precisão e eficiência. Se houver dúvidas ou inconsistências, o projeto é revisado e adaptado para atender aos padrões desejados de segurança e navegação.

4.1.6 COMPARAÇÃO E ANÁLISE

Os resultados são comparados com projetos semelhantes. Uma análise de sensibilidade é realizada para identificar e ajustar parâmetros que influenciam significativamente os resultados.

4.1.7 VERIFICAÇÃO DOS IMPACTOS

Os impactos retroativos e as consequências do projeto são avaliados. A estabilidade das margens do rio, os impactos ambientais e socioeconômicos devem ser cuidadosamente considerados, e ajustes são feitos conforme necessário.

O processo de projeto é muitas vezes iterativo. Cada etapa é revisada e ajustada várias vezes para garantir um alinhamento preciso com os padrões de segurança, ambientais e operacionais.

O projeto final é um reflexo de uma análise cuidadosa, adaptações e melhorias iterativas, assegurando não apenas a viabilidade técnica, mas também a sustentabilidade ambiental e a eficiência operacional. A implementação segue uma verificação rigorosa para garantir que todas as metas e padrões sejam atendidos e excedidos.

4.2 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ABORDAGEM TRIPLA

A publicação sugere uma abordagem tripla, composta pelo Projeto Conceitual (4.3), Abordagem Prática (4.4) e Projeto Detalhado (4.5). Embora a aplicação de todos os três não seja sempre necessária, eles oferecem um roteiro completo para abordar situações de complexidades variadas.

O Projeto Conceitual é o estágio inicial e pode ser suficiente em muitos casos. Ele se baseia em diretrizes nacionais ou internacionais, e se estas diretrizes se alinharem bem com o problema específico de projeto e as condições locais, pode não ser necessário avançar para métodos mais complexos. O Projeto Conceitual proporciona dimensões básicas, incluindo distâncias de segurança às margens e entre embarcações e ajustes para o fator humano.

Entretanto, mesmo quando o Projeto Conceitual é aplicável, compará-lo com exemplos práticos e diretrizes variadas é uma prática recomendada. Isso ajuda a garantir que o projeto seja robusto e adaptável a uma gama de cenários.

O Projeto Detalhado é o passo mais aprofundado e é realizado quando há diferenças significativas nos resultados dos dois primeiros métodos ou quando se excedem os limites de aplicação. Utiliza investigações de campo, testes de modelos em escala ou simulações náuticas.

Cada método tem seu lugar no ecossistema de projeto de uma via navegável. Juntos, eles formam um sistema integrado que é flexível, adaptável e capaz de abordar uma ampla variedade de desafios no projeto de vias navegáveis.

4.3 PROJETO CONCEITUAL

O Projeto Conceitual é uma etapa fundamental no desenvolvimento de vias navegáveis. Ele muitas vezes se alinha com as diretrizes nacionais existentes, levando em consideração especificidades como a frota nacional, a tradição marítima, as condições político-socioeconômicas e as leis aplicáveis.

As diretrizes nacionais são uma primeira escolha, pois refletem práticas e padrões aceitos no país, simplificando o processo de projeto e promovendo soluções sustentáveis que reduzem custos de construção e manutenção. No entanto, também têm limitações, como a lentidão para se adaptarem a novos desenvolvimentos e a restrição de inovações.

As etapas propostas no Método de Projeto Conceitual:

- Consulta às Diretrizes Nacionais:
Deve se iniciar o processo examinando as diretrizes nacionais e aplicá-las aos casos pertinentes.
- Análise Internacional:
Devem ser comparados os resultados com diretrizes internacionais para entender as variações e incertezas.
- Escolha de Qualidade S&E:
Uma qualidade de Segurança e Facilidade (S&E) apropriada é selecionada, baseada, nesta publicação, nas recomendações do capítulo 4.6.
- Aplicação da Pontuação S&E:
Executa-se o projeto de acordo com a pontuação S&E, referenciando os números fornecidos.
- Ajustes e Incrementos:
Amplia-se as dimensões básicas, conforme necessário, utilizando fórmulas para incrementos para considerar aspectos como largura extra em curvas, forças de vento entre outros, conforme exposto no item 4.7.3.
- Verificação de Limites de Aplicabilidade:
Certifique-se de que o projeto está dentro dos limites aceitáveis e se ajusta às condições específicas do local.

O Projeto Conceitual pode resultar em uma solução adequada, mas se não atender às expectativas, serve como ponto de partida para uma análise mais detalhada.

Em suma, o Método de Projeto Conceitual é uma ferramenta crucial, mas inicial, balizada pelas diretrizes nacionais, mas não restrita a elas. A inovação, adaptabilidade e uma visão internacional são essenciais para desenvolver um projeto robusto e eficiente que não apenas atenda, mas supere os padrões existentes.

4.4 ABORDAGEM PRÁTICA

Enquanto há muitas diretrizes disponíveis para o projeto de canais, o projeto de vias fluviais em rios é um pouco mais complexo devido à variabilidade e às condições dinâmicas. Em tais cenários, recorrer a exemplos práticos se torna uma estratégia valiosa.

Cada rio possui um sistema complexo - as dimensões, as correntes e até mesmo o tráfego de embarcações variam significativamente. Portanto, a busca por exemplos comparáveis requer um olhar atento e criterioso.

Deve-se coletar exemplos de situações de rios existentes de diferentes locais, considerando as variáveis relevantes, como intensidade e composição do tráfego, dimensões da embarcação e tipos de carga. Entretanto, dada a complexidade dos rios, uma análise detalhada e cuidadosa é essencial para garantir que os exemplos selecionados sejam genuinamente comparáveis.

Ao aplicar a abordagem prática, exemplos de projetos existentes, particularmente em relação à largura da via navegável, aberturas de pontes e aproximação de eclusas, oferecem considerações valiosas. O desafio é identificar e aplicar esses exemplos de maneira que sejam verdadeiramente relevantes e aplicáveis ao caso de projeto em consideração.

4.5 PROJETO DETALHADO

O projeto detalhado deve ser aplicado quando há incertezas significativas ou complexidades que não podem ser adequadamente abordadas ou resolvidas por meio das abordagens de Projeto Conceitual ou Prática.

Ao encontrar variações notáveis ou incertezas ao aplicar as diretrizes de Projeto Conceitual ou ao comparar com dados práticos, é um sinal claro de que um estudo mais detalhado é necessário. Além disso, situações que desafiam as normas convencionais ou apresentam condições únicas exigem uma análise caso a caso para garantir soluções personalizadas e eficazes.

Uma técnica comumente empregada envolve simulações de embarcações, para modelar e analisar o comportamento e o desempenho das embarcações em condições específicas da via navegável.

Um projeto detalhado é vital para garantir que as soluções de engenharia não sejam apenas teoricamente sólidas, mas também praticamente aplicáveis e eficazes, especialmente em cenários complexos e variados.

4.6 MÉTODO “SAFETY AND EASE”

A nova abordagem S&E veio substituir o anterior modelo de projeto baseado em riscos. Essa mudança foi necessária devido à falta de dados consistentes e confiáveis que pudessem fundamentar um sistema de avaliação de riscos robusto. No novo método, cada sistema de via navegável, com suas características e desafios únicos - desde a profundidade e largura até as condições econômicas do transporte fluvial - é meticulosamente considerado. Esta consideração detalhada garante que as especificações e diretrizes sejam adaptadas às necessidades e desafios locais.

A abordagem S&E foi categorizada em diferentes níveis, desde A até C, para representar os variados graus de facilidade de navegação, em que A é o melhor cenário e C o mais desfavorável. Esta categorização detalhada promove uma análise precisa e uma aplicação prática da abordagem S&E.

Ao se distanciar da abordagem da MarCom⁴, que se caracterizava por sua complexidade e pela inclusão de numerosos parâmetros, a abordagem simplificada de S&E propõe uma alternativa mais prática e eficiente, especialmente benéfica para as vias navegáveis interiores. A segurança, sendo uma consideração primordial, está intrínseca em cada etapa do processo de avaliação e do projeto, garantindo que as operações de navegação sejam realizadas sob as condições mais seguras possíveis.

A S&E avalia a probabilidade de acidentes e danos potenciais, considerando aspectos de risco até certo ponto. A extensão da via navegável é determinada pelos fatores ao redor, como edificações e instalações flutuantes e pelas condições específicas de cada via navegável, incluindo profundidade, largura, velocidades do escoamento e outras características.

A abordagem simplificada está alinhada com o método de Projeto Conceitual. Ela se concentra nas categorias necessárias de S&E e nas dimensões mínimas das vias navegáveis, em vez de adicionar incrementos baseados em vários parâmetros como na abordagem da PIANC MarCom.

⁴ Comissão de Navegação Marítima da PIANC.

A abordagem simplificada deve ser aplicada até mesmo quando um estudo detalhado é necessário. Isso ajuda a encontrar casos de referência apropriados para análises comparativas. O caso de referência deve refletir as condições do caso de projeto e pode ser verificado aplicando a abordagem simplificada.

Para estudos mais detalhados, uma forma mais abrangente de quantificar a qualidade do S&E é necessária. A análise qualitativa comum é suscetível a influências humanas, dessa forma uma quantificação adequada ajuda a superar esse problema. A necessidade de quantificar S&E também se deve à necessidade de aprimorar os resultados de um estudo detalhado, especialmente em condições críticas de via navegável. A abordagem detalhada do S&E é usada para comparar claramente as pontuações S&E de variantes e casos de referência.

Ambas as abordagens, simplificada e detalhada, devem ser avaliadas com um caso de referência. Isso permite uma consideração comparativa, minimizando possíveis erros. O objetivo central permanece sendo garantir a segurança na navegação através de um projeto adequado, levando em consideração a facilidade e as condições específicas de cada via navegável.

O presente estudo se concentrou em empregar o método simplificado do método de S&E (abordagem descrita no item 4.7.2). Dessa forma, será esse o método abordado na continuação do capítulo.

Os critérios de "facilidade" referem-se à facilidade com que uma embarcação pode navegar por um canal. Isso é influenciado por fatores como tráfego, condições do canal, tipo de carga, propriedades da embarcação, condições hidrológicas e a experiência do timoneiro. A seguir elas são detalhadas:

- Tráfego: Refere-se às condições de tráfego na via navegável, se é unidirecional, se há situações de encontro ou ultrapassagem de embarcações e se o tráfego é fraco ou intenso.
- Condições do canal: Descreve as características físicas da via navegável, isso inclui:
 - Seções retas e curvas;
 - Correntes longitudinais fortes ou fracas e correntes secundárias;
 - Turbulência;
 - Margens regulares ou irregulares;
 - Medidas de treinamento (possíveis áreas designadas para treinamento de navegação);

- Largura do canal;
 - Distância entre estruturas, como eclusas ou outros obstáculos.
- Timoneiro: Refere-se ao timoneiro e fatores humanos que influenciam a navegação:
 - Experiência e habilidades;
 - Estresse e distração;
 - Pressão de prazos das viagens;
 - Concentração e atenção;
 - Fadiga.
- Clima: Condições ambientais que impactam a navegação:
 - Visibilidade;
 - Vento;
 - Mudanças no nível da água;
 - Condições do nível d'água.
- Embarcações: Características da embarcação que podem influenciar o projeto da via navegável:
 - Tamanho da embarcação;
 - Presença ou ausência de propulsores de proa;
 - Número de lemes;
 - Nível de potência da embarcação;
 - Projeto da embarcação.
- Sistemas de informações: Sistemas tecnológicos a bordo que auxiliam na navegação:
 - Radar e GPS.
 - ECDIS (Sistema Eletrônico de Informação de Cartas de Navegação).
 - AIS (Sistema de Identificação Automática).
 - Piloto automático.

4.6.1 PRIMEIRO GRUPO

O método proposto pelo relatório divide os critérios de avaliação em três grupos; o primeiro adiciona parâmetros relacionados às condições de tráfego, às dimensões da seção de navegação, ao grau de periculosidade das cargas transportadas, à manobrabilidade das embarcações, à disponibilidade de

instrumentos de auxílio à navegação, à variação do nível da água, à visibilidade e à habilidade dos timoneiros. Nessa perspectiva, a avaliação segundo os critérios do primeiro grupo pode ser resumida na Tabela 15.

Tabela 15 - Grupo 1 de critérios para avaliação da hidrovia.

Fonte: PIANC, 2019. Tradução do autor.

Critério		Argumentos favoráveis à classificação da via existente em uma categoria inferior	Argumentos favoráveis à classificação da via existente em uma categoria superior
1	Profundidade dentro da faixa navegável e tipos de carga transportada	Embarcações de grande calado, transportando carga com certo grau de periculosidade em águas rasas	Embarcações vazias ou em lastro; a carga transportada não apresenta grau de periculosidade; profundidade suficiente
2	Qualidade do treinamento, habilidade e experiência dos timoneiros	Pilotos mal treinados, pouco conhecimento das características da hidrovia e da infraestrutura	Timoneiros qualificados e experientes
3	Nível de atenção, distração e estresse do piloto	Muito tempo de condução; condução monótona; necessidade permanente de executar manobras	Pouca necessidade de executar manobras
4	Largura da faixa navegável, riscos de acidentes, danos causados por possíveis acidentes	Pequena largura, presença de construções, cais, instalações flutuantes, embarcações atracadas nas proximidades da faixa de navegação, perigo à vida ou à integridade física em caso de acidentes	Largura da área navegável é adequada; margens com declividade uniforme; canalização; diques paralelos às margens; espigões curtos que não interferem na faixa navegável
5	Incertezas relacionadas às condições da hidrovia	Turbulência, correntes secundárias, margens irregulares, espigões longos, leito rochoso, vento, névoa	Margens regulares; leito de cascalho ou arenoso com declividade constante; ventos de baixa velocidade ou proteção contra o vento
6	Condições de tráfego, interação hidrodinâmica entre embarcações ou entre embarcações e as margens	Única faixa de navegação, muitas manobras de ultrapassagem	Mais de uma faixa de navegação; forças hidrodinâmicas admissíveis
7	Instrumentação das embarcações	Embarcações equipadas apenas com os lemes principais; propulsores de proa de baixa potência, motores de baixa potência; ausência de sistemas de auxílio à navegação	Embarcações equipadas com propulsores de proa potentes ou leme de proa passivo, com motores potentes, com duas hélices e com sistema de auxílio à navegação sofisticados

4.6.2 SEGUNDO GRUPO

O segundo grupo agrega os critérios relacionados às velocidades. Nas águas calmas de canais ou quando se navega contra a corrente de um rio, a baixa velocidade oferece ao piloto um tempo adicional para corrigir desvios ou adaptar-se a situações imprevistas. Este cenário contrasta fortemente com a navegação em altas velocidades, onde cada decisão e ação são amplificadas, demandando um projeto e planejamento mais rigorosos para garantir a segurança.

A necessidade de navegar rapidamente, especialmente em rios com correntes fortes ou em curvas apertadas, destaca a baixa facilidade de navegação. Aqui, a "janela de velocidade segura", ou a diferença entre a velocidade mínima necessária

para manobras seguras e a velocidade crítica, se torna um indicador importante. Quando essa janela é estreita, como em canais de via única, a facilidade de navegação é percebida como baixa.

O critério propõe uma avaliação baseada em três pilares: a velocidade da embarcação sobre o solo, a faixa de velocidade e a extensão do tráfego recreativo. Em aplicações práticas, a velocidade máxima atingível e a velocidade necessária para uma viagem segura são medições fundamentais.

No entanto, é importante observar que a atribuição de pontuações de facilidade pode variar entre os casos de projeto e de análise. Um alcance estreito de velocidade pode exigir uma categoria de facilidade mais alta no caso do projeto, garantindo um espaço de navegação mais amplo. Em contrapartida, a mesma faixa estreita indica uma qualidade de facilidade baixa no caso da análise. A presença de tráfego recreativo amplifica essa dinâmica. Embora um tráfego intenso exija uma categoria de facilidade mais alta, ele pode reduzir a qualidade de facilidade para as embarcações comerciais. A Tabela 16 resume o segundo grupo.

Tabela 16 - Grupo 2 de critérios para avaliação da hidrovia. Fonte: PIANC, 2019.

Critério	Argumentos favoráveis à classificação da via existente em uma categoria inferior		Argumentos favoráveis à classificação da via existente em uma categoria superior	
	Máxima velocidade em relação ao solo	$\geq 13 \text{ km/h}$ (+1)	10 – 12 km/h (+0,5)	5 – 9 km/h (-0,5)
Faixa de velocidade viável em relação à água entre V_{crit} e a velocidade mínima para garantir a manobrabilidade	$\geq 6 \text{ km/h}$ (+1)	4 – 5 km/h (+0,5)	3 – 4 km/h (-0,5)	$\leq 2 \text{ km/h}$ (-1)

4.6.3 TERCEIRO GRUPO

O último grupo agrega os critérios relacionados ao tráfego. Um diz respeito ao uso do espaço da hidrovia por embarcações de uso recreacional que podem ser propulsionadas pelo próprio condutor, como barcos a remo. O segundo critério avalia as restrições à velocidade provocadas pelo alto tráfego de veículos comerciais. A Tabela 17 resume o processo de análise do terceiro grupo.

Tabela 17 - Grupo 3 de critérios para avaliação da hidrovia. Fonte: PIANC, 2019.

Critério	Argumentos favoráveis à classificação da via existente em uma categoria inferior		Argumentos favoráveis à classificação da via existente em uma categoria superior	
	Interferências devido a navegação recreacional provocadas, principalmente, pela presença de embarcações sem motores, como barcos a remo.	Sem influência significativa na velocidade das embarcações cargueiras	Interferência média de embarcações recreacionais	
Necessidade de reduzir a velocidade em caso de grande volume de tráfego de embarcações comerciais.	< 5.000 Embarcações por ano (+1)	5.000 – 15.000 embarcações por ano (+0,5)	15.000 – 30.000 embarcações por ano (-0,5)	> 30.000 Embarcações por ano (-1)

Para determinar a nota numérica do trecho analisado, utiliza-se a Tabela 18.

Tabela 18 – Tabela de classificação e atribuição de notas para a hidrovia.
Fonte: PIANC, 2019.

Critério	Argumentos favoráveis à classificação da via existente em uma categoria inferior	Argumentos favoráveis à classificação da via existente em uma categoria superior	Pontuação	Fatores		
				Individuais	Grupo	
A pontuação é +1 se o argumento da coluna vermelha for verdadeiro; se a verde for mais adequada, a pontuação é -1. Se nenhum argumento for adequado, a pontuação é 0. É permitido interpolar em situações convenientes.						
Primeiro grupo de avaliação: Critérios relacionados à hidrovia	1	Profundidade dentro da faixa navegável e tipos de carga transportada	Embarcações de grande calado, transportando carga com certo grau de periculosidade em águas rasas	Embarcações vazias ou em lastro; a carga transportada não apresenta grau de periculosidade; profundidade suficiente		35%
	2	Qualidade do treinamento, habilidade e experiência dos timoneiros	Pilotos mal treinados, pouco conhecimento das características da hidrovia e da infraestrutura	Timoneiros qualificados e experientes		
	3	Nível de atenção, distração e estresse do piloto	Muito tempo de condução; condução monótona; necessidade permanente de executar manobras	Pouca necessidade de executar manobras		
	4	Largura da faixa navegável, riscos de acidentes, danos causados por possíveis acidentes	Pequena largura, presença de construções, cais, instalações flutuantes, embarcações atracadas nas proximidades da faixa de navegação, perigo à vida ou à integridade física em caso de acidentes	Largura da área navegável é adequada; margens com declividade uniforme; canalização; diques paralelos às margens; espigões curtos que não interferem na faixa navegável		
	5	Incertezas relacionadas às condições da hidrovia	Turbulência, correntes secundárias, margens irregulares, espigões longos, leito rochoso, vento, névoa	Margens regulares; leito de cascalho ou arenoso com declividade constante; ventos de baixa velocidade ou proteção contra o vento		
	6	Condições de tráfego, interação hidrodinâmica entre embarcações ou entre embarcações e as margens	Única faixa de navegação, muitas manobras de ultrapassagem	Mais de uma faixa de navegação; forças hidrodinâmicas admissíveis		

Critério		Argumentos favoráveis à classificação da via existente em uma categoria inferior	Argumentos favoráveis à classificação da via existente em uma categoria superior	Pontuação	Fatores		
					Individuais	Grupo	
7	Instrumentação das embarcações	Embarcações equipadas apenas com os lemes principais; propulsores de proa de baixa potência, motores de baixa potência; a embarcação é um embarcação; ausência de sistemas de informações	Embarcações equipadas com propulsores de proa potentes ou leme de proa passivo, com motores potentes, com dois hélices e com sistema de auxílio à navegação sofisticados				
Escolher a pontuação entre os números indicados. É possível interpolar em casos convenientes.							
Segundo Grupo: Velocidade das embarcações	8	Máxima velocidade em relação ao solo	$\geq 13 \text{ km/h}$ (+1)	10 – 12 <i>km/h</i> (+0,5)	5 – 9 <i>km/h</i> (-0,5)	< 4 <i>km/h</i> (-1)	20%
	9	Intervalo de velocidades relativas à água entre a máxima velocidade praticável e a mínima velocidade que garante a manobrabilidade	$\leq 2 \text{ km/h}$ (+1)	3 – 4 <i>km/h</i> (+0,5)	4 – 5 <i>km/h</i> (-0,5)	$\geq 6 \text{ km/h}$ (-1)	
Escolher a pontuação entre os números indicados em parênteses.							
Terceiro Grupo: Densidade de tráfego	10	Interferências devido à navegação recreacional provocadas, principalmente, pela presença de embarcações sem motores, como barcos a remo.	Forte interferência a qual afeta, intensamente, a velocidade média	Interferência média de embarcações recreacionais	Sem influência significativa na velocidade das embarcações cargueiras		45%
	11	Necessidade de reduzir a velocidade em caso de grande volume de tráfego de embarcações comerciais.	> 30.000 embarcações por ano (+1)	15.000 – 30.000 embarcações por ano (+0,5)	5.000 – 15.000 embarcações por ano (-0,5)	< 5.000 embarcações por ano (-1)	

Na coluna pontuação, insere-se a nota de cada critério. Depois para calcular a nota final, utiliza-se a equação abaixo.

$$Nota = \sum_{\text{Grupos}} \left[\left(\sum_{\text{critérios}} Pontuação\ individual \times fator\ individual \right) \times Fator\ do\ Grupo \right]$$

Com a nota numérica, é possível classificar o trecho em A, B, C e categorias intermediária. Não há, porém, um limite claro entre as notas numéricas de cada categoria. Por isso, recomenda-se empregar a Figura 8 para decidir a categoria que melhor representa o trecho analisado.

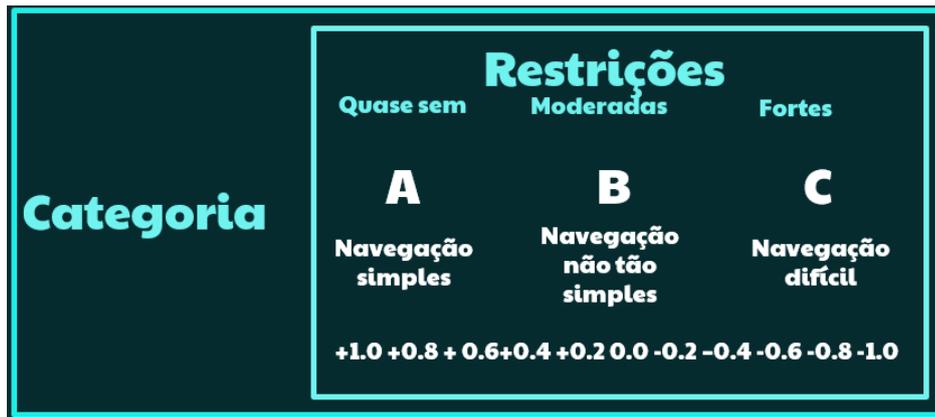


Figura 12 – Diagrama para determinação da classificação da hidrovia a partir da nota numérica.

Fonte: Adaptado de PIANC (2019).

Os fatores individuais, que são coeficientes de minoração, apresentados na tabela foram obtidos por meio da análise de casos existentes e das recomendações regionais. Por isso, há a possibilidade de eles não serem adequados em muitas situações. Nessa perspectiva, deve-se verificar se o resultado obtido pelo método representa bem a realidade. Isso pode ser feito por meio de entrevistas com os timoneiros, de simuladores de tráfego e de comparações com hidrovias já classificadas. Se não houver aderência do resultado, deve-se modificar os fatores, priorizando o grupo de critérios mais relevantes para a região. (PIANC, 2019).

4.7 APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DAS DIMENSÕES NÁUTICAS

Para avaliar as dimensões adequadas de uma via navegável, é necessário primeiramente avaliar a qualidade da navegação considerando a frota, densidade de tráfego, equipamento da embarcação e habilidade do timoneiro – conforme exposto no item 4.6. Após essa etapa, as dimensões são avaliadas conforme a abordagem tripla sugerida pela publicação da PIANC 2019 (4.2). Por fim, ajustes locais podem ser

feitos com base em raios de curva, vento, correntes cruzadas, densidade/qualidade de tráfego, entre outros fatores.

Nos próximos itens o foco será na aplicação dos conceitos em rios, pois é o objeto de estudo, apesar da publicação da PIANC abranger também o estudo para canais.

4.7.1 MÉTODO CONCEITUAL PARA RIOS

Um rio é um sistema complexo com ampla e contínua variação em suas dimensões e correntes, devido às mudanças constantes na massa de água descarregada e às alterações morfológicas. Este capítulo delinea uma análise dos aspectos críticos relacionados à largura e profundidade das vias navegáveis, por meio de exemplos práticos e dados existentes, com o intuito de contribuir para o desenvolvimento de práticas recomendadas mais robustas.

A Figura 13 fornece um esboço típico de uma seção transversal de um rio navegável, em que há a batimetria atualizada e do perfil projetado. A via navegável é definida para a maior embarcação de projeto e é limitada por boias. Entretanto, embarcações menores ou vazios podem navegar fora das boias, uma grande diferença em relação a uma situação de canal, ampliando a via navegável na prática.

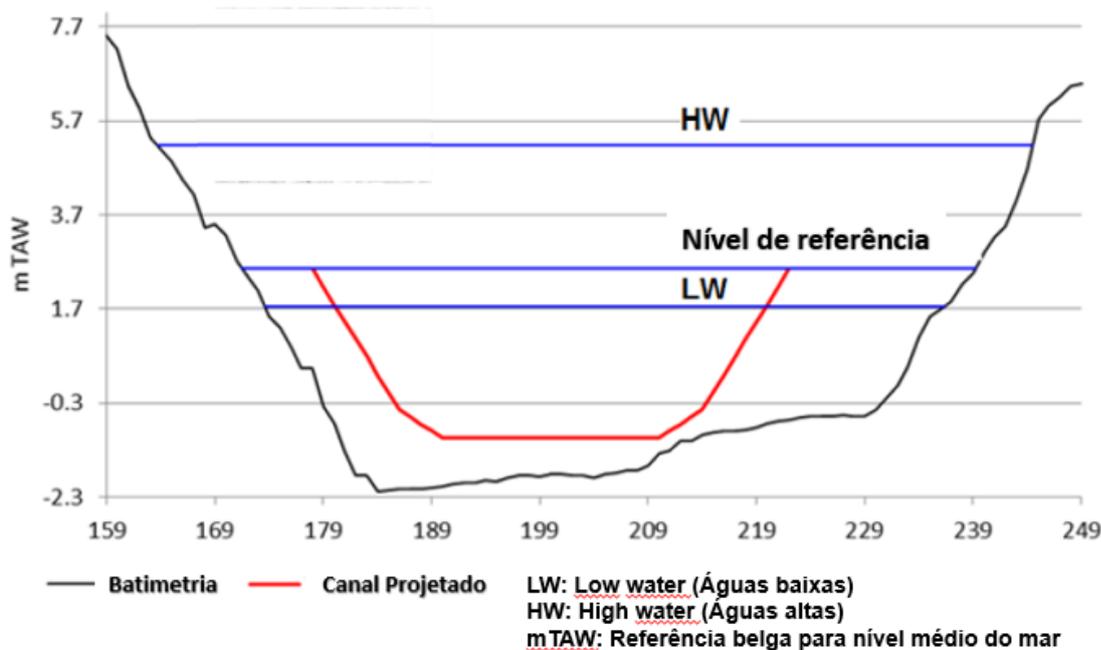


Figura 13 – Seção transversal típica de um canal projetado sobreposta ao perfil batimétrico do rio. Fonte: Adaptado de PIANC 2019.

Apesar de Rússia, China e EUA terem diretrizes específicas para as dimensões dos canais de rios, considerando até o escoamento transversal e para os rios europeus existirem perfis e condições padrão publicados, essas informações, muitas vezes, refletem mais a condição atual do que uma diretriz de projeto.

Dessa forma, as informações não são suficientes para um método de projeto teórico. Assim, o método prático (4.7.1) é recomendado para rios de fluxo livre e canalizados. Este método foi ampliado pelo grupo de estudo da PIANC para incluir larguras extras não contempladas nos dados práticos, resultando no Método Prático Estendido (4.7.3).

4.7.2 ABORDAGEM PRÁTICA PARA RIOS

A determinação da largura apropriada para vias navegáveis em rios é influenciada por uma multiplicidade de fatores. Existe uma distinção palpável entre as condições de canais e rios, com os últimos exigindo larguras maiores devido à presença de fluxos cruzados, turbulência, ventos e curvas. A análise de dados de rios de diferentes regiões, como ilustrado na Figura 14, revela uma variabilidade significativa, corroborada pelas condições locais e naturais distintas de cada rio.

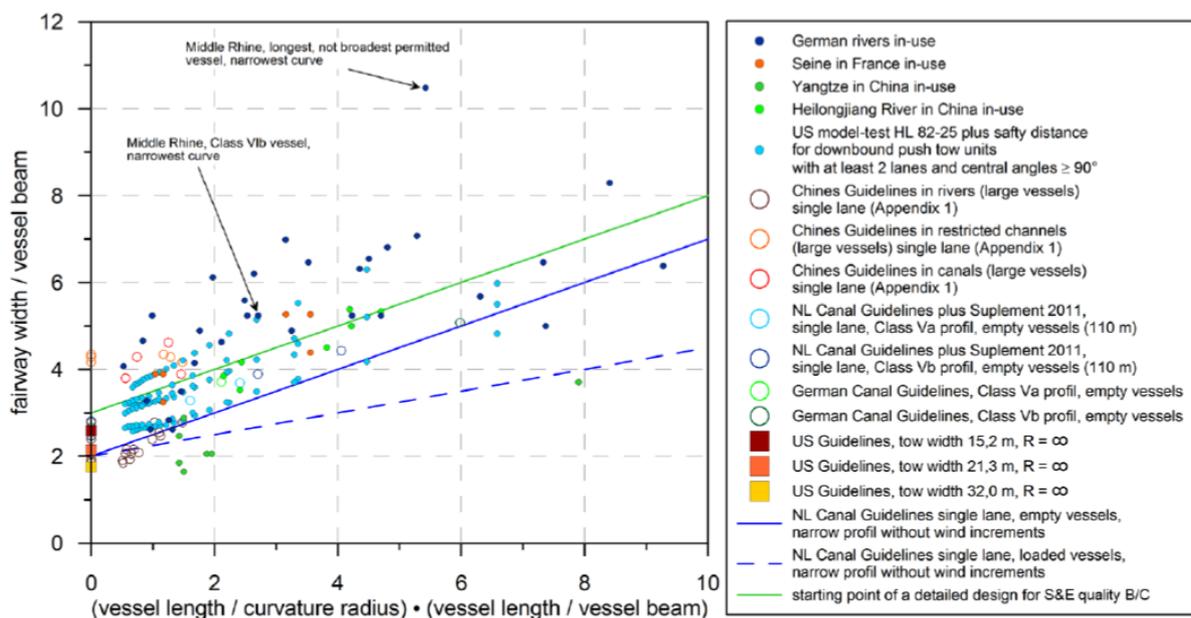


Figura 14 – Larguras existentes de canal de navegação em rios e a partir de diretrizes (largura na profundidade de calado), interpretadas como sendo limitadas por boias, relacionadas à boca da embarcação para tráfego em via única. Fonte PIANC 2019.

A Figura 14 apresenta um gráfico que relaciona a largura das vias navegáveis em rios às dimensões das embarcações, mais especificamente para tráfego de via única. Na ordenada, é exibida a relação W_F/B que representa a proporção entre a largura da via navegável e a boca da embarcação. Na abscissa, o adimensional $\frac{L^2}{B.R}$ é proporcional aos valores de sobrelargura nas curvas.

Os pontos coloridos representam diferentes dados coletados de várias fontes e regiões, como rios na Alemanha, Seine na França, Yangtze na China e outros, bem como diretrizes específicas. As linhas verdes representam diretrizes ou padrões. Os pontos próximos a essas linhas estão de acordo com as recomendações padrão. Pode-se notar que há uma variedade de pontos espalhados, indicando as diferenças nas proporções da largura da via navegável em relação ao tamanho da embarcação, dependendo do rio e das condições locais.

Um ponto importante de ser ressaltado é que as larguras de via navegável existentes, que estão representadas na Figura 14, incluem todas as larguras extras necessárias. Isso não é o caso para canais, onde todas as larguras extras necessárias devem ser adicionadas às larguras básicas, como será exibido no item 4.7.3

Ao observar o menor W_F/B , pode-se refletir o fato de que a largura nauticamente utilizável é frequentemente maior do que a largura de via navegável "oficial" - e o espaço existente fora da via navegável será usado se necessário. Isso pode ser necessário em caso de vento forte e também é possível, porque o calado das embarcações sensíveis ao vento é menor e, portanto, partes do canal com profundidades de água mais rasas podem ser usadas para navegação.

As larguras de via navegável no limite inferior dos pontos de dados mostram que a navegação segura ainda parece possível; mesmo no caso de condições muito estreitas, mas, claramente, com uma facilidade fortemente reduzida. Isso pode ser o resultado de uma licença muito restritiva das embarcações correspondentes, exigindo, por exemplo, propulsores de proa ativos eficientes. Pode ser necessário navegar com alta atenção e usar todos os meios de navegação disponíveis.

Além do fato de que as condições de contorno por trás dos pontos de dados diferem em grande parte, como por exemplo, os níveis de água e as velocidades de escoamento são geralmente muito diferentes em rios represados e de fluxo livre, o que é claramente uma razão para a grande dispersão dos pontos de dados. A dispersão também pode ser explicada por diferentes qualidades de navegação "S&E"

aceitas. Portanto, o limite superior dos pontos de dados pode representar a qualidade de direção mais provável de ser nível A, enquanto o limite inferior representa a direção restrita mais provável de ser nível C.

A profundidade da via navegável é crucial para a segurança e eficiência da navegação. A proporção entre a profundidade do canal e o calado da embarcação é recomendada em 1,3, garantindo assim uma qualidade de navegação otimizada. No entanto, essa proporção pode ser adaptada, considerando-se fatores como o tipo de leito do rio e o equipamento da embarcação. Parâmetros específicos são necessários para garantir a funcionalidade total dos propulsores de proa ou lemes em diferentes tipos de leitos fluviais.

A adaptabilidade e a flexibilidade continuam sendo componentes cruciais no projeto de vias navegáveis em rios. A variação nas condições dos rios, juntamente com a falta de diretrizes consistentes, ressalta a necessidade de uma análise profunda e contínua, e a adaptação de estratégias baseadas em dados empíricos e teóricos.

Compilando as considerações e critérios sucintamente descritos, o grupo de estudo propôs três classes de qualidade de navegação, relacionando-as com as dimensões do canal e da embarcação tipo, conforme Tabela 19.

Tabela 19 – Recomendações para projeto hidroviário. Fonte: PIANC, 2019.

Via navegável	Faixa navegável para canal de mão única			Observações
	Qualidade de navegação			
	C	B	A	
Min W_F (seções em tangente) – (m)	3 B		3,4 B	Por questões de segurança
	2,8 B	3,2 B		
Min h (sobre toda largura da via) – (m)	1,2 T	1,3 T	$\geq 1,3 T$	Por conta do <i>squat</i> e da eficiência dos propulsores
Min R – (m)	2 L	3 L	4 L	Dependendo das condições naturais

4.7.3 MÉTODO PRÁTICO ESTENDIDO

O método prático estendido foca em fornecer larguras de canais de navegação mais precisas, incorporando a largura básica do Método Prático (4.7.1) com acréscimos de largura teóricos.

O projeto que se utiliza desse método começa com a escolha da qualidade S&E. As larguras básicas correspondentes podem ser obtidas da Tabela 19. De

acordo com a situação de tráfego, as seguintes larguras extras devem ser somadas aritmeticamente para todas as embarcações.

4.7.3.1 LARGURA EXTRA EM CURVAS

Uma consideração crítica no projeto de rios é a necessidade de largura extra em seções curvas do canal. A fórmula para calcular essa largura extra é a mesma que a apresentada para canais:

$$\Delta F_c = C_c \cdot \frac{L^2}{R} \leq L$$

No entanto, o fator C_c pode ser muito maior. O valor de C_c depende da direção de navegação, da condição de carga e do tipo de via navegável. Em casos excepcionais, como para embarcações muito bem equipadas, pilotos muito habilidosos e se restrições significativas à facilidade de navegação forem aceitáveis, o parâmetro C_c pode ser assumido como cerca de 0,25 para uma embarcação carregada e 0,5 para uma embarcação vazia, conforme dados de campo demonstram. Portanto, o fator C_c depende fortemente da categoria S&E necessária e deve ser escolhido com cuidado.

4.7.3.2 LARGURA EXTRA COM ESCOAMENTO LONGITUDINAL SIGNIFICATIVO

Se for escolhida uma categoria de facilidade baixa, pode-se assumir que atravessar o canal não está incluído nas larguras básicas. No entanto, se houver altas velocidades de escoamento longitudinal e a travessia for permitida, uma largura extra ΔF_T deve ser adicionada à largura básica.

$$\Delta F_T = L \cdot \left(c_T \cdot \frac{F}{L_B} \right) \cdot \frac{V_{fluxo}}{V}$$

Em que:

- $\frac{V_{fluxo}}{V} \approx 0,4$ a montante e a jusante em rios represados;
- $\frac{V_{fluxo}}{V} \approx 0,4$ a montante e $\frac{V_{fluxo}}{V} \approx 0,5$ a jusante em rios de fluxo livre.

4.7.3.3 LARGURA EXTRA DEVIDO À TURBULÊNCIA

Geralmente, essa largura extra é pequena em comparação com outras considerações e pode ser negligenciada, especialmente em águas rasas normais. No entanto, para profundidades muito grandes, como em curvas profundas, pode ser

relevante. A largura extra devido ao deslocamento lateral em turbulências em grande escala sem nenhuma reação do timoneiro é calculada da seguinte forma:

$$\Delta F_{Turb} \approx 0,8 \cdot h \cdot \frac{V_{fluxo}}{V} \approx 0,4 \cdot h; \text{ para um } \frac{V_{fluxo}}{V} \text{ típico}$$

4.7.3.4 LARGURA EXTRA AO PASSAR PRÓXIMO A ESPIGÕES

As fórmulas para o cálculo da largura extra devido à presença de espigões são aplicáveis a canais amplos, onde a profundidade da água é menor que a altura do espigão, e o curso da embarcação é próximo às cabeças dos espigões.

A largura extra é composta de vários componentes:

- Distância de Segurança até a Margem Inclinada (S_b):

É a distância de segurança recomendada entre a embarcação e a margem inclinada do rio. Esta distância é considerada na largura básica da via, e os valores específicos dependem da velocidade da embarcação.

- Largura Extra Devido ao Escoamento Cruzado ($\Delta F_{G\text{Escoamento}}$):

Este componente da largura extra é causado pelo escoamento de água que é desviado devido à presença dos espigões. Ele é determinado com base no espaçamento entre os espigões e a relação da velocidade do escoamento cruzado com a velocidade da embarcação. Os valores estimados podem variar dependendo da posição relativa da embarcação em relação aos espigões (a montante ou a jusante).

- Largura Extra Devido ao Desaguamento do Campo do Espigão ($\Delta F_{G\text{Deságue}}$):

Este componente leva em consideração o efeito do campo de redução de água ao redor dos espigões, afetando a navegação. É calculado considerando a relação entre a profundidade da água e a altura das ondas, a velocidade da embarcação, e outros fatores específicos.

A teoria propõe que a largura extra total necessária ($\Delta F_{G\text{Tot}}$) pode ser calculada considerando apenas o componente do escoamento cruzado, uma vez que a distância de segurança até a margem inclinada já está incluída na largura básica. A recomendação é manter a via navegável afastada das cabeças dos espigões pela distância calculada para o desaguamento.

4.7.3.5 LARGURA EXTRA DEVIDO AO ESCOAMENTO TRANSVERSAL

A largura extra devida ao escoamento cruzado em vias navegáveis pode ser devida a campos de escoamento cruzado grandes ou locais. A largura extra necessária é determinada pelo ângulo de deriva para contrabalançar a velocidade do escoamento transversal ou pela aceitação de deriva lateral, especialmente em campos de escoamento transversais curtos.

Para campos de escoamento cruzado grandes ($w_c \geq L$):

$$\Delta F_{cf} \approx L \cdot \frac{V_{cms}}{V}$$

Em que:

- V_{cms} = velocidade média do escoamento cruzado;
- v = velocidade da embarcação em relação à água.

Para campos de escoamento cruzado de tamanho médio ($w_c < L$, amplos o suficiente para compensar o ângulo de deriva e com baixas turbulências):

Calcule ΔF_{cf} conforme mostrado acima e multiplique por $\frac{w_c}{L}$.

Para campos de escoamento cruzado de tamanho médio ($w_c < L$, com a aceitação de um deslocamento lateral que é igual a ΔF_{cf} , baixas turbulências):

$$\Delta F_{cf} \approx w_c \cdot \frac{V_{cms}}{V_{oG}}$$

Em que:

- V_{oG} = velocidade da embarcação sobre o solo

4.7.3.6 LARGURA EXTRA DEVIDO AO VENTO LATERAL

Os incrementos de vento geralmente estão incluídos nos dados práticos e, portanto, na Tabela 19. Larguras extras só devem ser consideradas se as condições limites dos dados práticos forem excedidas, o que pode ocorrer se a via navegável estiver localizada em uma área costeira ou se muitas embarcações de contêineres forem consideradas.

Para embarcações vazias e lastreadas:

$$\Delta F_W = c_W \cdot L$$

Em que:

$c_W = 0,05$ para águas interiores e $c_W = 0,1$ para trechos costeiros.

Para embarcações que transportam contêineres existe uma recomendação tabelada na publicação original.

Conclui-se, então, que a abordagem mista oferece um método mais refinado para o projeto de canais fluviais, assegurando que todas as variáveis dinâmicas e estáticas sejam consideradas para proporcionar uma navegação segura e eficiente.

4.7.4 ABORDAGEM DETALHADA PARA RIOS

O Projeto Detalhado é muitas vezes necessário na engenharia de rios, uma vez que o Projeto Conceitual e a experiência prática oferecem diretrizes limitadas. Os rios, com sua complexidade e variáveis, exigem uma abordagem mais aprofundada.

Devido à ampla gama de parâmetros, o projeto detalhado para rios, muitas vezes utilizando simuladores de manobras de embarcações, se concentra nos casos mais críticos. Quando não existem diretrizes robustas de projeto conceitual para rios, e a experiência prática não é suficiente para solucionar um problema específico, um estudo de simulação detalhado se faz necessário.

Na maior parte dos estudos é usada uma representação numérica bidimensional para o campo de escoamento tridimensional nos rios. Isso é feito selecionando a grade de escoamento média em 2D ou uma grade disponível para um calado específico. Em outros casos, um campo de escoamento 2D numérico com escoamento secundário é utilizado para incluir o efeito da profundidade na magnitude e direção do campo de escoamento.

Como o presente estudo pretende fazer uma análise conceitual o método para o dimensionamento dos passos críticos selecionados é dado pela Tabela 19. Na seção 4.7.2 são discutidos a eficiência e o alcance do método utilizado.

5 OBRAS DE MELHORIA

O capítulo 5 apresenta aspectos teóricos e práticos sobre as obras de melhorias – dragagem e derrocagem – que são, na grande maioria das vezes, a solução proposta para o atendimento dos parâmetros mínimos para navegação, buscando entender as especificações, tecnologias e restrições dos serviços.

O Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental, realizado pela UFPR em conjunto com o DNIT sintetiza algumas das obras de melhoria necessárias para o melhor funcionamento dos trechos de navegação, entre elas a principal é a dragagem dos trechos de baixa profundidade.

Na maioria dos casos, pode-se admitir que o material a ser dragado foi depositado devido ação das correntes e será repostado por outro de mesma origem. Quanto à descarga sólida é necessário distinguir o transporte de sedimentos que ocorre junto ao leito do rio e o transporte de sedimentos que ocorre em suspensão. O primeiro é objeto de maior atenção quando relacionado a dragagem, pois, apesar de ser em menor volume, cria problemas de dragagem pela deposição sistemática de areias. (FRANCISCO, 2014)

Nos próximos subcapítulos serão abordados os principais métodos desses dois serviços, destacando suas aplicações, vantagens e desafios

5.1 DRAGAGEM

A dragagem é o processo de remoção de sedimentos, areia, lama e outros materiais do fundo dos corpos d'água para manter profundidades adequadas para a navegação e garantir a segurança da navegação. Além disso, é realizada utilizando uma variedade de técnicas e tecnologias, incluindo dragas mecânicas, dragas de sucção e dragas hidráulicas. A escolha da técnica de dragagem dependerá de vários fatores, incluindo localização, profundidade e natureza do material a ser removido.

Independentemente do método de dragagem utilizado, é crucial levar em consideração as regulamentações ambientais e legais ao realizar a dragagem de rios. Isso inclui a gestão adequada dos sedimentos retirados e a minimização de impactos ambientais, como a erosão das margens e a perturbação da fauna aquática.

5.1.1 DRAGAGEM POR ESCAVAÇÃO

A dragagem por escavação é um dos métodos mais tradicionais e amplamente utilizados para a remoção de sedimentos e materiais indesejados dos leitos de rios.

Esse método envolve o uso de escavadoras, dragas de arrasto, ou outros equipamentos mecânicos para retirar os sedimentos do leito do rio. Os principais pontos a considerar ao empregar a dragagem por escavação incluem:

- **Tipo de Sedimento:** A eficácia da dragagem por escavação depende do tipo de sedimento a ser removido. Sedimentos mais coesos podem exigir equipamentos mais poderosos.
- **Impacto Ambiental:** A dragagem por escavação pode perturbar o habitat aquático e afetar a fauna e flora locais. É importante adotar medidas para mitigar esses impactos.
- **Manutenção Regular:** Em muitos casos, a dragagem por escavação requer manutenção regular para manter a navegabilidade do rio.

5.1.2 DRAGAGEM HIDRÁULICA

A dragagem hidráulica, é um método que utiliza água sob alta pressão para desalojar e transportar sedimentos. É eficaz na remoção de sedimentos finos e areia. As principais características do hidrojateamento incluem:

- **Versatilidade:** O hidrojateamento pode ser utilizado em uma ampla gama de tipos de sedimentos, desde areia até lodo.
- **Menos Impacto Ambiental:** Comparado à escavação, o hidrojateamento tende a ter menos impacto ambiental, pois não envolve o uso de máquinas pesadas.
- **Eficiência na Manutenção:** É frequentemente usado na manutenção regular de canais de navegação.

5.1.3 DRAGAGEM DE SUÇÃO POR GRAVIDADE

A dragagem de sucção por gravidade é um método que utiliza uma draga flutuante equipada com bombas de sucção para retirar sedimentos do fundo do rio. As principais vantagens desse método incluem:

- **Eficiência:** Pode remover grandes quantidades de sedimentos em um curto espaço de tempo.
- **Desafios Logísticos:** Requer uma infraestrutura considerável, incluindo acomodações para a tripulação, sistemas de bombeamento e disposição adequada dos sedimentos.

5.1.4 DRAGAGEM MECÂNICA DE SUCÇÃO

Esse método combina a dragagem mecânica tradicional com a sucção de sedimentos. Uma draga mecânica equipada com bombas de sucção remove os sedimentos soltos ou desagregados, proporcionando um método eficaz e versátil de dragagem.

- **Eficiência:** Pode ser utilizado em uma variedade de tipos de sedimentos, desde areia até lodo.
- **Adaptação a condições variáveis:** Pode lidar com áreas de fundo de rio que variam em textura e densidade de sedimentos.

5.2 DERROCAGEM

A derrocagem é uma atividade que envolve a remoção de rochas e pedras do chão para aprofundar canais de navegação ou para outros fins. Esta atividade é importante para garantir a segurança e eficiência da navegação. Neste subcapítulo, são explorados os métodos de derrocagem, seus desafios, bem como as considerações ambientais associadas a essa prática.

Os principais riscos e considerações técnicas específicas dessa atividade incluem:

- **Segurança:** Tanto a segurança dos operadores como a das embarcações nas proximidades deve ser uma prioridade absoluta. Os explosivos, em particular, requerem um planejamento rigoroso e monitoramento constante.
- **Monitoramento Ambiental:** A derrocagem pode causar perturbações ambientais, como a liberação de sedimentos ou a perturbação de habitats aquáticos. Portanto, é essencial monitorar e mitigar esses impactos.
- **Regulamentações Legais:** A derrocagem está sujeita a regulamentações rigorosas, e as autorizações adequadas devem ser obtidas antes de iniciar qualquer projeto de derrocagem.

A derrocagem deve ser realizada com sensibilidade ambiental e em conformidade com regulamentações ambientais. Os impactos negativos na vida aquática e na qualidade da água devem ser minimizados. Além disso, a gestão

adequada dos resíduos resultantes da derrocagem é essencial para a sustentabilidade do projeto.

5.2.1 EXPLOSIVOS SUBAQUÁTICOS

Os explosivos subaquáticos são frequentemente usados para fragmentar rochas ou obstáculos submersos. A explosão cria fissuras nas rochas que podem ser mais facilmente removidas por equipamentos de dragagem. No entanto, essa técnica requer cuidadosa regulamentação de segurança, pois os explosivos podem causar danos ao meio ambiente e exigem especialistas treinados em manuseio.

5.2.2 QUEBRAS DE ROCHAS MECÂNICA

Máquinas especializadas, como martelos hidráulicos ou britadeiras, podem ser usadas para quebrar as rochas submersas. Esse método é preciso e controlável, minimizando os riscos ambientais associados a explosivos.

5.2.3 ESCAVAÇÃO SUBAQUÁTICA

A escavação subaquática envolve o uso de dragas e escavadoras submersas para escavar e remover rochas ou outros obstáculos. Esse método é eficaz em situações em que a rocha é relativamente solta e pode ser removida em pequenos fragmentos.

6 MODELAGEM

O cálculo do volume dragado foi realizado com o auxílio do software Autodesk Civil 3D. No programa são criados dois modelos tridimensionais distintos. O primeiro representa o canal em sua condição referente às datas das cartas náuticas, considerando suas elevações e forma atuais. O segundo modelo representa o projeto desejado para o canal, mostrando como ele deve parecer após a dragagem.

Ao comparar esses dois modelos, o software identifica as diferenças entre eles, especificamente onde o canal atual difere do projeto desejado. A diferença entre os modelos fornece uma representação visual das áreas que precisam ser dragadas. Essa representação é, essencialmente, uma terceira superfície tridimensional que indica a quantidade exata de material a ser removido do canal existente. Nesse contexto, a principal utilidade desse processo é determinar o volume exato de material que precisa ser dragado para transformar o canal atual no modelo proposto.

6.1 MÉTODO

O Civil 3D é um software de modelagem de informações de construção (BIM) majoritariamente utilizado para projetos de infraestrutura civil, como estradas, terraplenagem, pontes, canais, redes de drenagem e utilidades.

A primeira etapa da modelagem consiste em construir os modelos digitais de terreno a partir das cartas náuticas da Marinha ⁵ por meio da ferramenta *superfície*. São dispostos pontos com informações de coordenadas – norte e este – e sua elevação em cada ponto da batimetria informada na carta náutica, como exibe a Figura 15.

⁵ As informações sobre a metodologia de construção das cartas náuticas estão pormenorizadas no item 6.2.

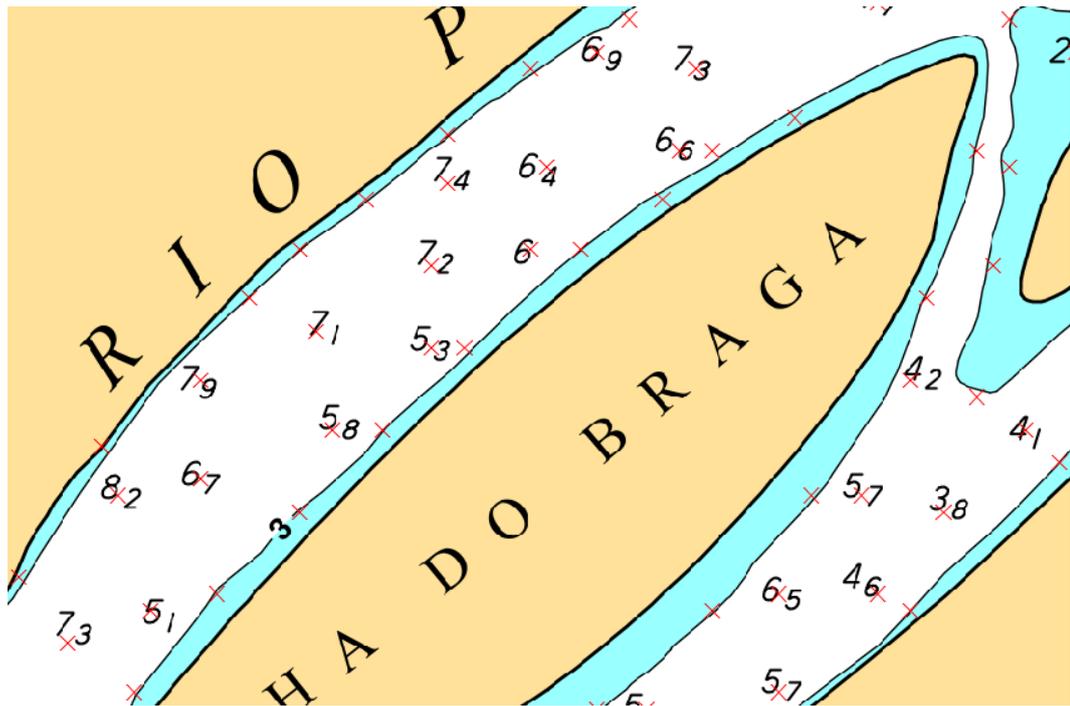


Figura 15 - Pontos do batimétricos sobre a carta náutica. Ilha do Braga.
Fonte: Autor, 2023.

Esses pontos, são objetos inteligentes do software e compõem a superfície final do modelo digital do terreno a partir de triangulações feitas entre esses pontos, conforme a Figura 16.

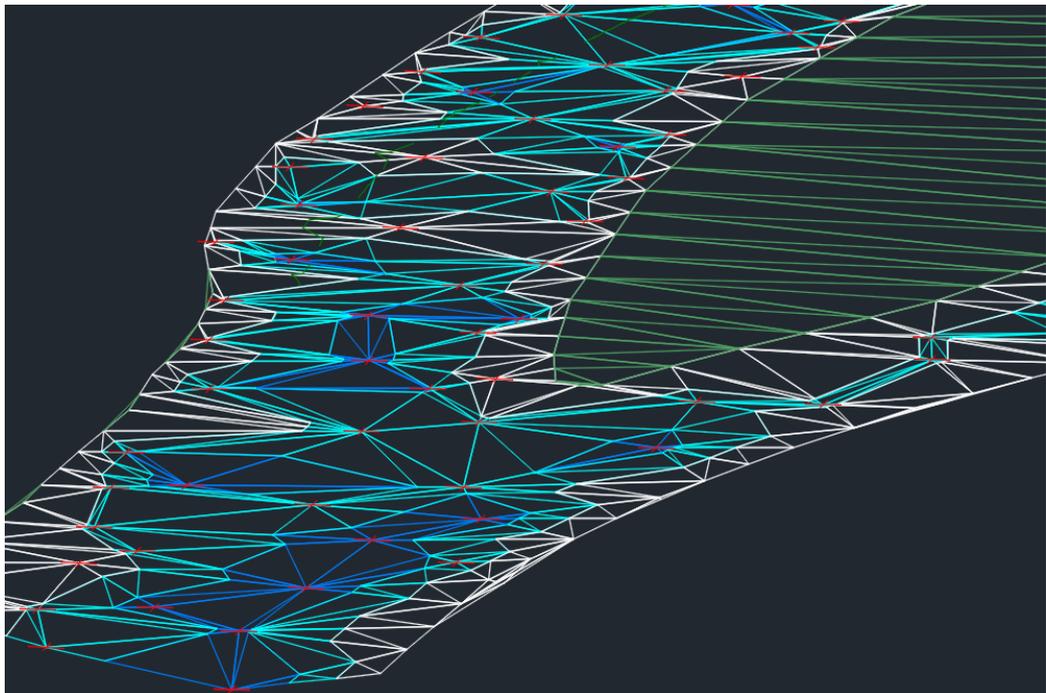


Figura 16 – Modelo digital do terreno. Ilha do Braga
Fonte: Autor, 2023.

Depois de criar a superfície representativa de um determinado trecho aquático no software, o próximo passo envolve o desenho do eixo central da faixa navegável. Este eixo é crucial, pois serve como uma linha-guia para a navegação segura ao longo do canal ou rio. Em sua concepção, procura-se posicionar esse eixo pelos pontos mais profundos do curso d'água, garantindo assim uma navegação mais segura e minimizando a necessidade de dragagem.

Dada a complexidade das vias navegáveis, também é importante considerar os raios de curvatura ao longo do eixo. Estes raios são determinados com base em critérios específicos, e podem seguir diretrizes estabelecidas por órgãos ou entidades reconhecidas, como a PIANC (2019) ou o DNIT. Uma vez definido o eixo central, linha em vermelho na Figura 17, torna-se mais claro delinear os bordos ou limites da faixa navegável, linhas em vinho ao lado do eixo em vermelho na mesma figura. Isso é feito considerando uma largura pré-determinada, que é estabelecida com base em normas escolhidas para o tipo de embarcação que frequentará aquela via. Assim, esse processo garante que o canal ou rio seja adequado e seguro para a navegação, atendendo a padrões específicos e maximizando a eficiência da rota.

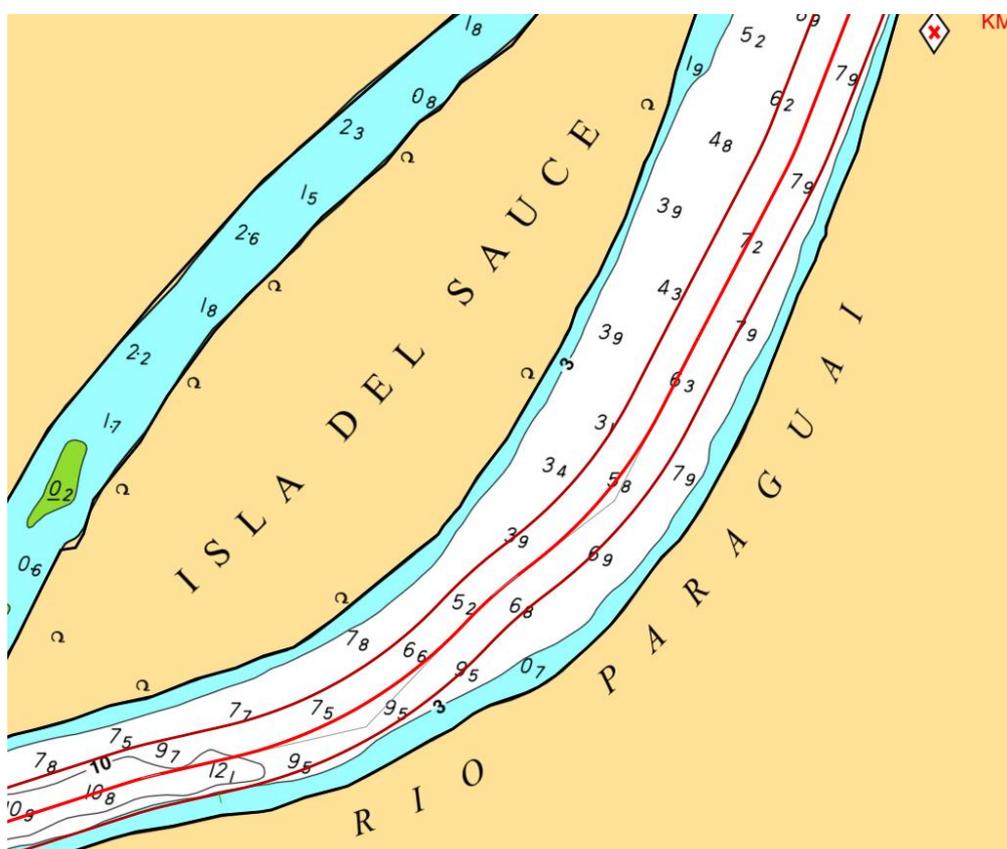


Figura 17 – Eixo e bordos do canal navegável, Isla del Sauce.
Fonte: Autor, 2023.

Ao estabelecer os limites ou bordos da faixa navegável, é crucial determinar como essa faixa se integrará ao leito existente do rio. Para fazer isso, taludes de corte, que são inclinações ou declives, são traçados desde os bordos da faixa até que se encontrem com o leito natural do rio. A ferramenta "*grading*", que pode ser traduzida como "nivelamento de terreno", é utilizada nesse processo.

Com essa integração completa, o software permite uma comparação volumétrica entre duas superfícies distintas: a superfície original do trecho do rio e a superfície do canal conforme projetado. Esta comparação é essencial porque revela a quantidade de material que precisa ser dragado para transformar a via navegável existente na via projetada.

A etapa final envolve o cálculo desse volume de dragagem. Para isso, utiliza-se o método da "Área Média". Este método avalia o volume de material entre duas seções transversais consecutivas do rio. O cálculo é baseado em duas áreas principais - A1 e A2 - que representam as áreas das seções transversais nas extremidades.

Além disso, a distância L entre essas seções é levada em consideração. O volume é, então, derivado dessas áreas e distância, fornecendo uma estimativa da quantidade de material que precisa ser dragado para atender aos padrões e requisitos estabelecidos para o projeto do canal.

O método é expresso pela seguinte equação:

$$Vol = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L_t$$

É importante destacar que esses cálculos são predominantemente geométricos, não levando em consideração as complexas variações sofridas pelo transporte de sedimentos no leito do rio. O software Autodesk Civil 3D se baseia em modelagem topográfica, usando informações de levantamentos de terreno e perfis transversais para determinar as áreas que requerem escavação, bem como calcular os volumes de material a ser movido. Ele não leva em conta os processos de erosão, sedimentação, transporte e deposição de sedimentos, que são influenciados por variáveis como a velocidade da corrente, as características do solo e as variações sazonais.

O transporte de sedimentos no leito do rio é um fenômeno complexo e dinâmico. Os sedimentos podem ser erodidos de uma região e depositados em outra,

influenciando a morfologia do rio. Portanto, para projetos de dragagem mais precisos é essencial complementar os cálculos geométricos do Civil 3D com simulações hidrodinâmicas e estudos hidrossedimentológicos detalhados, que levam em consideração a dinâmica do transporte de sedimentos e os impactos ambientais associados. Essa abordagem mais abrangente garantirá que a dragagem seja realizada de forma eficiente e que sejam minimizados os impactos negativos sobre o meio ambiente aquático.

6.2 CARTAS NÁUTICAS

Segundo a definição da Marinha Brasileira:

As Cartas Náuticas são documentos cartográficos que resultam de levantamentos de áreas oceânicas, mares, baías, rios, canais, lagos, lagoas, ou qualquer outra massa d'água navegável e que se destinam a servir de base à navegação; são geralmente construídas na Projeção de Mercator e representam os acidentes terrestres e submarinos, fornecendo informações sobre profundidades, perigos à navegação (bancos, pedras submersas, cascos soçobrados ou qualquer outro obstáculo à navegação), natureza do fundo, fundeadouros e áreas de fundeio, auxílios à navegação (faróis, faroletes, boias, balizas, luzes de alinhamento, radiofaróis, etc.), altitudes e pontos notáveis aos navegantes, linha de costa e de contorno das ilhas, elementos de marés, correntes e magnetismo e outras indicações necessárias à segurança da navegação. (MARINHA DO BRASIL, 2023).

As Cartas Náuticas são amplamente utilizadas na navegação marítima e interior como auxílio aos navegantes. O tramo sul da Hidrovia do Rio Paraguai contempla as cartas náuticas de numeração entre 3334 e 3365.

As cartas são elaboradas seguindo um processo rigoroso que envolve levantamentos hidrográficos, processamento de dados, desenho e uma etapa de revisão constante para garantir a confiabilidade das informações fornecidas aos navegantes.

Durante a etapa de levantamento hidrográfico, são coletados dados sobre a profundidade da água, as características do leito marinho, a topografia costeira e outros elementos relevantes para a navegação, com o auxílio de sondas, sistemas de posicionamento GPS de alta precisão e outros equipamentos especializados.

Após o levantamento hidrográfico é realizado o processamento de dados, que inclui a análise dos dados obtidos, correção de erros e criação de modelos digitais do terreno. Por meio dos modelos digitais são realizadas as atividades de cartografia, incluindo as informações sobre batimetria, características do litoral, faróis, marés, correntes, rochas submersas e outros perigos à navegação.

A última etapa é a de revisão, em que as cartas são atualizadas para refletir mudanças nas condições hidrográficas. Essas revisões podem incluir possíveis alterações devido a dragagens, construção de novos portos ou alterações na morfologia fluvial devido a fenômenos naturais.

Um dos principais dados contidos nas cartas náuticas, as informações batimétricas – quando inseridas na carta – passam por uma correção estatística a partir do nível de redução da régua hidrográfica mais próxima.

O nível de redução é o plano de referência utilizado para referenciar as profundidades representadas nas cartas náuticas. Isto significa que as profundidades têm origem no nível de redução e não na superfície da água. O nível de redução – também comumente chamado de nível de referência – é calculado estatisticamente a partir da série de dados de níveis de água de estações fluviométricas.

O nível de redução é utilizado para representar as profundidades nas cartas náuticas. Em outras palavras, as profundidades são medidas em relação ao nível de redução, não à superfície da água. Dessa forma garante-se um percentil mínimo de tempo, adotado nas cartas utilizadas como 90%, em que as profundidades são iguais ou maiores do que as encontradas na carta náutica, favorecendo a segurança e navegação.

7 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa. Dividindo os resultados em três subcapítulos significativos, inicia-se com a "Classificação dos Passos," destacando a comparação das classificações quando realizadas sob critério DNIT e PIANC (2019). Em seguida, no subcapítulo "Folhas de Dados," fornece uma análise detalhada das informações contidas em cada folha de dados, explorando as variáveis relevantes para a avaliação da hidrovia. Por fim, no subcapítulo "Quantitativos," apresenta-se os principais volumes geométricos de dragagem para cada passo crítico selecionado.

A Tabela 20 apresenta as recomendações geométricas para a Hidrovia do Rio Paraguai.

Tabela 20 - Diretrizes geométricas para a Hidrovia do Rio Paraguai, conforme critérios PIANC 2019. Fonte: Autor, 2023.

Via navegável	Qualidade de navegação		
	C	B	A
Min W_F (seções em tangente) – (m)	144		163,2
	134,4	153,6	
Min h (sobre toda largura da via) – (m)	3,12	3,38	3,64
Min R – (m)	580	870	1160

7.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PASSOS

A Tabela 21 exhibe a classificação dos 44 passos críticos estudados do Tramo Sul, com relação a largura, raio e profundidade, para ambos os critérios adotados nesse estudo. Na sequência das análises foram construídos gráficos agrupando as classificações para cada variável geométrica do canal navegável.

Tabela 21 - Classificação dos 44 passos críticos estudados do Tramo Sul da Hidrovia do Rio Paraguai. Fonte: Autor, 2023

Passo	DNIT			PIANC		
	Largura	Raio	Profundidade	Largura	Raio	Profundidade
Proximidades da Ilha da República	Ok	Seção em tangente	Ok	Não atende aos requisitos	Seção em tangente	A
Porto Sastre	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	Não atende aos requisitos	B	A
Proximidades da Cancha Estrela	Ok	Seção em tangente	Não atende aos requisitos	A	Seção em tangente	Não atende aos requisitos
Boca inferior riacho Celina	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	Não atende aos requisitos	A
Proximidades de Porto Murtinho	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	Não atende aos requisitos	C	A
Passo Tarumã	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	A	A
Ilha Fecho dos Morros	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	Não atende aos requisitos	A	A
Passo Camba Nupa	Ok	Seção em tangente	Não atende aos requisitos	A	Seção em tangente	Não atende aos requisitos
Barranco Branco	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	B	A
Passo Olimpo	Ok	Não atende aos requisitos	Não atende aos requisitos	A	A	Não atende aos requisitos
Furado do Nabileque	Ok	Não atende aos requisitos	Não atende aos requisitos	C	Não atende aos requisitos	Não atende aos requisitos
Passo Curuçu	Ok	Seção em tangente	Não atende aos requisitos	A	Seção em tangente	Não atende aos requisitos
Ilha do Braga	Ok	Seção em tangente	Ok	A	Seção em tangente	A
Da Ilha Rabo de Ema a Ilha Spinello	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	A	A
Porto Mirhanovich	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	Não atende aos requisitos	Não atende aos requisitos	A
Passo Alegrete Inferior	Ok	Ok	Não atende aos requisitos	A	A	Não atende aos requisitos
Proximidades da Fazenda Nu Guazu	Ok	Não atende aos requisitos	Não atende aos requisitos	A	A	Não atende aos requisitos
Passo Periquitos	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	A	A
Porto Esperanza	Ok	Seção em tangente	Não atende aos requisitos	A	Seção em tangente	Não atende aos requisitos
Passo Cururu	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	A	A
Baía Negra	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	A	A
Rio Negro	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	A	A
Isla del Sauce	Ok	Não atende aos requisitos	Não atende aos requisitos	A	A	Não atende aos requisitos

Passo	DNIT			PIANC		
	Largura	Raio	Profundidade	Largura	Raio	Profundidade
Ilha Santa Rosa	Ok	Não atende aos requisitos	Não atende aos requisitos	A	A	Não atende aos requisitos
Proximidades da Ilha Santa Fé	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	B	C	A
M'Biguá	Ok	Não atende aos requisitos	Não atende aos requisitos	A	A	Não atende aos requisitos
Passo Rebojo Grande	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	Não atende aos requisitos	A
Passo Paratudal	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	A	A
Proximidades Fazenda Primavera	Ok	Não atende aos requisitos	Não atende aos requisitos	A	C	Não atende aos requisitos
Passo Piuvas Inferior	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	C	B
Volta da Ferradura	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	C	A
Proximidades do Morro do Conselho	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	B	A
Proximidades da Ilha do Bugio	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	B	A
Proximidades da Ponte do Rio Branco	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	A	A
Passo do Jacaré	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	A	A
Proximidades da Ponte Nossa Senhora do Pantanal	Ok	Seção em tangente	Ok	Não atende aos requisitos	Seção em tangente	A
Passo Caraguatá	Ok	Seção em tangente	Não atende aos requisitos	B	Seção em tangente	Não atende aos requisitos
Proximidades da Ilha Cambará Ferrado	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	B	A	C
Passo Abobral	Ok	Seção em tangente	Não atende aos requisitos	A	Seção em tangente	Não atende aos requisitos
Proximidades do Porto da Manga	Ok	Seção em tangente	Não atende aos requisitos	A	Seção em tangente	Não atende aos requisitos
Proximidades do rio Taquari	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	A	A
Passo Macunã	Ok	Seção em tangente	Ok	Não atende aos requisitos	Seção em tangente	A
Proximidades da Ilha Tira Catinga	Ok	Seção em tangente	Não atende aos requisitos	A	Seção em tangente	Não atende aos requisitos
Volta Miguel Henrique	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	A	A	A
Passo de Santana ou Jatobá	Ok	Não atende aos requisitos	Ok	C	A	A

As Figuras 19 a 23 apresentam gráficos compilando os dados descritos na Tabela 21.

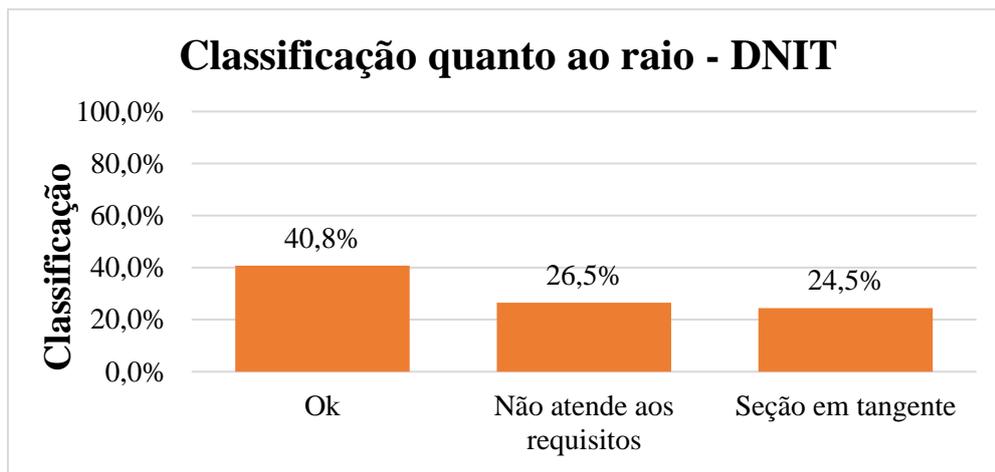


Figura 18 - Verificação dos passos quanto ao raio - Critério DNIT.
Fonte: Autor, 2023.

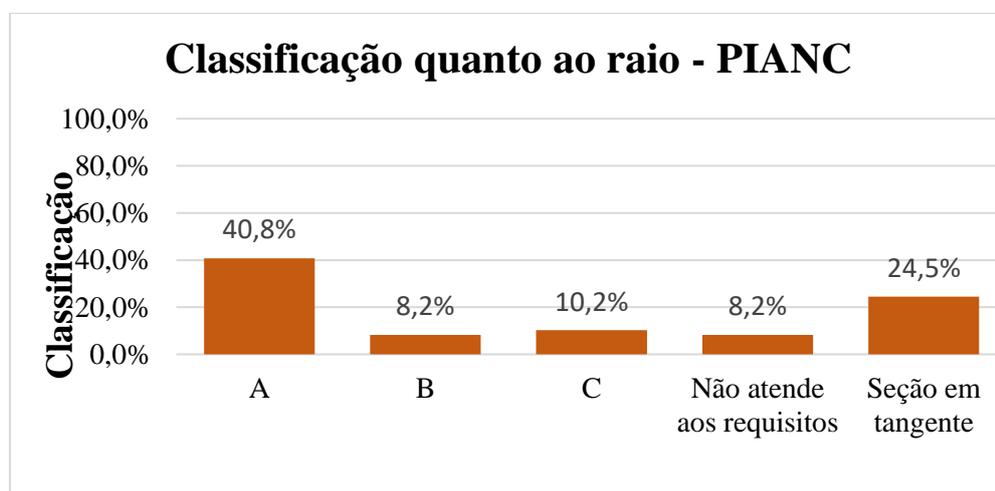


Figura 19 - Verificação dos passos quanto ao raio - Critério PIANC 2019.
Fonte: Autor, 2023.

Verifica-se, conforme Figura 18 e Figura 19 que atualmente 24,5% dos passos críticos não atendem aos requisitos mínimos para o raio de curvatura propostos pelo DNIT, ou seja, $R \geq 1160 \text{ m}$. Tal fato implica no constante ataque às margens do rio nas seções de curvas e ressalta a necessidade de uma abordagem firme quanto aos critérios de dimensionamento das hidrovias, de acordo com cada comboio tipo permitido.

Quando analisado sob os critérios do InCom 141 da PIANC (2019), menos passos não atendem aos requisitos mínimos de raio de curvatura, apenas 8,2%.

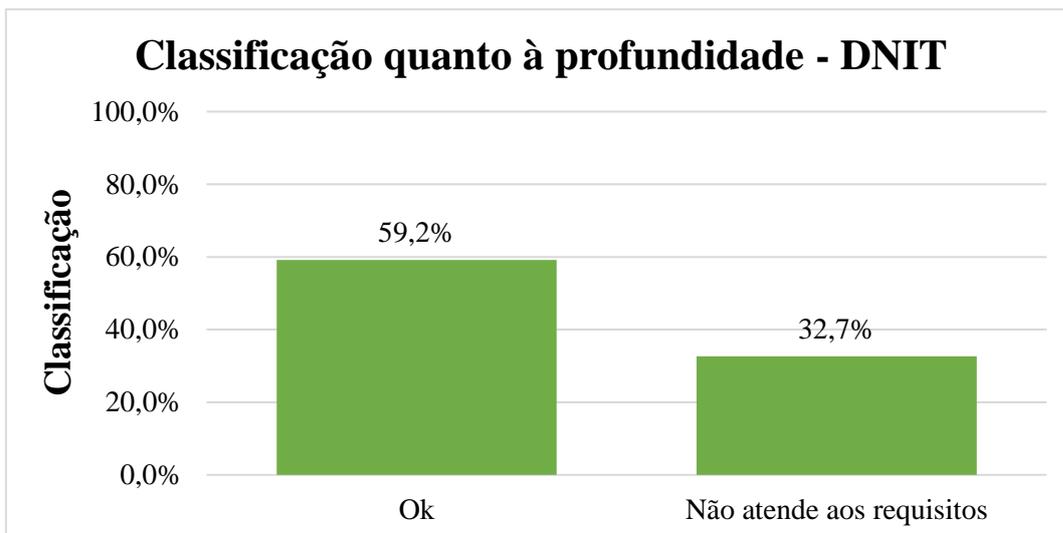


Figura 20 - Verificação dos passos quanto à profundidade - Critério DNIT.
Fonte: Autor, 2023.

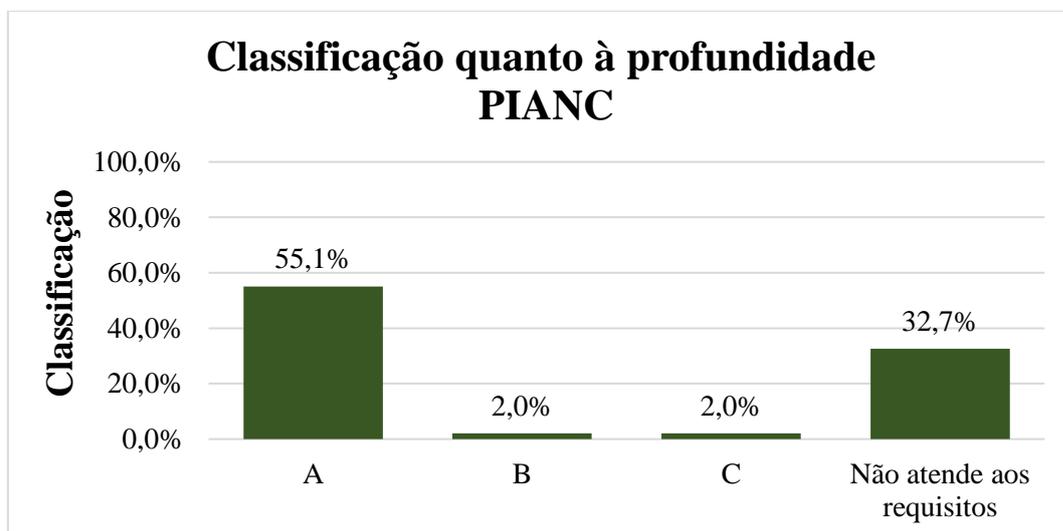


Figura 21 - Verificação dos passos quanto à profundidade - Critério PIANC 2019. Fonte: Autor, 2023.

De acordo com as cartas náuticas, 32,7% dos passos apresentam profundidade média insuficiente para navegação do comboio tipo do Tramo Sul, tanto pelo critério DNIT, quanto pelo critério PIANC 2019, conforme exibido na Figura 21, resultando na perda de eficiência operacional neste tramo.

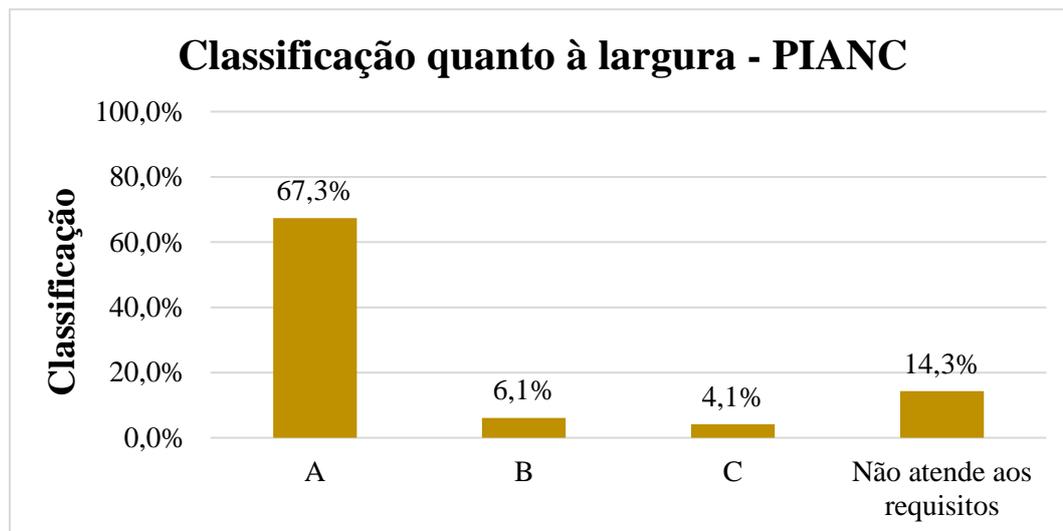


Figura 22 - Verificação dos passos quanto à largura - Critério PIANC 2019.
Fonte: Autor, 2023.

Diferentemente do DNIT, em que a largura mínima para o comboio tipo do Tramo Sul é 105,6 m, ocasionando na aprovação de 100% dos passos, o critério da PIANC é mais exigente com relação à largura mínima do canal navegável. Desta forma, 14,30% dos passos não atendem ao critério, como exibe a Figura 22.

7.2 FOLHAS DE DADOS DOS PASSOS CRÍTICOS

Com o objetivo de sistematizar as informações dos modelos construídos foram elaboradas folhas de dados para cada passo crítico estudado. Cada folha contemplará as informações básicas do trecho, como identificação, estaqueamento e número da carta náutica correspondente. Além disso, uma imagem compilando sua localização geográfica – por meio do Google Earth – referenciando aos extremos do tramo sul da hidrovia e aos países vizinhos; um recorte da carta náutica correspondente, com foco no passo crítico; modelo 3D construído do canal projetado conforme recomendações PIANC 2019.

O modelo foi construído em esquema de cores que emula um mapa de calor, porém com as profundidades, do trecho. A Tabela 22 discrimina as cores em função da profundidade e o Apêndice 2 contempla todas as folhas desenvolvidas.

Tabela 22 – Faixas de profundidades dos modelos.
Fonte: Autor, 2023.

Cor	Faixa de profundidade (m)		Cor	Faixa de profundidade (m)	
	----	-11,50		-3,64	0,00
	-11,50	-7,50		0,00	1,00
	-7,50	-3,64		1,00	----

7.3 QUANTITATIVOS

Este item apresenta os quantitativos de movimentação de sedimentos a serem dragados em cada passo crítico da Hidrovia do Rio Paraguai conforme ambos os critérios analisados. A compreensão dos quantitativos de dragagem é essencial para embasar a tomada de decisões informadas e responsáveis na busca de uma solução que concilie os objetivos de desenvolvimento econômico com a proteção do meio ambiente.

A Tabela 23 resume os resultados obtidos com as quantidades de dragagem para trechos críticos selecionados, conforme critério PIANC 2019, correspondendo a um volume total de 10.905.710 m³.

Tabela 23 – Tabela resumo de quantidades de dragagem – Critério PIANC (2019). Fonte: Autor, 2023.

Passos críticos	Volume dragado (m ³)	Profundidade média de dragagem (m)	Profundidade média do canal (m)
Proximidades da Ilha da República	508.103,26	1,03	-5,306
Porto Sastre	517.492,45	2,43	-3,852
Proximidades da Cancha Estrela	100.614,57	0,41	-8,569
Boca inferior riacho Celina	499.447,80	1,39	-7,583
Proximidades de Porto Murtinho	278.446,62	0,74	-6,842
Passo Tarumã	634.638,07	1,13	-6,619
Ilha Fecho dos Morros	299.130,19	0,87	-6,411
Passo Camba Nupa	240.296,44	0,43	-6,141
Barranco Branco	195.682,47	0,80	-8,381
Passo Olimpo	175.023,00	0,39	-5,121
Furado do Nabileque	442.601,63	0,67	-6,154
Passo Curuçu	48.589,00	0,07	-4,046
Ilha do Braga	178.996,43	0,41	-6,169
Da Ilha Rabo de Ema a Ilha Spinello	14.363,06	0,03	-7,633
Porto Mirhanovich	534.548,12	1,17	-8,565
Passo Alegrete Inferior	400.718,77	0,74	-7,932
Proximidades da Fazenda Nu Guazu	147.416,00	0,29	-7,269
Passo Periquitos	281.768,06	0,52	-7,57
Porto Esperanza	203.405,20	0,42	-6,715
Passo Cururu	65.417,11	0,23	-6,775
Baía Negra	186.211,49	0,48	-7,054
Rio Negro	162.646,57	0,47	-6,766
Isla del Sauce	58.368,92	0,12	-6,394
Ilha Santa Rosa	93.495,94	0,17	-5,673
Proximidades da Ilha Santa Fé	222.240,71	0,24	-5,224

Passos críticos	Volume dragado (m³)	Profundidade média de dragagem (m)	Profundidade média do canal (m)
M'Biguá	67.603,00	0,22	-4,894
Passo Rebojo Grande	244.121,49	0,69	-4,34
Passo Paratudal	346.179,34	0,67	-5,013
Proximidades Fazenda Primavera	139.516,29	0,24	-6,387
Passo Piuvas Inferior	48.642,21	0,26	-4,472
Volta da Ferradura	198.130,06	0,24	-8,535
Proximidades do Morro do Conselho	206.680,34	0,51	-8,705
Proximidades da Ilha do Bugio	118.950,63	0,23	-7,53
Passo do Jacaré + Ponte do Rio Branco	223.643,49	0,54	-7,229
Proximidades da Ponte Nossa Senhora do Pantanal	31.909,00	0,15	-8,105
Passo Caraguatá	379.805,00	0,97	-3,669
Proximidades da Ilha Cambará Ferrado	704.333,00	1,09	-4,233
Passo Abobral	148.950,00	0,29	-4,981
Proximidades do Porto da Manga	194.575,00	0,31	-4,812
Proximidades do rio Taquari	35.673,38	0,08	-6,672
Passo Macunã	50.893,00	0,17	-5,144
Proximidades da Ilha Tira Catinga	36.767,00	0,08	-6,232
Volta Miguel Henrique	1.092.585,00	0,78	-7,071
Passo de Santana ou Jatobá	147.090,45	0,33	-6,946

Repetindo o método aplicado para os critérios do DNIT, foram construídos modelos utilizando as recomendações vigentes no Brasil. A somatória dos trechos modelados resulta em 6.426.677 m³. Os dados detalhados obtidos estão na Tabela 24.

Tabela 24 - Tabela resumo de quantidades de dragagem – Critério DNIT
Fonte: Autor, 2023.

Passos críticos	Volume dragado (m³)	Profundidade média de dragagem (m)	Profundidade média do canal (m)
Proximidades da Ilha da República	83.364,26	0,35	-5,593
Porto Sastre	169.636,40	0,91	-3,545
Proximidades da Cancha Estrela	31.296,74	0,36	-8,569
Boca inferior riacho Celina	384.061,13	0,47	-7,583
Proximidades de Porto Murtinho	86.657,47	0,63	-6,842
Passo Tarumã	697.270,48	0,39	-6,678
Ilha Fecho dos Morros	62.376,62	0,28	-6,434
Passo Camba Nupa	108.977,33	0,19	-4,795
Barranco Branco	25.630,01	0,21	-9,353
Passo Olimpo	1.150,00	0,00	-4,612

Passos críticos	Volume dragado (m³)	Profundidade média de dragagem (m)	Profundidade média do canal (m)
Furado do Nabileque	147.632,57	0,63	-6,355
Passo Curuçú	108.142,00	0,26	-3,772
Ilha do Braga	28.712,98	0,12	-6,269
Da Ilha Rabo de Ema a Ilha Spinello	3.822,74	0,25	-6,463
Porto Mirhanovich	530.811,93	1,12	-5,735
Passo Alegrete Inferior	104.725,09	0,30	-7,627
Proximidades da Fazenda Nu Guazu	121.699,00	0,39	-7,66
Passo Periquitos	47.996,46	0,56	-7,57
Porto Esperanza	0,00	0,00	0
Passo Cururu	0,00	0,00	0
Baía Negra	49.974,80	0,21	-7,222
Rio Negro	83.590,45	0,43	-7,478
Isla del Sauce	4.699,88	0,12	-6,287
Ilha Santa Rosa	114.571,70	0,25	-6,192
Proximidades da Ilha Santa Fé	561.779,01	0,19	-6,17
M'Biguá	50.394,53	0,21	-5,245
Passo Rebojo Grande	233.894,81	1,33	-6,191
Passo Paratudal	95.584,89	0,18	-5,013
Proximidades Fazenda Primavera	16.501,88	0,17	-5,013
Passo Piuvas Inferior	9.103,25	0,43	-4,894
Volta da Ferradura	52.160,04	0,24	-8,535
Proximidades do Morro do Conselho	443.168,91	1,61	-8,52
Proximidades da Ilha do Bugio	176.105,25	0,47	-8,119
Passo do Jacaré + Ponte do Rio Branco	25.047,56	0,22	-6,322
Proximidades da Ponte Nossa Senhora do Pantanal	15.626,84	0,15	-8,105
Passo Caraguatá	105.342,00	0,42	-3,519
Proximidades da Ilha Cambará Ferrado	136.365,00	0,35	-4,829
Passo Abobral	132.178,25	0,05	-7,853
Proximidades do Porto da Manga	336.829,99	0,21	-8,207
Proximidades do rio Taquari	15.346,81	0,13	-6,308
Passo Macunã	36.180,00	0,21	-5,579
Proximidades da Ilha Tira Catinga	23.929,00	0,08	-6,462
Volta Miguel Henrique	953.129,78	0,94	-7,26
Passo de Santana ou Jatobá	11.208,77	0,37	-7,5

A Figura 23 e a Figura 24 exibem o comparativo entre os critérios adotados para realizar o cálculo do volume de dragagem.

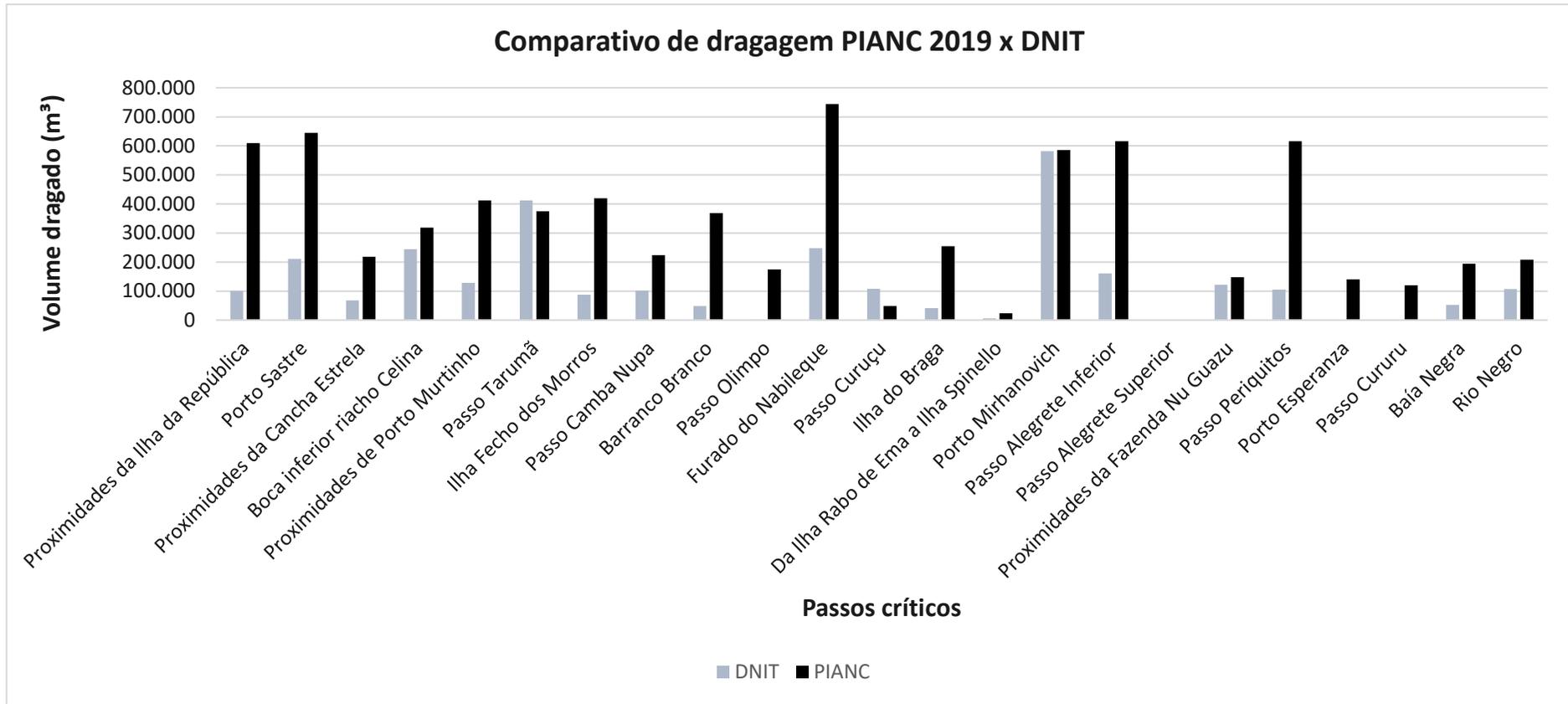


Figura 23 - Comparativo de dragagem PIANC 2019 – DNIT: das proximidades da Ilha República até o Passo Rio Negro.
 Fonte Autor, 2023

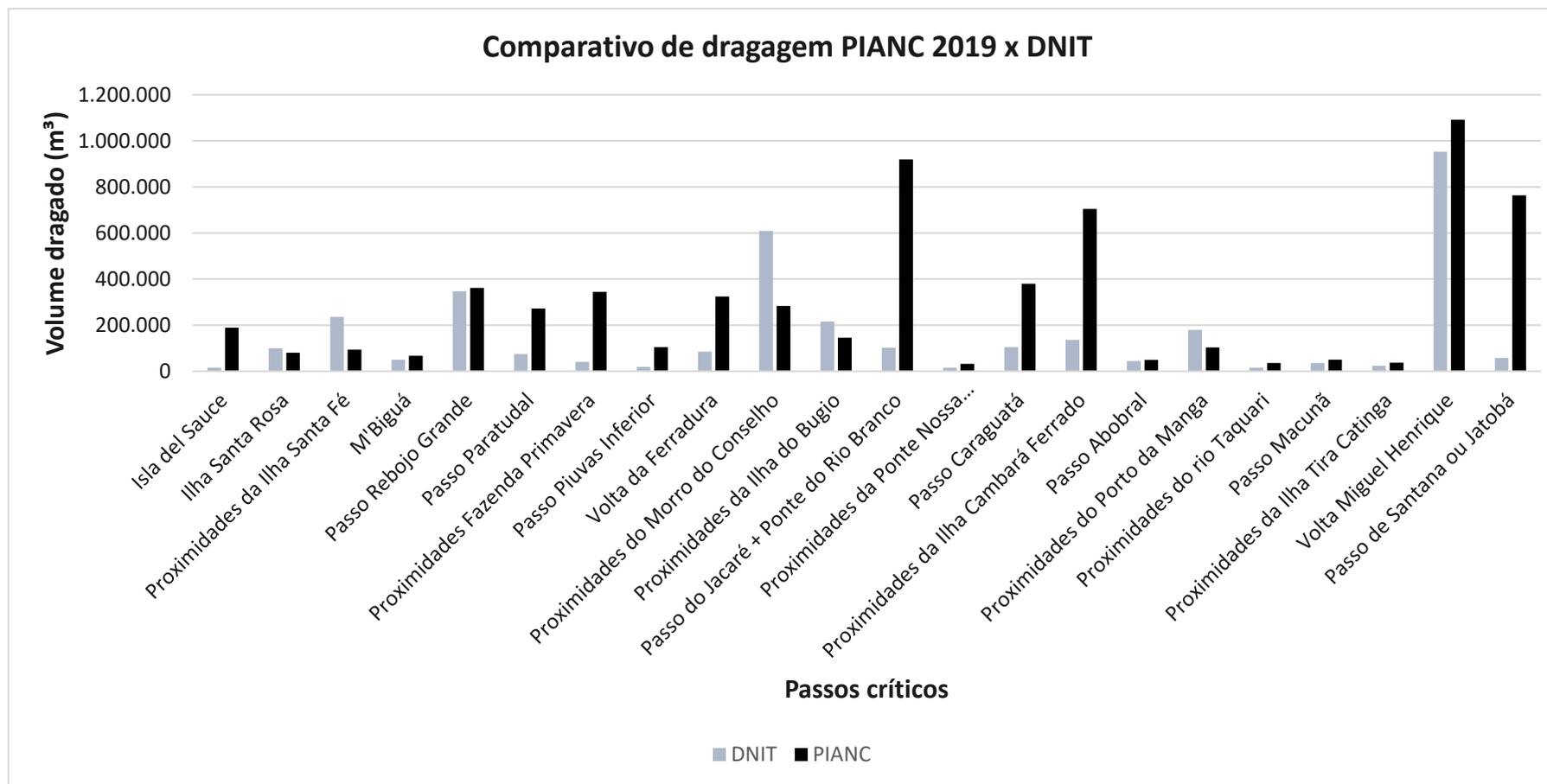


Figura 24 - Comparativo de dragagem PIANC 2019 – DNIT: do Passo Rio Negro até o Passo Santana. Fonte Autor, 2023.

Considerando os trechos modelados em ambos os critérios, os volumes de dragagem necessários obtidos pela recomendação da PIANC (2019) seriam de 10.905.710 m³, ou seja, 1,59 vezes mais do que a dragagem proposta pelos critérios do DNIT, que levariam a aproximadamente 6.426.677.

Apesar de ser esperado que os volumes obtidos por meio do critério PIANC 2019 sejam maiores, alguns casos como o passo das proximidades do Morro do Conselho demonstram o inverso. Isso acontece devido ao fato do critério DNIT ser mais conservador quanto ao critério de raio de curvatura e, portanto, para passos onde a sua criticidade se dá pela curva acentuada, como ilustra a Figura 25, existe a tendência do volume obtido pelo critério DNIT ser realmente maior que o valor obtido pelo critério PIANC.

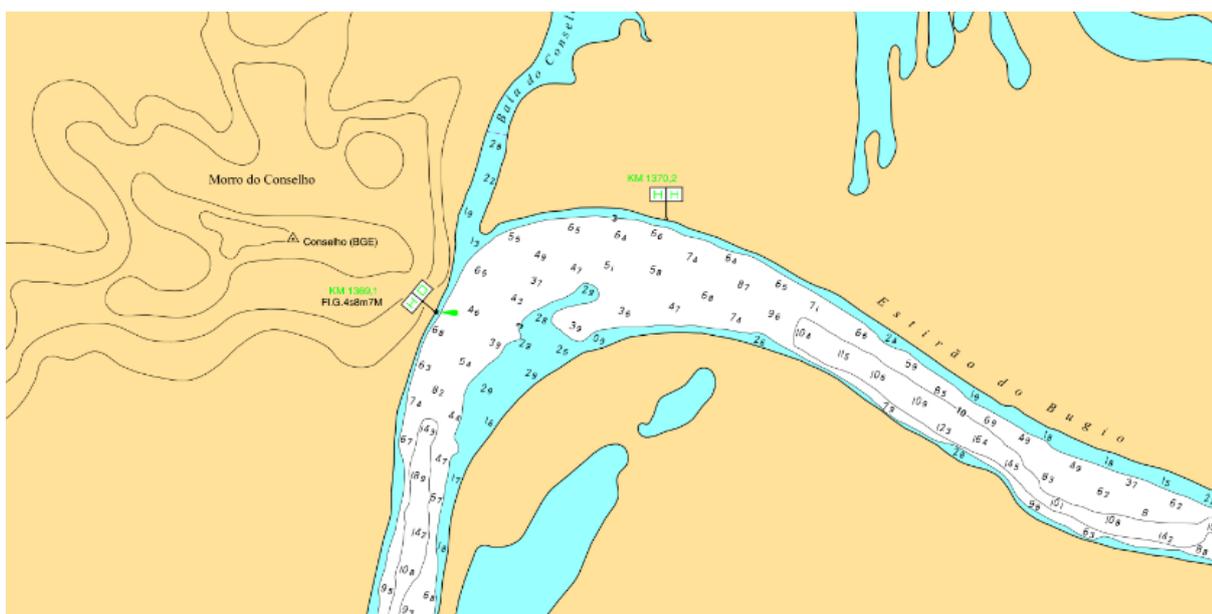


Figura 25 – Trecho da carta náutica 3356: do Passo Conselho à Volta do Acurizal. Fonte: Marinha do Brasil, 2017.

8 ANÁLISES

Do ponto de vista técnico, os resultados apresentados revelam a complexidade da situação atual da hidrovia. A comparação entre os critérios do DNIT e da PIANC (2019) na classificação dos passos críticos demonstra divergências significativas, especialmente no que diz respeito aos requisitos de raio de curvatura e largura mínima do canal navegável. Isso sinaliza para a necessidade de uma abordagem mais precisa e atualizada no dimensionamento da hidrovia, levando em consideração as características específicas dos comboios permitidos.

A abordagem da PIANC, ao reunir boas práticas de países mais desenvolvidos no tema, aliada a fundamentada base teórica, traduz melhor as necessidades atuais das hidrovias frente às configurações mais recentes das embarcações, características de carga e novas tecnologias de apoio à navegação desenvolvidas.

Focando nos critérios geométricos é possível entender cada variação de classificação entre as duas abordagens. Como mostram a Figura 18 e Figura 19, a aceitação dos passos é maior sob critério da PIANC do que critério DNIT.

Entretanto, o parâmetro de largura é mais conservador no critério sugerido pela PIANC. A Figura 14, exibe a relação entre a largura de vias navegáveis em rios e as dimensões das embarcações e um ponto ressaltado pelo grupo de trabalho é como essa relação entre boca da embarcação e largura do canal navegável influencia fortemente na facilidade da navegação. Portanto, ao se empregar o método criado “*Safety and Ease*” tal parâmetro geométrico foi considerado mais importante.

A análise quantitativa dos volumes de dragagem necessários destaca uma diferença substancial entre os critérios do DNIT e da PIANC (2019), com este último indicando a necessidade de uma quantidade significativamente maior de dragagem. Este fato pode explicar os constantes ataques às margens do rio nos trechos curvos, provavelmente devido à insuficiência de obras de dragagem, evidenciando a necessidade de adoção de uma diretriz de projeto mais adequada aos critérios de dimensionamento da hidrovia, representados pelas diretrizes PIANC (2019), de acordo com cada tipo de comboio permitido.

Do ponto de vista econômico, a Hidrovia do Rio Paraguai é reconhecida como um eixo estratégico para a integração das cadeias de suprimentos nacionais e regionais. No entanto, as diretrizes DNIT, enraizadas em recomendações europeias de várias décadas atrás, podem estar representando um obstáculo a boas práticas

contemporâneas na navegação interior. A adoção das recomendações da PIANC (2019) é vista como recomendável para melhorar a funcionalidade, segurança e eficiência da hidrovia, o que, por sua vez, pode impulsionar o comércio e o transporte por esta importante artéria hidroviária da América do Sul.

Sob o aspecto ambiental, a pesquisa ressalta a importância de uma abordagem mais sustentável na gestão da hidrovia. A necessidade de adotar práticas globais modernas, como as recomendadas pela PIANC (2019), é importante para minimizar os impactos ambientais negativos, como a constante erosão das margens do rio devido à falta de obras de dragagem adequadas.

Em síntese, a análise técnica destaca a necessidade de uma abordagem mais precisa no dimensionamento da hidrovia, considerando os comboios permitidos. A análise econômica destaca o potencial da hidrovia para impulsionar o comércio regional, desde que as diretrizes sejam substituídas por práticas mais atualizadas contemporâneas. A análise ambiental enfatiza a importância da sustentabilidade na gestão da hidrovia para minimizar os impactos negativos. A adoção das recomendações da PIANC (2019) é vista como um passo relevante para o futuro sustentável da Hidrovia do Rio Paraguai, requerendo ação concertada de todos os *stakeholders* envolvidos.

9 CONCLUSÃO

A realização desta pesquisa sobre a Hidrovia do Rio Paraguai não apenas evidenciou as complexidades inerentes ao seu desenvolvimento e operacionalização, mas também um discurso crítico sobre a transição necessária dos paradigmas antigos para os contemporâneos quanto à definição das dimensões náuticas.

Embora as potencialidades da Hidrovia do Rio Paraguai sejam amplamente reconhecidas, a otimização da sua funcionalidade e capacidade ainda é um objetivo distante, atribuído principalmente às diretrizes desatualizadas que ainda norteiam suas dimensões geométricas de gabarito. A aderência às normativas do DNIT, enraizadas em recomendações europeias do pós-guerra, e que foram concebidas para automotores, tem-se constituído em um impedimento ao crescimento e inovação no contexto de um ambiente hidroviário dinâmico e em evolução.

A necessidade de uma transição para diretrizes mais contemporâneas, exemplificada pela recomendação da PIANC de 2019, não deve ser considerada apenas como uma sugestão, mas como uma alternativa de boas práticas a ser adotada. A análise dos dados e métodos apresentados no corpo desta pesquisa mostrou de forma clara a disparidade entre as práticas atuais e as necessidades emergentes, ilustradas pela complexidade e diversidade das operações na hidrovia.

No âmbito logístico e econômico, a Hidrovia do Rio Paraguai não é apenas um canal de transporte, mas um eixo estratégico que tem o potencial de integrar de forma significativa as cadeias de suprimentos nacionais e regionais. Cada aspecto da hidrovia, desde suas características geográficas até seus desafios operacionais, reflete um componente crítico na tapeçaria complexa do comércio e transporte na América do Sul.

Esta pesquisa adotou uma abordagem multifacetada para entender não apenas os desafios, mas também as oportunidades inerentes. A aplicação das diretrizes da PIANC de 2019 serviu como um instrumento de iluminação, desvelando os pontos críticos e apresentando sugestões sobre as melhorias necessárias. A quantificação conceitual dos volumes de dragagem, a análise dos passos críticos e a avaliação da eficiência operacional sob a lente da PIANC oferecem uma visão mais realista do cenário atual e das intervenções necessárias.

O futuro sustentável da Hidrovia do Rio Paraguai está intrinsecamente ligado à integração e implementação de práticas globais modernas. Os resultados desta

pesquisa, embora extensivos, são iniciadores de um diálogo necessário, instigando a necessidade de estudos subsequentes e implementação prática das recomendações.

Uma limitação desta pesquisa reside na magnitude dos valores obtidos nos quantitativos de dragagem, decorrente do baixo nível de detalhamento dos modelos digitais de terreno extraídos das cartas náuticas, em contraste com as batimetrias realizadas em campo. A escassez de pontos de dados intensifica a majoração dos valores obtidos, uma característica intrínseca ao método de cálculo que incorpora uma triangulação entre os pontos modelados.

No entanto, é imperativo enfatizar que, apesar desta limitação, a comparação entre os métodos mantém sua validade. Mesmo que a magnitude dos valores não seja precisa para uma avaliação exata da ordem de grandeza dos serviços de dragagem necessários, ela se prova essencial quando empregada na análise comparativa entre os métodos. O erro associado ao nível de detalhamento insatisfatório é um elemento comum e consistente em ambos os métodos. Este fator uniformiza a base de comparação, conferindo credibilidade e robustez à análise.

Assim, a presença uniforme do erro amplifica a confiança na comparação dos resultados, reforçando que as discrepâncias observadas são, de fato, atribuíveis às diferenças inerentes aos métodos e não a inconsistências variáveis nos dados. Esta consistência assegura que as inferências e conclusões derivadas da comparação entre os métodos são tanto confiáveis quanto informativas, contribuindo significativamente para a compreensão ampliada das implicações práticas e teóricas dos quantitativos de dragagem.

Ressalta-se ainda a relevância da viabilização de obras de dragagem no rio para garantir maior perenidade e potencial de movimentação ao longo do ano inteiro, dado o cenário de elevação de temperaturas globais e os impactos das mudanças climáticas. A elevação das temperaturas globais pode levar a mudanças nos padrões de precipitação, resultando em eventos climáticos extremos, como chuvas intensas ou secas prolongadas, levando a casos em que a navegação possa ser interrompida.

Cada componente desta pesquisa, desde o método até os resultados, é modelado para incitar a ação, inovação e transformação. Sugere-se como próximas pesquisas o estudo mais aprofundado das dimensões náuticas para revitalização da Hidrovia do Rio Paraguai de acordo com o método estendido da PIANC, apresentado no item 4.7.3. Partindo das análises conceituais apresentadas nesse trabalho é de

extrema relevância detalhar os cálculos e projetar a hidrovia caso a caso para aumentar o nível de otimização

A resiliência e o crescimento futuro da hidrovia dependerão significativamente da adoção de práticas flexíveis e adaptáveis. O ambiente fluvial está em constante estado de escoamento, e a capacidade de adaptar-se e evoluir com as mudanças emergentes será um determinante crítico do sucesso.

A implementação das diretrizes da PIANC de 2019 não é apenas uma questão de conformidade, mas um passo estratégico para melhorar a funcionalidade, segurança e eficiência da hidrovia. Cada recomendação, cada sugestão derivada da aplicação destas diretrizes, serve como um pilar na construção de uma hidrovia que não é apenas operacionalmente viável, mas também ecologicamente sustentável e economicamente lucrativa.

Em suma, a Hidrovia do Rio Paraguai não é apenas uma entidade física, mas um componente vital no ecossistema econômico e ecológico da região. O movimento em direção a práticas mais contemporâneas, inovadoras e sustentáveis não é apenas desejável, mas essencial. A conclusão desta pesquisa marca o início de uma jornada – uma que é marcada pela inovação, transformação e crescimento sustentável.

10 REFERÊNCIAS

A.-S. Pauwelyn, S. Turf. Smart Shipping on Inland Waterways. Proceedings of PIANC Smart Rivers 2022. Hasselt, Belgium, 2022.

Autodesk. Autodesk Civil 3D 2022 Online Help. Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2022/ENU/>. Acesso em: 11/09/2023.

BAW (2016): “Driving Dynamics of Inland Vessels, Vessel Behaviour on European Inland Waterways and Waterway Infrastructure with Special Respect to German Waterways”, Bundesanstalt für Wasserbau, traduzido em 2016 de VBW, Karlsruhe, 2013.

Bernardino, J.C.M. Estabilidade de cursos d’água escoando sobre leitos aluvionares não coesivos. Dissertação de mestrado: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

CPRM. Serviço Geológico. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Previsão Hidrológica e Alerta de Enchentes Pantanal Mato-grossense. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/>. Acesso em 16/02/2023.

DNIT, 2016. Administrative Bulletin No 172, Portaria No 1.635

Dusan Puhar. River Information Systems – Review, Applications, and current examples from Serbia. Research reviews of the department of geography, tourism and hotel management, 2022.

Francisco, D. A.. Estudo de Viabilidade de Melhorias na Navegabilidade da Hidrovia Paraguai-Paraná. Dissertação de Mestrado: Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2014.

Gil, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6ª ed. – São Paulo: Atlas, 2008.

I. Backalov, M. Vidic, S. Rudakovic. Lessons learned from accidents on some major European Inland Waterways. Ocean Engineering. Elsevier, 2023.

James, K.J., Shenoy, V.V., Bhasi, M., Nandakumar, C.G., Automated ICT Systems in inland waterway by developing a multiflow river information services system. *International Journal of Advances Research in Engineering and Technology*. April 2019.

Junk, W.J., et al. (2006). Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Aquatic Sciences*, 68(3), 278-309.

Kaiser, M. J. Channel utilization in South Louisiana using AIS data, 2011-2012. *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 8, Number 4, December 2014. DOI: 10.12716/1001.08.04.05.

Khatereh Ahadi, Kelly M. Sullivan, Kenneth Ned Mitchell. Budgeting maintenance dredging projects under uncertainty to improve the inland waterway network performance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2018.

Kriedel, Norbert. Low water levels on the Rhine in 2018 and their impact in the Inland navigation industry and on industrial production in Germany. *Central Commission for the Navigation of the Rhine (CCNR)*. 2022.

Kulczyk, J. & Tabaczek, T. Logistic condition of container transportation on the Oder Waterway. *The International journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 12, Number 1, March 2018. DOI: 10.12716/1001.12.01.15.

Marinha do Brasil, Diretoria de Hidrografia e Navegação, Centro de Hidrografia da Marinha. Roteiro Hidrovia Paraguai – Paraná (Porto de Cáceres – Porto de Nova Palmira) Parte II De Assunção a Cáceres e Canal Tamengo, 1998.

Marinha do Brasil – Diretoria de Hidrografia e Navegação. AVISOS AOS NAVEGANTES. HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ: De Assunção a Cáceres e Canal Tamengo. Folheto N° 4 2006. Niterói-RJ, 2006.

Marinha do Brasil - Centro de Hidrografia e Navegação do Oeste. Navegabilidade no Rio Paraguai de Corumbá à Foz do Rio Apa. Disponível em: <marinha.mil.br/chn-6/?q=node/33>. Acesso em: 08 de abril de 2021.

Marinha do Brasil - Centro de Hidrografia e Navegação do Oeste. Navegabilidade no Rio Paraguai de Corumbá à Foz do Rio Cárceres. Disponível em: <marinha.mil.br/chn-6/?q=node/32>. Acesso em: 08 de abril de 2021.

Marinha do Brasil – Centro de Hidrografia da Marinha. Cartas Náuticas. Disponível em <marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-cartas-nauticas/cartas-nauticas>. Acesso em: 08 de abril de 2021.

Ministério dos Transportes/Consórcio ARCADIS logos. Plano Hidroviário Estratégico. 2013.

Ministério da Infraestrutura. Relatório Técnico - Plano Nacional de Integração Hidroviária Bacia do Paraguai. 2013.

Observatório Nacional de Transporte e Logística. Disponível em: <<https://ontl.epl.gov.br/paineis-analiticos/painel-do-anuario-estatistico/movimentacao-de-carga-por-perfil-de-carga/granel-solido-agricola-gsa>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2023.

PIANC. Economic aspects of inland waterways. InCom Report WG 21, 2005.

PIANC. Considerations to reduce environmental impacts of vessels. InCom Report n° 99, 2008.

PIANC. Values of inland waterways. InCom Report n° 139, 2016

PIANC. Development of a proposal of inland waterway classification for South America. InCom Interim Report n° 201 – 2018, 2018

PIANC. Design Guidelines for inland waterway dimensions. InCom WG Report n° 141 – 2019.

Pompermayer, Fabiano Mezadre; Campos Neto, Carlos Álvares da Silva; de Paula, Jean Marlo Pepino (2014): Hidrovias no Brasil: Perspectiva histórica custos e institucionalidade, Texto para Discussão, No. 1931, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília

Sá, E. C. (2014). A Navegação Fluvial e a Modernização do Espaço Geográfico Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia*, 61(2), 359-374. (Utilizada na seção "Desafios e Modernização")

Schijf (1949): 17th International Navigation Congress, Lisbon, Sect. I, paper 2, p. 61-78.

Schlichting (1934): "Ship Resistance in Water of Limited Depth-Resistance of Seagoing Vessels in Shallow Water", *Jahrbuch Der STG*, 35, 127-148.

Schoeneich, M., Habel, M., Szatten, D. Limitation for inland ships in the area of planned Multimodal Port on Vistula River. *The International journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 14, Number 3, September 2020. DOI: 10.12716/1001.14.03.05.

Universidade Federal do Paraná. Instituto Tecnológico de Transporte e Infraestrutura. Hidrovia do Rio Paraguai. Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental: Relatório dos Estudos e Projetos dos Melhoramentos Cotejados. Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura. – Curitiba: UFPR/ITTI, 2015.

Universidade Federal do Paraná. Instituto Tecnológico de Transporte e Infraestrutura. Hidrovia do Rio Paraguai. Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental: Matriz de Oportunidades da Hidrovia Paraguai-Paraná. Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura. – Curitiba: UFPR/ITTI, 2015.

van Koningsveld, M., Taneja, P., ter Hofstede, R., & de Vriend, H. J. Part I - Ch 2 A constant need for change - Ports and Waterways: Navigating a changing world (pp. 25-52). TU Delft Open, 2021.

World Wildlife Fund (WWF). (2021). Pantanal - World's Largest Tropical Wetland. Disponível em: <https://www.worldwildlife.org/projects/the-pantanal-saving-the-world-s-largest-tropical-wetland> Acesso em 16 de setembro de 2023.

APÊNDICE I – LARGURAS EXTRAS RECOMENDADAS – PIANC 2019

Formulação e abordagem recomendada	Observações
Largura extra ΔF_c em curvas (uma embarcação, uma direção de condução)	
<p>Aproximação para aplicar o projeto conceitual dentro de seus intervalos de R/L</p> <ul style="list-style-type: none"> • ($R/L \geq 5$): $\Delta F_c = \min \left\{ \begin{array}{l} C_c \cdot \frac{L^2}{R}; \\ L_{curva} \cdot C_c \cdot \left(\frac{v}{v_{ag}}\right) \cdot \frac{L}{R} + 0,125 \cdot \frac{L^2}{R} \leq L \end{array} \right.$ com C_c de acordo com o T ou T/h escolhido, a direção de movimentação, a velocidade do escoamento longitudinal bem como o modo de condução Em que: L_{curva} = comprimento da curva na direção de condução $\frac{v}{v_{ag}}$ pode ser avaliado de acordo com as suposições para ser cerca de 0,7 a jusante, 1,0 sem escoamento e 1,7 a montante. • ($R/L < 5$): Use a abordagem de Pitágoras de acordo com a para o primeiro termo de ΔF_c, usando $cF = (2 \cdot C_c) / 2$ para $cC \leq 0,5$ e $cF = C_c + 0,5$ para $C_c > 0,5$ ou cF do Apêndice E.2.3 (recomendado para rios). 	<p>O primeiro termo na equação para ΔF_c refere-se a uma embarcação que deriva constantemente (compensação total das forças centrífugas) com um ângulo de deriva β. O segundo termo refere-se a curvas muito curtas (regra geral é $L_{curva}/L < 1,4$ a montante e 0,6 a jusante em rios, bem como 1,0 em canais), onde dirigir com $\beta=0$ e aceitar um deslocamento lateral pode levar a larguras extras menores. Mas deve ser garantido que a embarcação seja capaz de voltar ao curso desejado logo após a curva. Observe que ΔF_c é muito mais alto para embarcações de calado raso ou altas velocidades de escoamento longitudinal no caso de uma condução a jusante do que para embarcações de grande calado ou embarcações que navegam a montante. Isso é válido para um modo normal de condução (qualidades S&E A, B). No caso de navegar não muito mais rápido do que a velocidade do escoamento e usar todos os meios de navegação, as medições mostram que C_c pode ser reduzido para 0,25 para embarcações carregados e 0,5 para embarcações vazios, mas não mais do que isso (qualidade S&E C ou inferior). No caso de $R/L < 2$ e altas velocidades de escoamento, um estudo detalhado é recomendado.</p>
Largura extra ΔF_W devido ao vento cruzado para embarcações sensíveis ao vento (vazio ou carregando contêineres), geralmente à deriva contra o vento, assumindo uma deriva quase constante. Não para canais, mas para rios.	
<p>Recomendação para condições de vento 'normais' (europeias ocidentais) e velocidades de embarcação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Embarcações vazias e lastreadas: $\Delta F_W = c_W \cdot L$ Em que: $c_W = 0,05$ para áreas interiores e 0,1 para trechos costeiros. • Para embarcações que transportam contêineres, especialmente com mais de duas camadas: ΔF_W tabelado ou usando a velocidade do vento de projeto de 10,5 m/s (interior) e 13,5 m/s (costeira). Tenha em mente que essas velocidades do vento são válidas a uma altura de 10 m e médias em cerca de 10 minutos. Portanto, pode ser necessário considerar o perfil do vento e as rajadas de acordo com o Apêndice E.2.7. • Recomendação para outras condições de vento, calado, velocidade da embarcação ou escoamento: 	<p>Observe que a condução em caso de vento irregular, ou condução com vento que muda de direção, precisa de algum espaço extra, mesmo no caso de velocidades de vento menores do que as recomendadas. Observe ainda que as velocidades das embarcações escolhidas devem estar de acordo com as suposições para as dimensões básicas. Se velocidades de embarcação mais altas forem necessárias para restringir ΔF_W, por exemplo, $0,9V_{crit}$, amplie as larguras básicas aumentando adequadamente as distâncias de segurança usando o Apêndice E. Lembre-se de que a velocidade da embarcação pode ser muito menor do que o habitual em canais e rios nas aproximações de eclusas. Portanto, a regra '$c_W \cdot L$' não é aplicável. Considere uma velocidade realista ao entrar ou sair da aproximação da eclusa, por exemplo, 6 km/h. Escolha a situação de condução com relação a embarcações sensíveis ao vento de acordo com sua probabilidade (geralmente uma embarcação vazio/lastreado encontra uma embarcação de grande calado). Note que ΔF_W é escalado com L, não B. Verifique se o uso de propulsores de proa ou lemes de proa passivos pode ser suficiente para contrariar as forças do vento. Então, ΔF_W pode ser negligenciado, mas apenas se não for necessário usar os lemes extras, por exemplo, para compensar as forças centrífugas nas curvas.</p>

Formulação e abordagem recomendada	Observações
<p>Realize estatísticas de vento e escolha uma velocidade de vento de projeto com cerca de 2% de probabilidade.</p>	
Largura extra ΔF_i devido a instabilidades, trajeto da embarcação sinusoidal (largura de resposta)	
<p>Canais de acordo com a Tabela 5.2; e rios de acordo com a Tabela 5.7:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Não são necessárias larguras extras. <p>Outras condições de limite (embarcações, velocidade do escoamento, direção de condução):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Use para avaliar as larguras extras para todas as embarcações envolvidas e sobreponha-as de acordo - estatisticamente ou aritmeticamente, levando a um novo valor de $\Delta F_{I,novo}$. • Leve em consideração as larguras extras $\Delta F_{I,i}$ envolvidas nas larguras básicas de acordo com a Tabela 5.2 (canais), Tabela 5.10 (rios) e Tabela 5.11 (aberturas de ponte). • ΔF_I relevante = $\Delta F_{I,novo} - \Delta F_{I,i}$. 	<p>As larguras extras Δi para canais com embarcações de projeto até a Classe Vb estão incluídas nas larguras básicas, bem como as larguras de resposta para todos as embarcações em rios (dados derivados da prática). Considere as observações no Capítulo 2.3.6 para considerar como sobrepor valores distribuídos estatisticamente, dependendo da qualidade S&E desejada. Use a abordagem no Apêndice E para todas as condições de contorno que não são tratadas nesta tabela.</p>
Larguras extras ΔF_R para alto tráfego	
<p>Use os incrementos fornecidos na Tabela A.10 para canais e, quando apropriado, também para rios e aberturas de pontes como um primeiro passo.</p>	<p>Porque não há dados adequados disponíveis para rios ou aberturas de pontes, um estudo detalhado é geralmente recomendado para alta densidade de tráfego</p>
Larguras extras ΔF_{cf} devido ao escoamento cruzado	
<p>Campos de escoamento cruzado grandes $w_c \geq L$:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\Delta F_{cf} \approx L \cdot \frac{V_{cms}}{V}$ com V_{cms} = velocidade média do escoamento cruzado (média ao longo de L) e V = velocidade da embarcação em relação à água, que se encaixa com as condições de limite para as dimensões básicas (veja, por exemplo, observações sobre ΔF_W nesta tabela) • Use v mencionado nas observações sobre ΔF_W, se nenhuma outra informação estiver disponível. <p>Campo de escoamento cruzado de tamanho médio $w_c < L$, mas largo o suficiente para ser compensado por um ângulo de deriva, mas sem efeitos significativos de turbulência:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcule ΔF_{cf} conforme mostrado acima (mas use V_{cms} médio sobre w_c na pior posição da embarcação) e multiplique por w_c / L. • Campo de escoamento cruzado de tamanho médio $w_c < L$, mas aceitação de um deslocamento lateral, que é igual a ΔF_{cf}, mas novamente apenas para turbulências de macroescala baixas: • $\Delta F_{cf} \approx w_c \cdot \frac{V_{cms}}{V_{og}}$ com V_{og} = velocidade da embarcação sobre o solo. 	<p>A extensão do campo de escoamento cruzado w_c é medida na direção de condução e na posição das embarcações. Presume-se que o piloto esteja ciente do campo de escoamento cruzado e que a velocidade do escoamento cruzado será compensada navegando com um ângulo de deriva adequado (qualidade S&E C). Isso pode não ser viável para larguras muito pequenas de corrente cruzada e fortes turbulências em zonas de mistura lateral de estruturas de entrada (água entrando no canal), especialmente se V_{cross} encontrar uma forte corrente longitudinal. Nestes casos e se o timoneiro não tem conhecimento do campo de escoamento cruzado, a largura extra resulta principalmente de um deslocamento lateral da embarcação, não de assumir um ângulo de deriva. Para essas condições de contorno, a referência é feita à abordagem delineada no Apêndice E.2.5. Note que ΔF_{cf} é dimensionado com L, não B. A fórmula usando V_{og} em vez de v pode ser aplicada para passar por pequenos campos de corrente cruzada (Söhngen et al., 2008), onde o timoneiro não é capaz de aplicar um ângulo de deriva apropriado. Ele se aplica para passar um campo de corrente cruzada em aproximações de eclusa em rios, porque várias outras ações de direção devem ser feitas ao mesmo tempo.</p>

Formulação e abordagem recomendada	Observações
<p>Para w_c pequeno comparado a L ou em caso de turbulências de grande escala significativas causadas, por exemplo, pela interação do campo de escoamento cruzado com um campo de escoamento longitudinal, bem como para outras qualidades S&E além de C, consulte o Apêndice E.2.5.</p>	
$\Delta F_{cf} \approx \frac{V_{cms}}{V} \cdot \min(L_c, L)$ <p>V_{cms} = velocidade média do escoamento cruzado sobre L_c, ou L no eixo da embarcação</p>	<p>As diretrizes russas, holandesas e alemãs fornecem fórmulas para avaliar a largura extra em campos de corrente cruzada. Depende da magnitude da corrente cruzada V_{cms}, da direção do escoamento da margem para o canal (entrada) ou inversa (saída), dos possíveis efeitos de mistura com a corrente longitudinal e, especialmente, da razão do comprimento do campo de corrente cruzada L_c e o comprimento da embarcação L. No caso de mistura turbulenta negligenciável com um escoamento longitudinal, pode-se usar a seguinte fórmula para avaliar as larguras extras [Söhngen et al., 2012]. Esta fórmula também pode ser usada para verificar se um estudo detalhado parece ser necessário ou não. Se ΔF_{cf} é, por exemplo, muito maior do que algum espaço adicional existente, então um estudo detalhado pode ser necessário, mas se se decidir aceitar tráfego de mão única na área de escoamento cruzado em um canal projetado para tráfego bidirecional, não há necessidade de realizar investigações detalhadas.</p>
Largura extra ΔF_{Turb} devido a turbulências em larga escala em rios (apenas para grandes h)	
<p>Deslocamento lateral em turbulências de grande escala sem qualquer reação do timoneiro:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\Delta F_{Turb} \approx 0.8 \cdot h \cdot \frac{V_{fluxo}}{V} \approx 0.4 \cdot h$ para um $\frac{V_{fluxo}}{V}$ típico 	<p>ΔF_{Turb} é relevante apenas em grandes rios, especialmente na erosão de curvas. O incremento não é considerado em técnicas de simulação, a menos que o campo de escoamento venha de medições, que capturem turbulências instáveis, ou de Simulações de Grandes Vórtices.</p>
Largura extra ΔF_g passando próximo a espigões Devido a 0.7B para velocidades moderadas (S&E C&B) e 0.8B para velocidades altas (S&E A) estarem incluídas na largura base dos rios, o alargamento necessário nos espigões pode ser reduzido pelos números mencionados acima.	
<p>Parte de ΔF_g, relacionada ao escoamento cruzado induzido pela grota para $h \leq h$ espigão:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\Delta F_{g,escoamento} \approx 0.1 \cdot a_G \cdot \frac{V_{fluxo}}{V}$, com a_G = espaçamento dos espigões Use v mencionado nas observações sobre ΔF_W, se nenhuma outra informação estiver disponível. Estimativa aproximada usando relações típicas de $\frac{V_{escoamento}}{V}$. $\Delta F_{g,escoamento} \approx 0.04 \cdot a_G$ a montante e $0.03 \cdot a_G$ a jusante 	<p>As fórmulas dadas são válidas para canais largos (quase águas rasas), um curso de embarcação próximo às cabeças dos espigões, e uma profundidade de água h menor que a altura do espigão $h_{espigão}$. Para outros casos, e com mais precisão, veja o Apêndice E. Como regra geral, reduza $\Delta F_{g,escoamento}$ por um fator $h_{espigão}/h$ se as cabeças dos espigões estiverem inundadas.</p> <p>$\Delta F_{g,fluxo}$ deve ser considerado na determinação do W_F mínimo, mas não o $\Delta F_{g,desáque}$. Este último deve ser interpretado como uma distância de segurança entre as cabeças dos espigões (em profundidade de calado) e a margem da via navegável, pois $\Delta F_{g,desáque}$ geralmente não</p>

Formulação e abordagem recomendada	Observações
<p>Parte de ΔF_g, relacionada ao deságue do campo de espigões pelo campo de rebaixamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\Delta F_{g,deságue} \approx 0,15 \cdot I_G \cdot \sqrt{T/h} \cdot (v/v_{crit})^3 \cdot (V_{ag}/v)$ com I_G = comprimento do espigão (da margem à cabeça) e V_{ag} = velocidade da embarcação acima do solo. • Estimativa aproximada para: $T/h \leq 0.7$; $v/v_{crit} \approx 0.6$ (S&E B&C) $v/v_{crit} \approx 0.9$ (S&E A): <p>$\Delta F_{g,deságue} \approx 0.02 \cdot I_G$ para S&E B&C e $\Delta F_{g,deságue} \approx 0.05 \cdot I_G$ para S&E A para uma condução a montante $\Delta F_{g,deságue} \approx 0.04 \cdot I_G$ e $0.14 \cdot I_G$ a jusante para B&C e A, respectivamente.</p>	<p>é modelado em técnicas de simulação, ao passo que este é o caso em relação à influência das velocidades de escoamento cruzado</p>

Nota: Como mostrado acima, a largura necessária da via navegável W_F é determinada pela sobreposição das larguras básicas mais as larguras extras relevantes para tráfego de mão única e mão dupla para uma seção transversal de canal de forma arbitrária.

APÊNDICE II – FOLHAS DE DADOS DOS PASSOS CRÍTICOS

PROXIMIDADES DA ILHA DA REPÚBLICA

O trecho das Proximidades da Ilha da República está localizado entre os quilômetros 937 e 939 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3334. A Figura 26 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

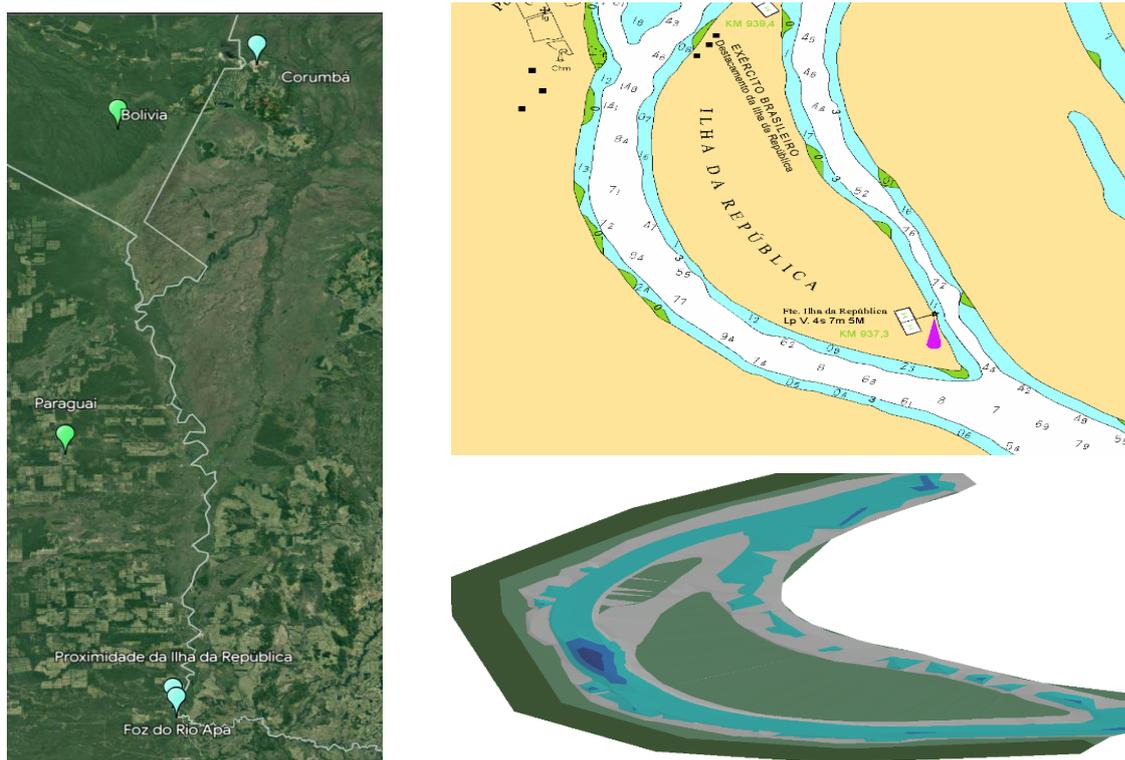


Figura 26 – Proximidades Ilha da República.
Fonte: Autor, 2023.

A extremidade da Ilha da República apresenta baixas profundidades, dificultando a navegação no local. A Tabela 25 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 26 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 25 – Dados relativos à dragagem – Proximidades da Ilha da República

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
508.103	0,97	-5,306

Tabela 26 – Dados planialtimétricos do trecho – Proximidades da Ilha da República

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

PORTO SASTRE

O Passo de Porto Sastre está localizado entre os quilômetros 939 e 941 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3334. A Figura 27 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

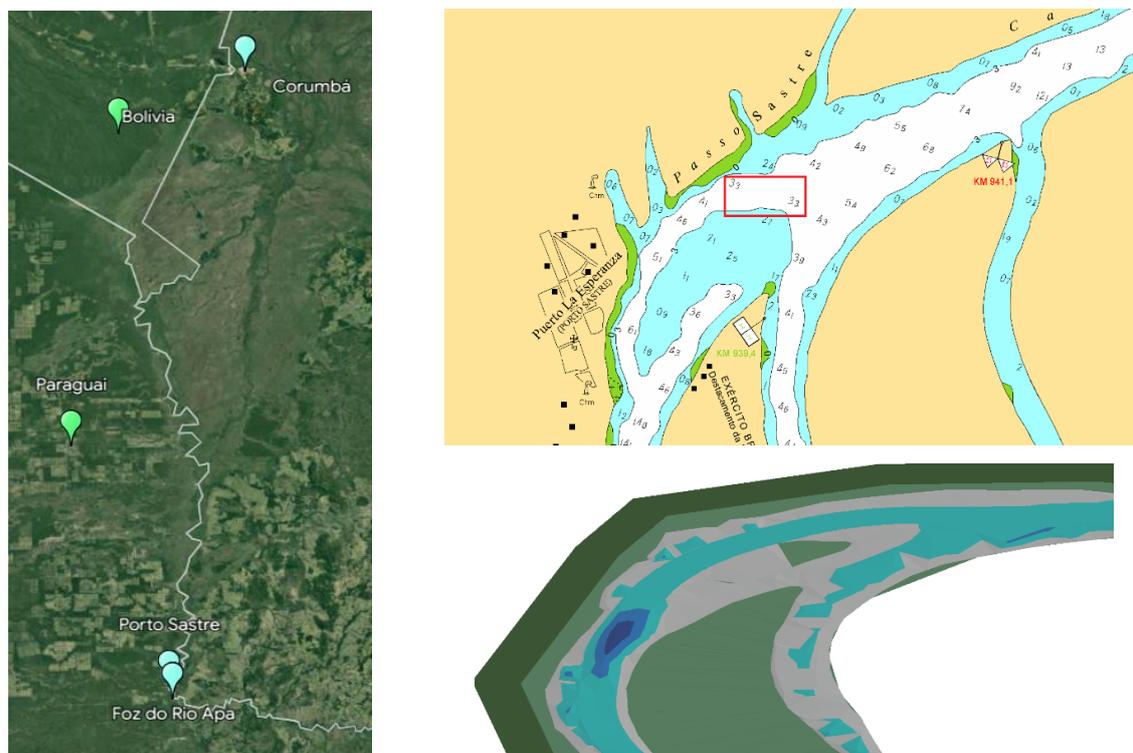


Figura 27 – Porto Sastre.
Fonte: Autor, 2023.

Normalmente a navegação nesse passo é realizada a meio do rio, onde as profundidades em época de estiagem são muito pequenas, devido ao fato da faixa navegável com profundidades adequadas ser muito estreita. A Tabela 27 exhibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 28 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 27 – Dados relativos à dragagem – Porto Sastre.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
517.492	1,25	-3,852

Tabela 28 – Dados planialtimétricos do trecho – Porto Sastre.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	0	0

PROXIMIDADES DA CANCHA ESTRELA

O trecho das Proximidades da Cancha Estrela está localizado entre os quilômetros 948 e 951 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3334. A Figura 28 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

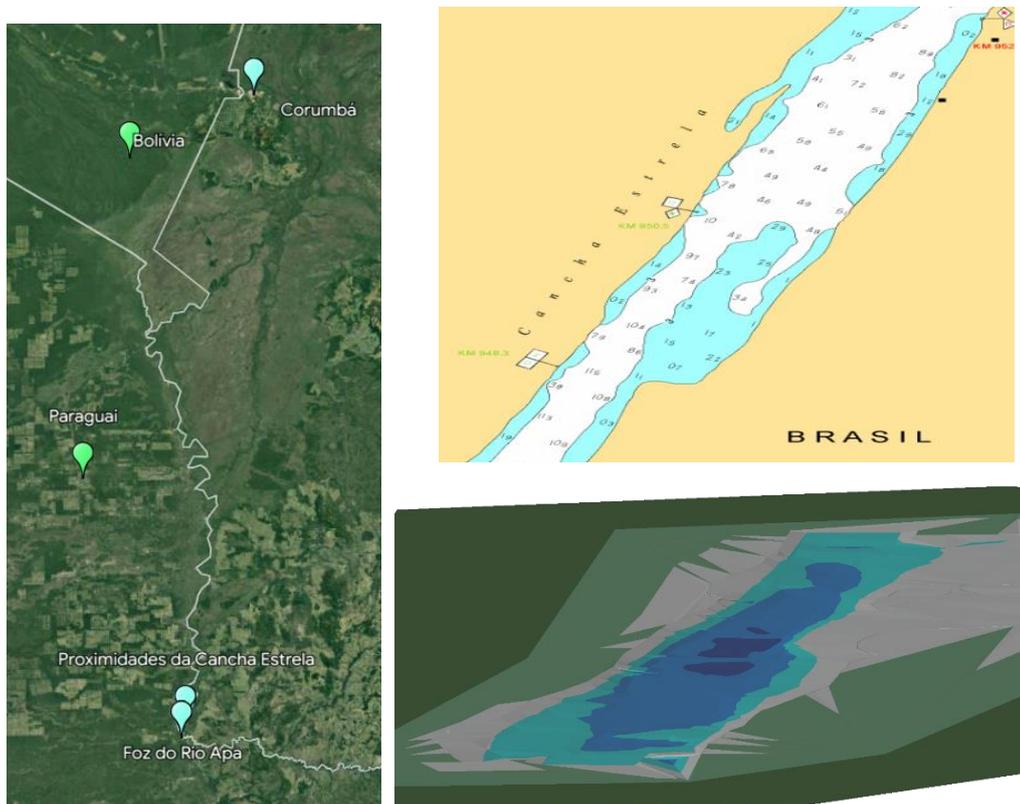


Figura 28 – Proximidades da Cancha Estrela.
Fonte: Autor, 2023.

Trecho com baixas profundidades próximo à margem direita além da redução da seção mais a jusante. A Tabela 29 exhibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 30 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 29 – Dados relativos à dragagem – Proximidades da Cancha Estrela.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
100.615	0,37	-8,569

Tabela 30 – Dados planialtimétricos do trecho – Proximidades da Cancha Estrela.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	0	0	0

BOCA INFERIOR RIACHO CELINA

O Passo da Boca Inferior do Riacho Celina está localizado entre os quilômetros 967 e 973 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3335. A Figura 29 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

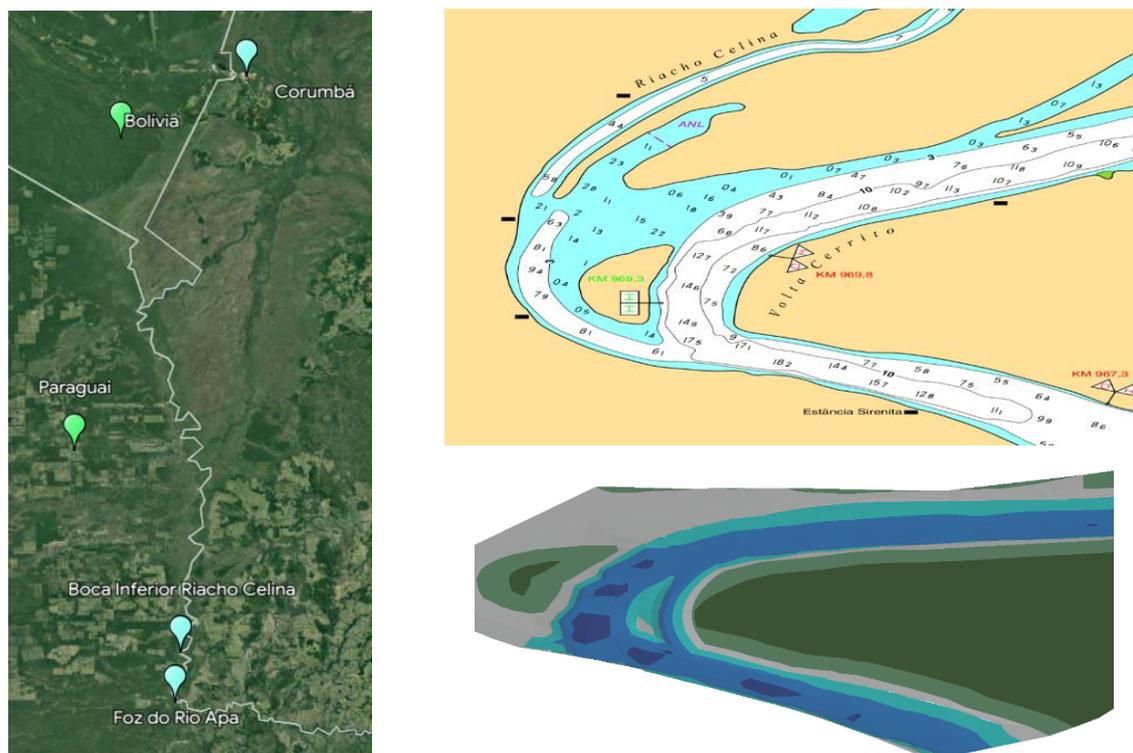


Figura 29 – Boca Inferior Riacho Celina.
Fonte: Autor, 2023.

Riacho navegável, mas, por ser muito raso na boca superior, recomenda-se a navegação nas altas e médias enchentes. A curva, por ser muito fechada, teve ajuste considerável na modelagem das obras de melhoria. A Tabela 31 exhibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 32 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 31 – Dados relativos à dragagem – Boca Inferior Riacho Celina.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
499.448	0,47	-7,583

Tabela 32 – Dados planialtimétricos do trecho – Boca Inferior Riacho Celina.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	1	0	0

PROXIMIDADES DE PORTO MURTINHO

O trecho das Proximidades de Porto Murtinho está localizado entre os quilômetros 992 e 966 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3336. A Figura 30 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

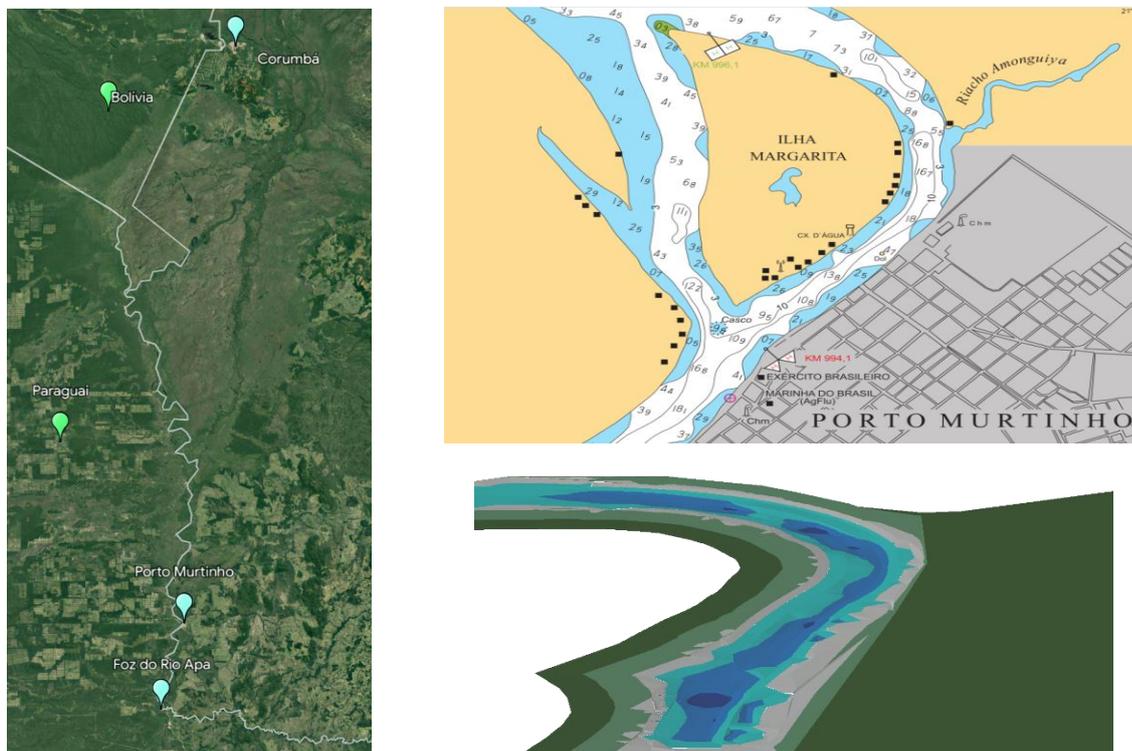


Figura 30 – Proximidades de Porto Murtinho.
Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto os raios mínimos atendem os critérios. A Tabela 33 exhibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 34 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 33 – Dados relativos à dragagem – Porto Murtinho.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
278.447	0,63	-6,842

Tabela 34 – Dados planialtimétricos do trecho – Porto Murtinho.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	0	1

PASSO TARUMÃ

O Passo Tarumã está localizado entre os quilômetros 1009 e 1013 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3337. A Figura 31 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

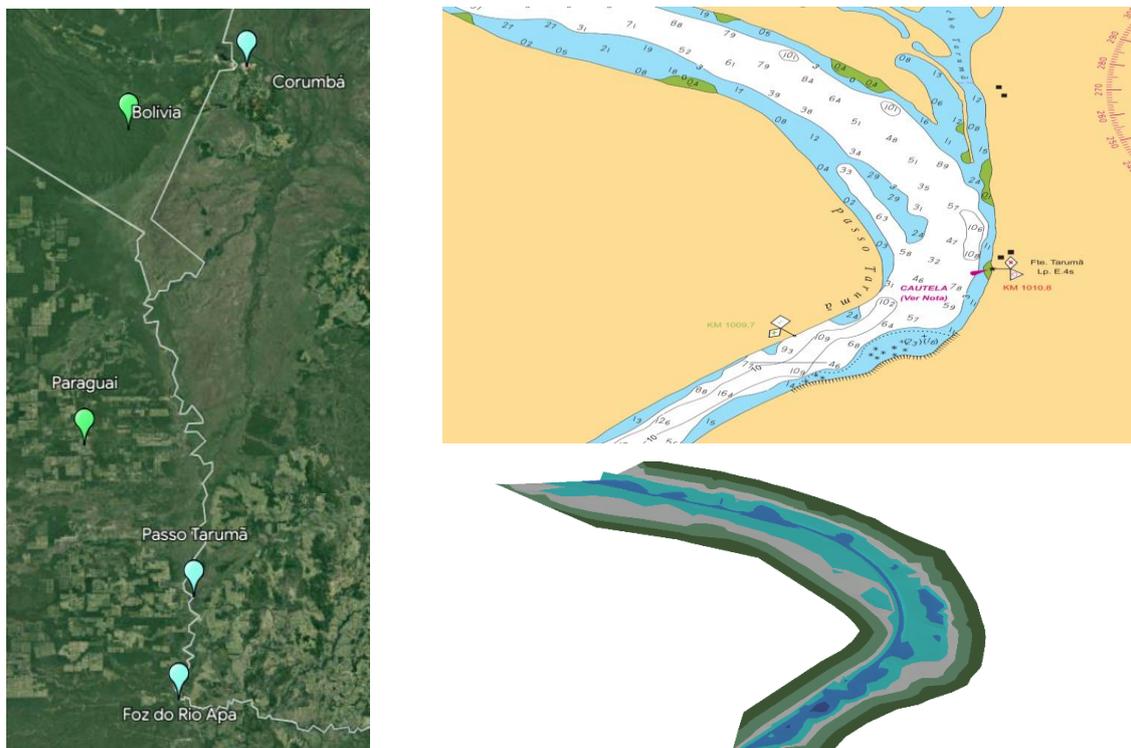


Figura 31 - Passo Tarumã.
Fonte: Autor, 2023.

O trecho é caracterizado por uma curva fechada, além de pedras perigosas junto à margem esquerda (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 35 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 36 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 35 – Dados relativos à dragagem – Passo Tarumã.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
643.638	0,40	-6,619

Tabela 36 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Tarumã.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	0	0

ILHA FECHO DOS MORROS

O passo da Ilha Fecho dos Morros está localizado entre os quilômetros 1029 e 1032 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3338. A Figura 32 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

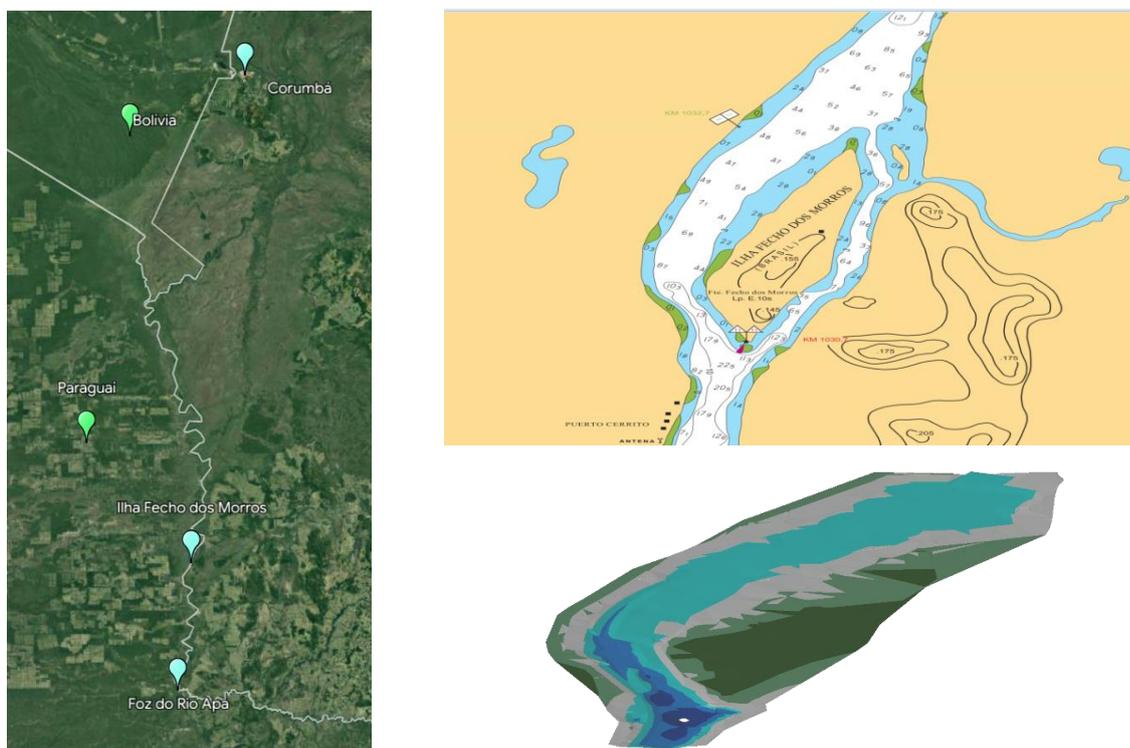


Figura 32 – Ilha Fecho dos Morros.
Fonte: Autor, 2023.

Trecho caracterizado por redução da largura no início da curva. Local onde se encontram as maiores altitudes nas margens do Rio Paraguai, na região do Pantanal. (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 37 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 38 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 37 – Dados relativos à dragagem – Ilha Fecho dos Morros.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
299.130	0,59	-6,411

Tabela 38 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha Fecho dos Morros.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

PASSO CAMBA NUPA

O Passo Camba Nupa está localizado entre os quilômetros 1036 e 1042 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3339. A Figura 33 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.



Figura 33 - Passo Camba Nupa.

Fonte: Autor, 2023.

Nesse passo há um travessão rochoso. Devido à pouca profundidade existente, na estiagem ele deve ser investido com cautela (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 39 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 40 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 39 – Dados relativos à dragagem – Passo Camba Nupa.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
240.296	0,15	-6,141

Tabela 40 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Camba Nupa.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	0	0

PASSO BARRANCO BRANCO

O Passo Barranco Branco está localizado entre os quilômetros 1080 e 1083 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3341. A Figura 34 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

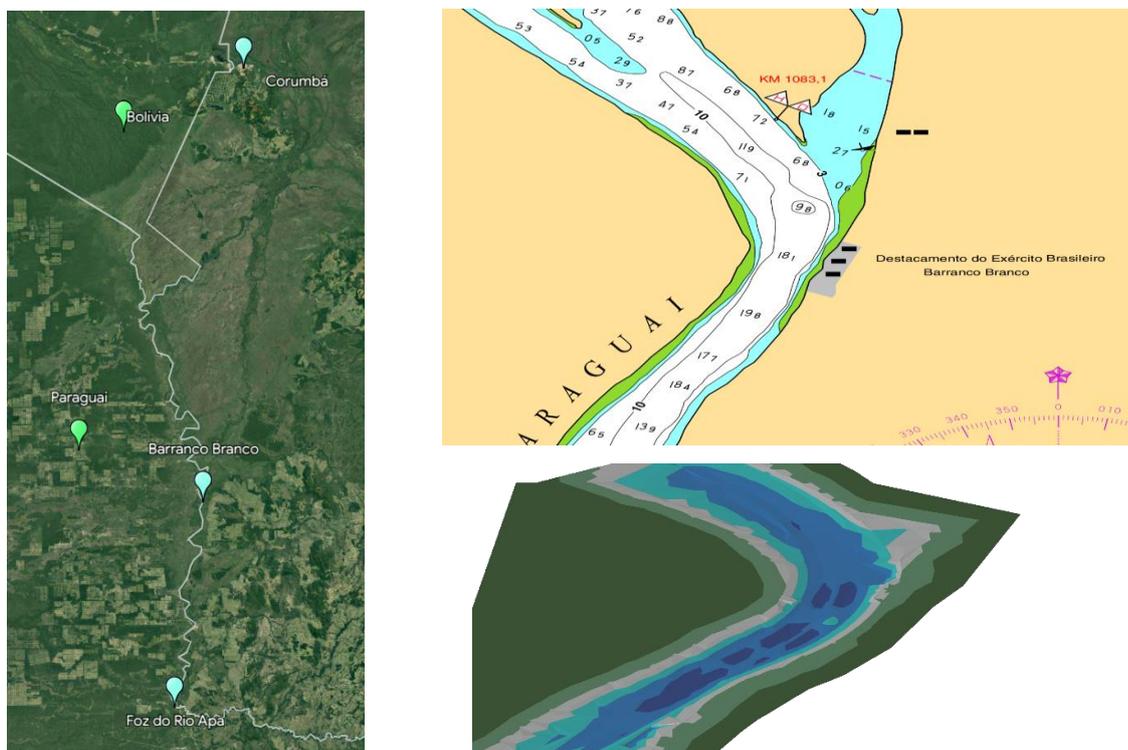


Figura 34 - Passo Barranco Branco.
Fonte: Autor, 2023.

Trecho com curva acentuada e com destaque para a sede de destacamento do Exército do Brasil (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 41 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 42 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 41 – Dados relativos à dragagem – Passo Barranco Branco.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
195.682	0,55	-8,381

Tabela 42 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Barranco Branco.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

PASSO OLIMPO

O Passo Olimpo está localizado entre os quilômetros 1083 e 1087 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3341. A Figura 35 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

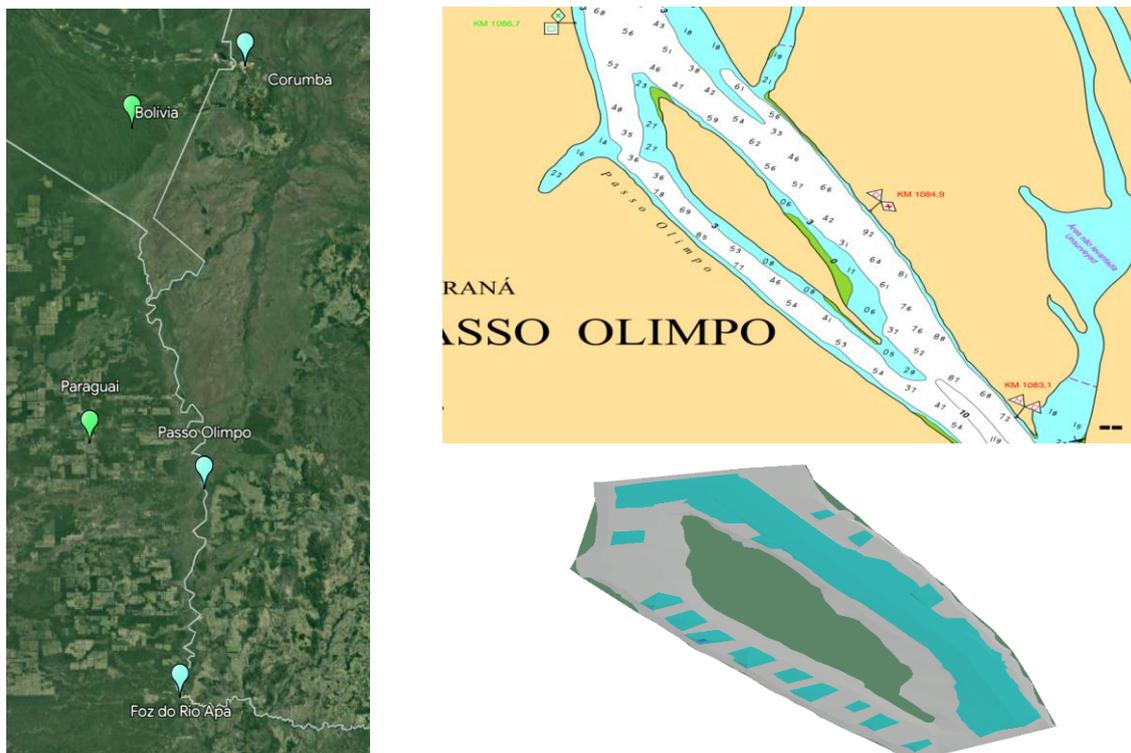


Figura 35 - Passo Olimpo.
Fonte: Autor, 2023.

Trecho com redução do canal navegável na ponta da ilha indicada, na margem à direita. A Tabela 43 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 44 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 43 – Dados relativos à dragagem – Passo Olimpo.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
175.023	0,39	-5,121

Tabela 44 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Olimpo.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	0	0	0

FURADO DO NABILEQUE

O Passo Furado do Nabileque está localizado entre os quilômetros 1100 e 1104 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3342. A Figura 36 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

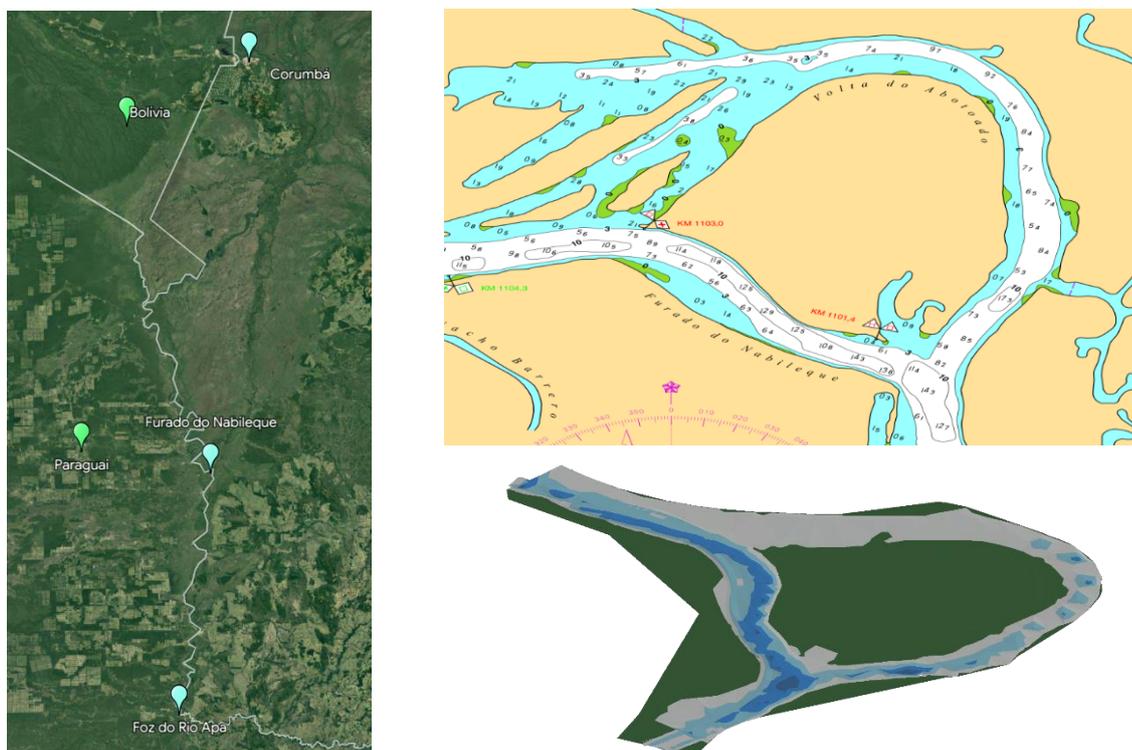


Figura 36 - Passo Furado do Nabileque.
Fonte: Autor, 2023.

Local de margens muito baixas, que desaparecem nas cheias, fazendo com que a região vire uma grande lagoa (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 45 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 46 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 45 – Dados relativos à dragagem – Furado do Nabileque.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
442.602	0,76	-6,154

Tabela 46 – Dados planialtimétricos do trecho – Furado do Nabileque.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	5	0	0

PASSO CURUÇU

O Passo Volta da Ferradura está localizado entre os quilômetros 1106 e 1108 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3342. A Figura 37 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

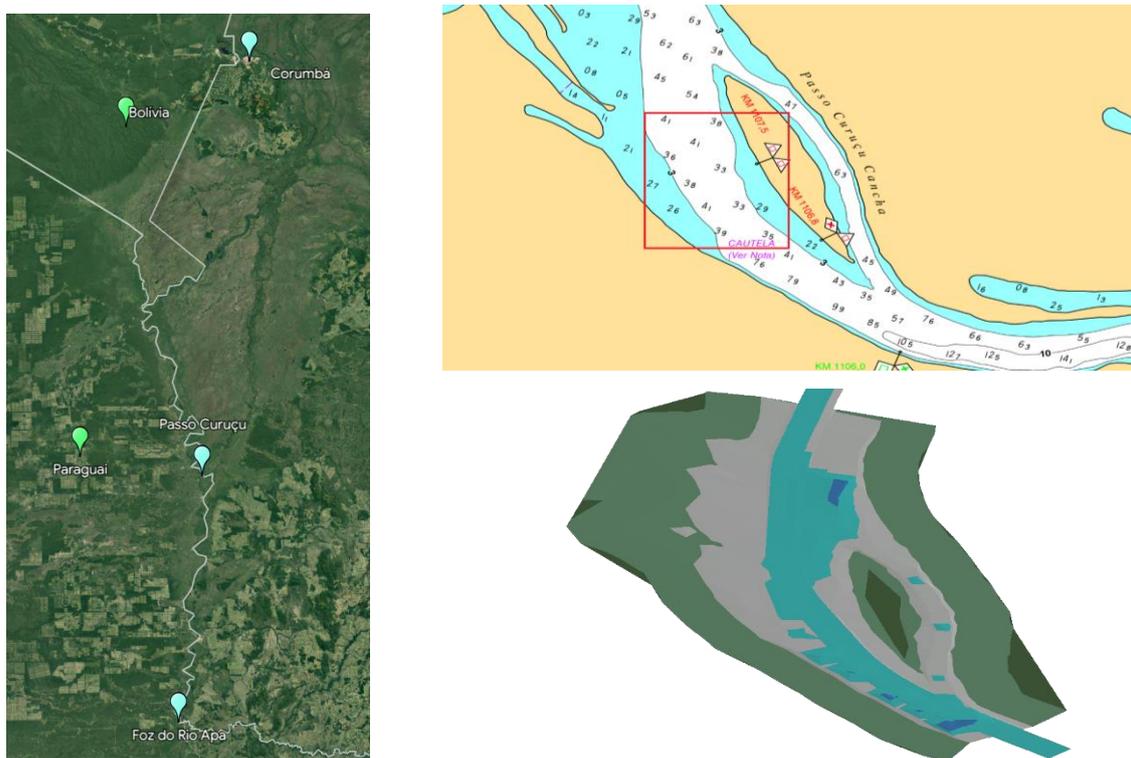


Figura 37 - Passo Curuçú.
Fonte: Autor, 2023.

Embora apresente uma profundidade razoável, essa parte do canal torna-se desafiadora devido à presença de bancos de areia que cercam a área e se tornam visíveis durante os períodos de baixa do nível das águas (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 47 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 48 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 47 – Dados relativos à dragagem – Passo Curuçú.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
48.589	0,07	-4.046

Tabela 48 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Curuçú.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

ILHA DO BRAGA

O passo da Ilha do Braga está localizado entre os quilômetros 1118 e 1122 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3343. A Figura 38 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

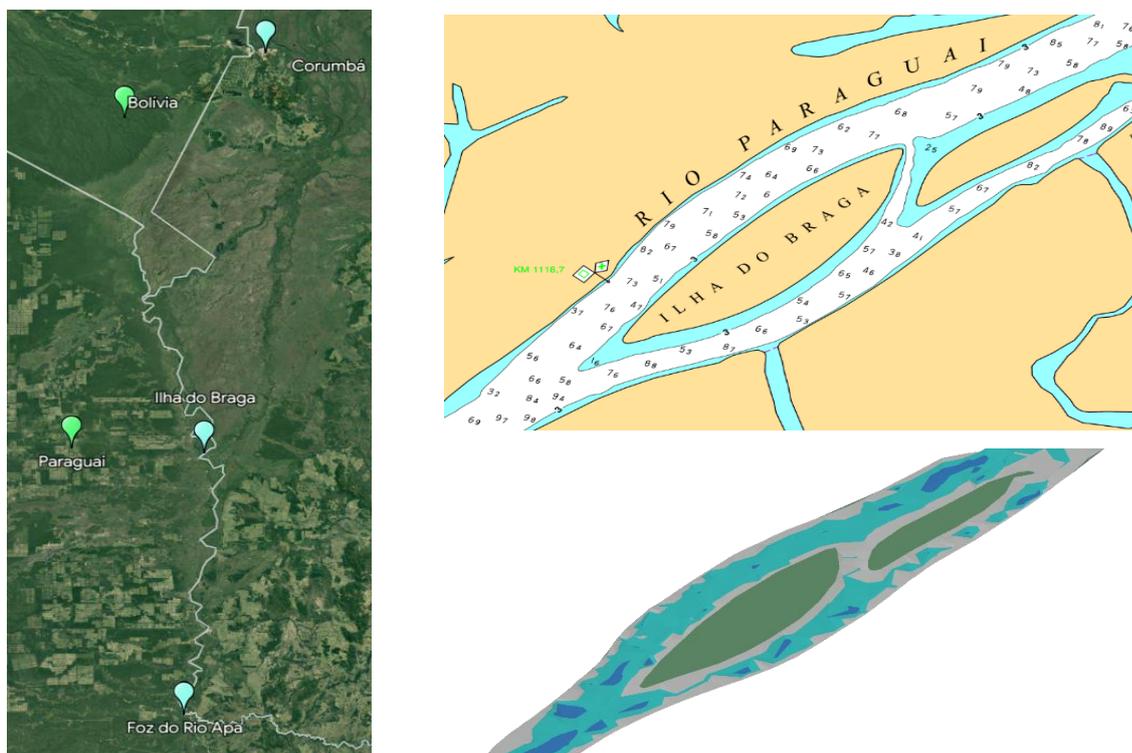


Figura 38 – Ilha do Braga.
Fonte: Autor, 2023.

Essa ilha deve ser contornada pelo lado direito (boreste). Logo acima de sua extremidade superior, há um amplo banco de areia que fica visível durante a época de estiagem, o que estreita o canal para aproximadamente 100 metros de largura (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 49 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 50 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 49 – Dados relativos à dragagem – Ilha do Braga.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
178.996	0,33	-6,169

Tabela 50 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha do Braga.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

DA ILHA DO RABO DE EMA A ILHA SPINELLO

O Passo da Ilha do Rabo de Ema a Ilha Spinello está localizado entre os quilômetros 1350 e 1354 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3355. A Figura 69 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

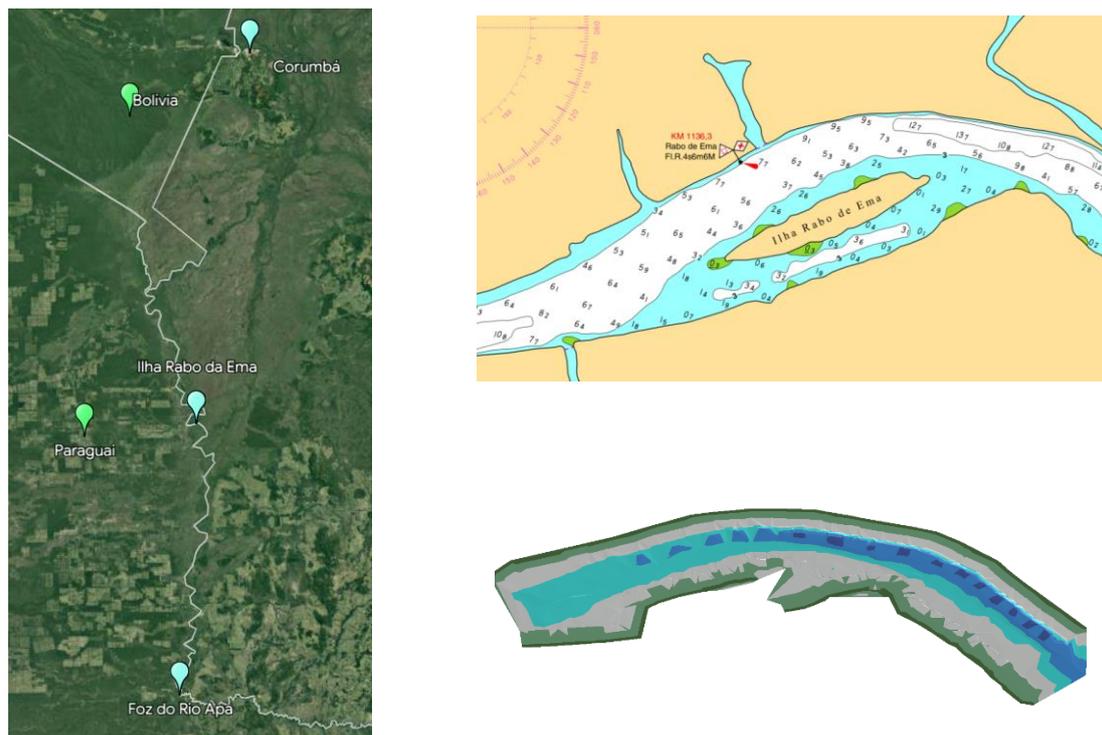


Figura 39 - Passo da Ilha do Rabo de Ema a Ilha Spinello.
Fonte: Autor, 2023.

A principal dificuldade do trecho é a adequação das curvas aos critérios da PIANC. No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura. A Tabela 111 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 112 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 51 – Dados relativos à dragagem. Ilha do Rabo de Ema.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
14.363	0,03	-7,633

Tabela 52 – Dados planialtimétricos do trecho. Ilha do Rabo de Ema.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	4	0	0

PORTO MIRHANOVICH

O passo do Porto Mirhanovich está localizado entre os quilômetros 1139 e 1142 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3344. A Figura 40 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.



Figura 40 – Porto Mirhanovich.

Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto, todos os raios atendem os critérios mínimos. Somada às obras de dragagem recomendam-se obras de proteção de margens devido ao aumento da largura do canal. A Tabela 53 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 54 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 53 – Dados relativos à dragagem – Porto Mirhanovich.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
534.482	0,64	-8,565

Tabela 54 – Dados planialtimétricos do trecho – Porto Mirhanovich.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	0	1

PASSO ALEGRETE INFERIOR

O Passo Alegrete Inferior está localizado entre os quilômetros 1145 e 1152 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3344. A Figura 41 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

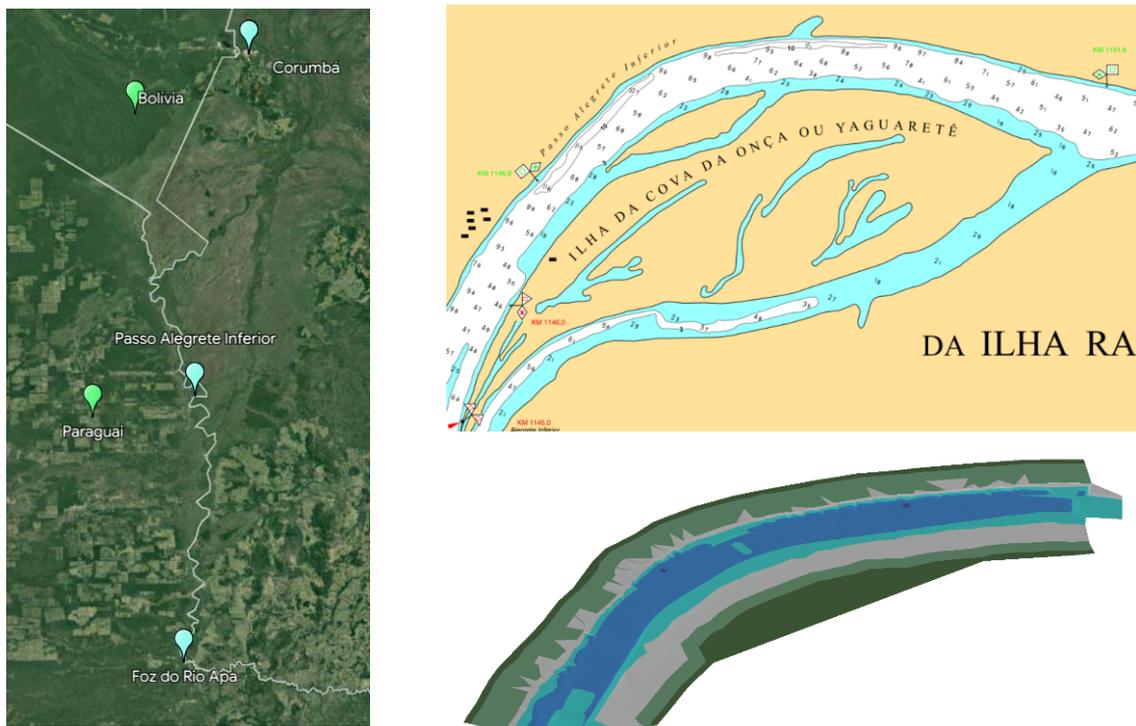


Figura 41 - Passo Alegrete Inferior.
Fonte: Autor, 2023.

Um extenso banco de areia que se torna visível durante as épocas de águas baixas e estende-se de forma paralela à margem esquerda, indo até um pouco além da extremidade inferior da ilha Cova da Onça (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 55 exhibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 56 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 55 – Dados relativos à dragagem – Passo Alegrete Inferior.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
400.719	0,80	-7,932

Tabela 56 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Alegrete Inferior.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

PROXIMIDADES DA FAZENDA NU GUAZU

O passo das Proximidades da Fazenda Nu Guazu está localizado entre os quilômetros 1164 e 1170 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3345. A Figura 42 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

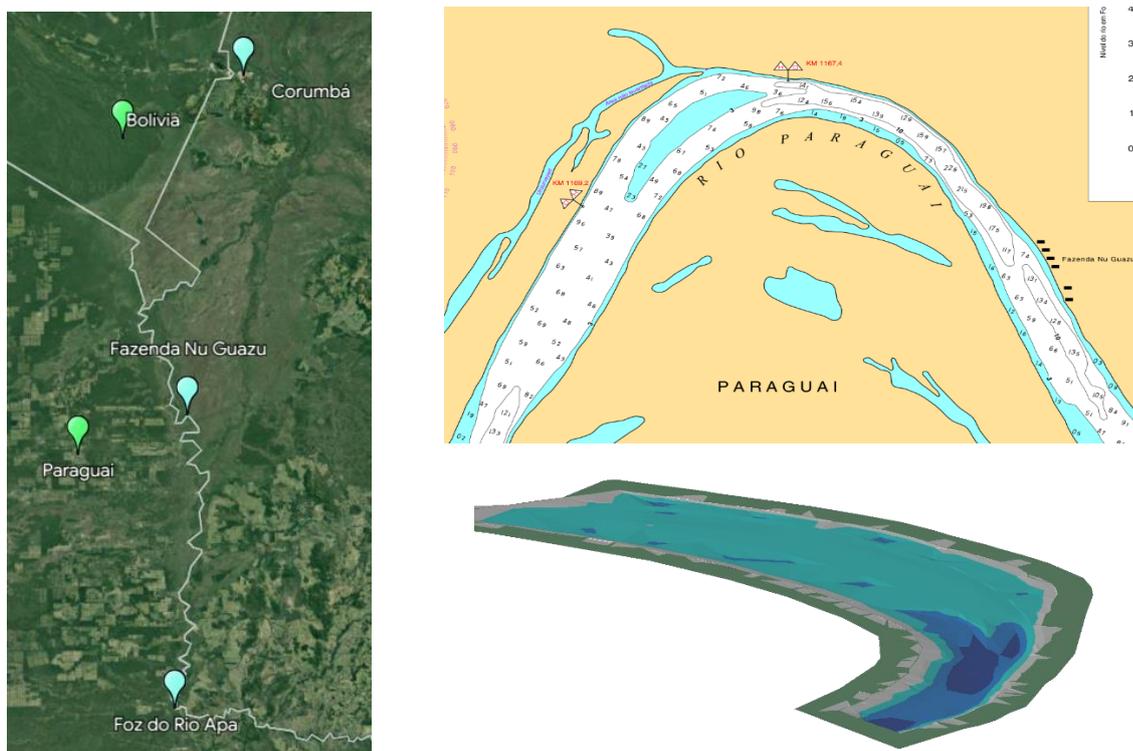


Figura 42 – Proximidades da Fazenda Nu Guazu.
Fonte: Autor, 2023.

No trecho há redução de seção a montante de uma curva bem acentuada. A jusante da curva há uma diminuição das profundidades. A Tabela 57 exhibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 58 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 57 – Dados relativos à dragagem – Fazenda Nu Guazu.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
147.416	0,29	-7,269

Tabela 58 – Dados planialtimétricos do trecho – Fazenda Nu Guazu.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

PASSO PERIQUITOS

O Passo Periquitos está localizado entre os quilômetros 1172 e 1179 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3345. A Figura 43 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

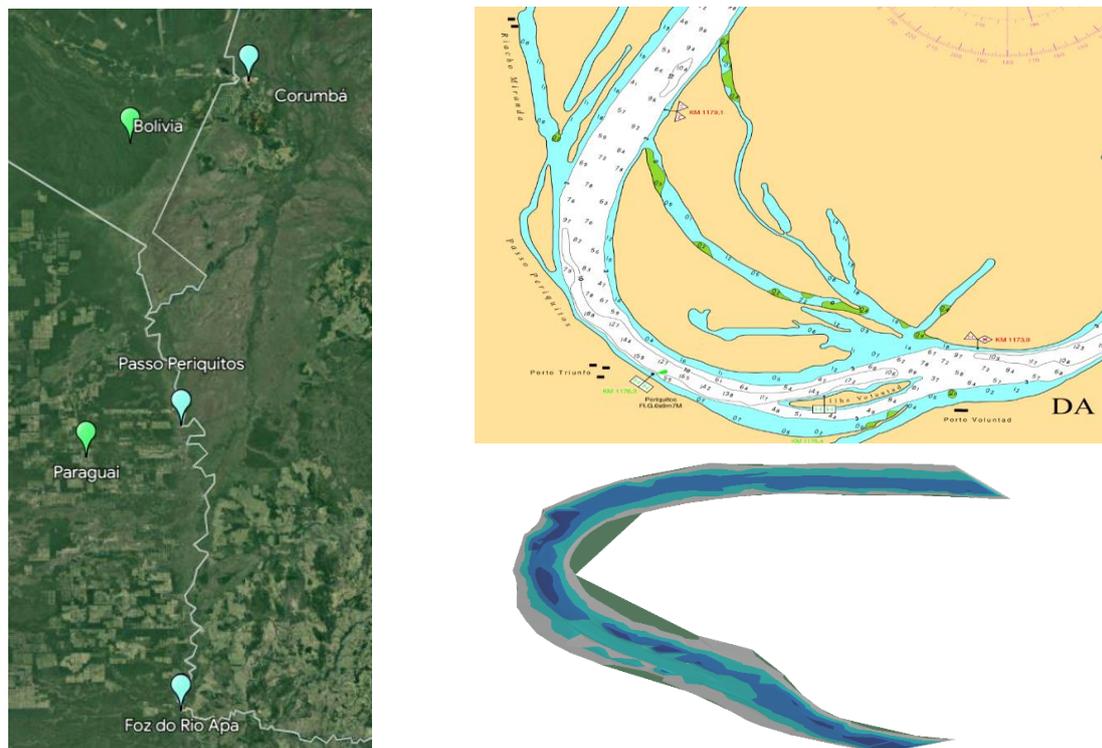


Figura 43 - Passo Periquitos.
Fonte: Autor, 2023.

É fundamental adotar uma navegação extremamente cuidadosa nessa região, principalmente durante as cheias, quando as duas margens ficam completamente inundadas, tornando difícil para o marinheiro manter-se no leito do rio sem encalhar nas margens alagadas (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 59 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 60 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 59 – Dados relativos à dragagem – Passo Periquitos.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
281.768	0,56	-7,570

Tabela 60 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Periquitos.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

PORTO ESPERANZA

O passo do Porto Esperanza está localizado entre os quilômetros 1219 e 1222 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3348. A Figura 44 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.



Figura 44 – Porto Esperanza.
Fonte: Autor, 2023.

Navegação é de maior dificuldade ao se passar pela ilha indicada, sendo necessária a navegação pela margem esquerda do rio, um pouco antes do Porto Esperanza. A Tabela 61 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 62 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 61 – Dados relativos à dragagem – Porto Esperanza.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
203.405	0,42	-6,715

Tabela 62 – Dados planialtimétricos do trecho – Porto Esperanza.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	0	0

PASSO CURURU

O Passo Cururu está localizado entre os quilômetros 1227 e 1233 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3348. A Figura 45 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

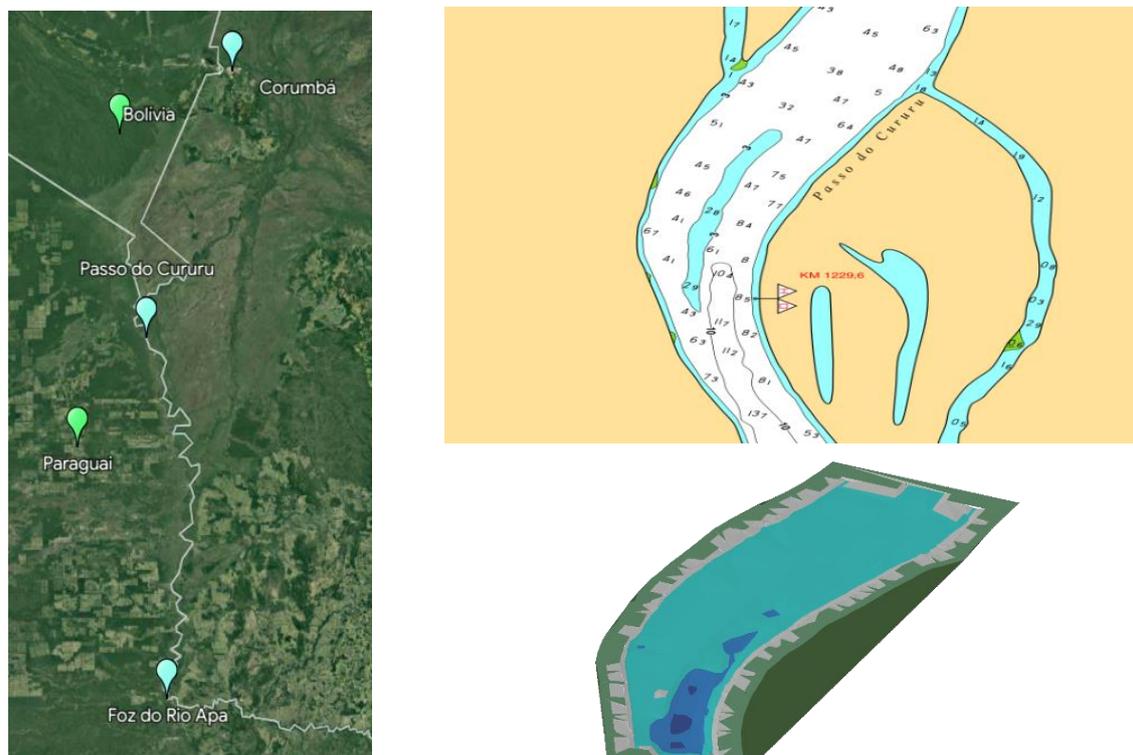


Figura 45 - Passo Cururu.

Fonte: Autor, 2023.

Trecho com bancos elevados no eixo do canal navegável. A Tabela 63 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 64 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 63 – Dados relativos à dragagem – Passo Cururu.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
65.417	0,24	-8,535

Tabela 64 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Cururu.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

BAÍA NEGRA

O Passo Baía Negra está localizado entre os quilômetros 1247 e 1255 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3349. A Figura 46 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

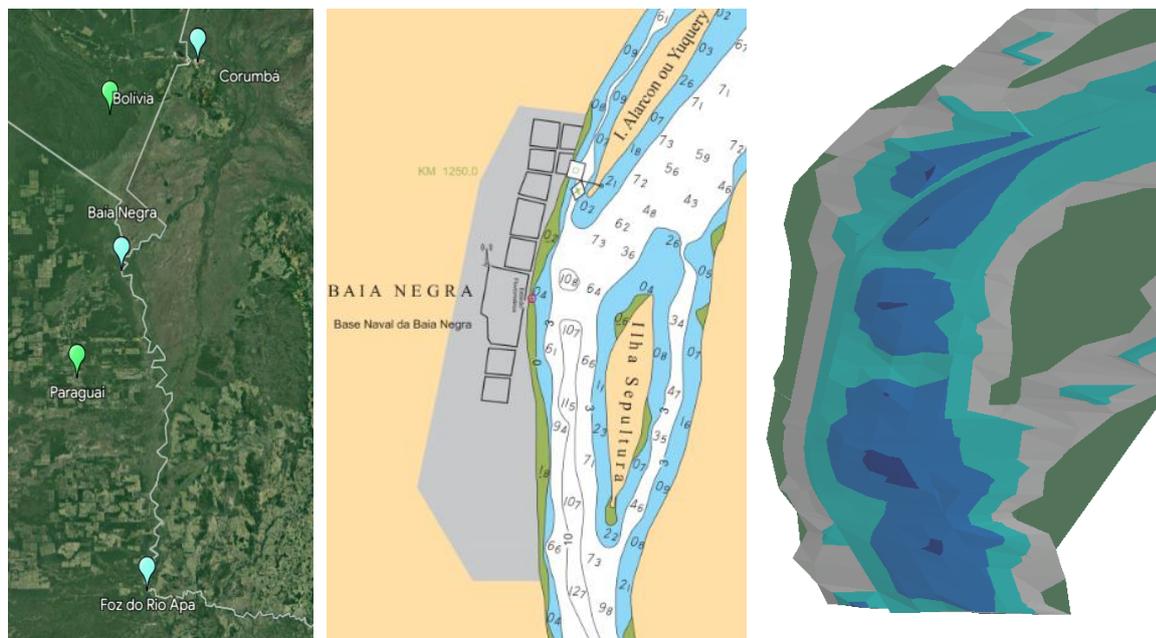


Figura 46 – Baía Negra.
Fonte: Autor, 2023.

Trecho com largura reduzida próxima a base naval da Baía Negra. A Tabela 65 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 66 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 65 – Dados relativos à dragagem – Baía Negra.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
186.212	0,37	-7,054

Tabela 66 – Dados planialtimétricos do trecho – Baía Negra.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	0	0

RIO NEGRO

O Passo Rio Negro está localizado entre os quilômetros 1262 e 1266 e as suas informações batimétricas estão nas Cartas Náuticas da Marinha números 3349 e 3350. A Figura 47 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

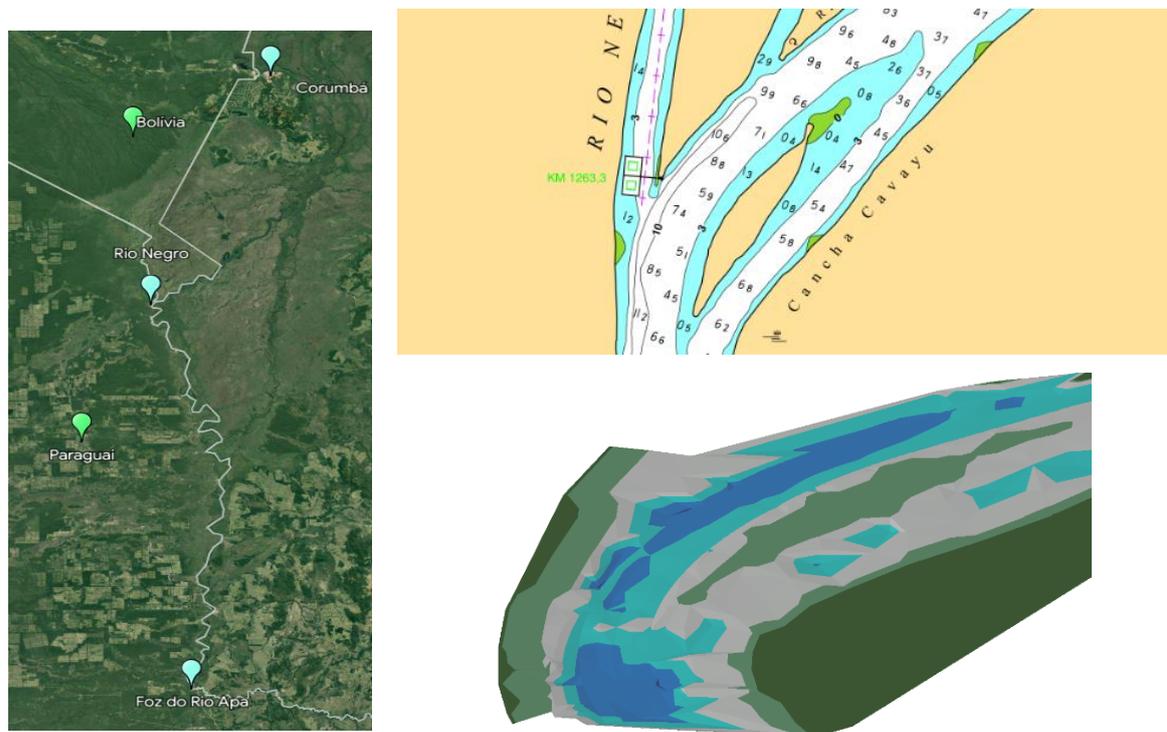


Figura 47 – Rio Negro.
Fonte: Autor, 2023.

O Rio Negro é um afluente localizado à margem direita do Rio Paraguai, com um percurso que se estende por mais de 400 quilômetros, desempenha um papel importante como marco na fronteira entre a Bolívia e o Paraguai. Na foz desse rio, encontra-se o ponto de encontro das fronteiras do Brasil, Bolívia e Paraguai (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 67 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 68 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 67 – Dados relativos à dragagem – Rio Negro.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
162.647	0,48	-6,766

Tabela 68 – Dados planialtimétricos do trecho – Rio Negro.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	1	0

PROXIMIDADES DA ISLA DEL SAUCE

O Passo das Proximidades da Isla del Sauce está localizado entre os quilômetros 1267 e 1272 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3350. A Figura 48 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.



Figura 48 – Proximidades da Isla del Sauce.
Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto os raios mínimos atendem os critérios. Ressalta-se a proximidade do canal com a Ilha da Ferradura, o que pode acarretar ataque das margens por meio das barcaças. A Tabela 69 exhibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 70 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 69 – Dados relativos à dragagem – Isla Del Sauce.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
58.369	0,35	-6,394

Tabela 70 – Dados planialtimétricos do trecho – Isla Del Sauce.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	5	0	0

PROXIMIDADES DA ILHA SANTA ROSA

O passo das Proximidades da Ilha Santa Rosa está localizado entre os quilômetros 1272 e 1276 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3350. A Figura 49 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

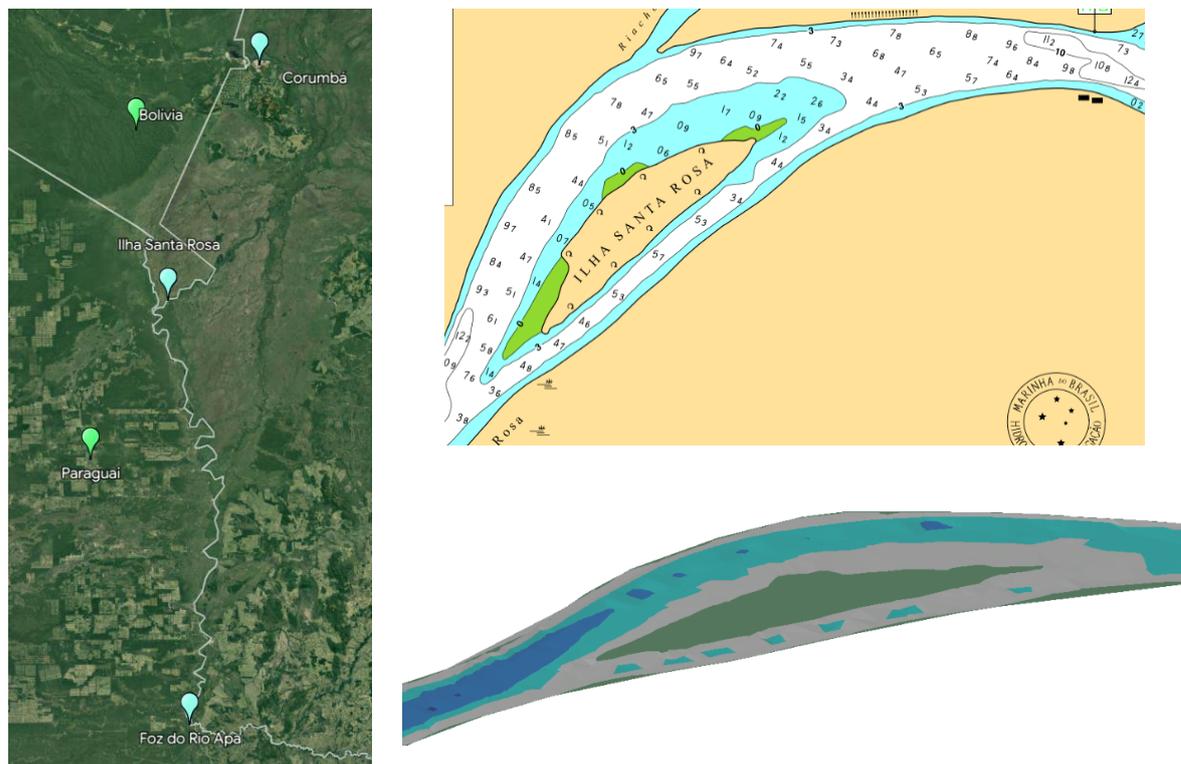


Figura 49 – Proximidades da Ilha Santa Rosa.
Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto os raios mínimos atendem os critérios. Ressalta-se a proximidade do canal com a Ilha da Ferradura, o que pode acarretar ataque das margens por meio das barcaças. A Tabela 71 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 72 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 71 – Dados relativos à dragagem – Ilha Santa Rosa.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
93.496	0,13	-5,673

Tabela 72 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha Santa Rosa.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	4	0	0

PROXIMIDADES DA ILHA SANTA FÉ

O passo das Proximidades da Ilha Santa Fé está localizado entre os quilômetros 1282 e 1287 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3351. A Figura 50 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

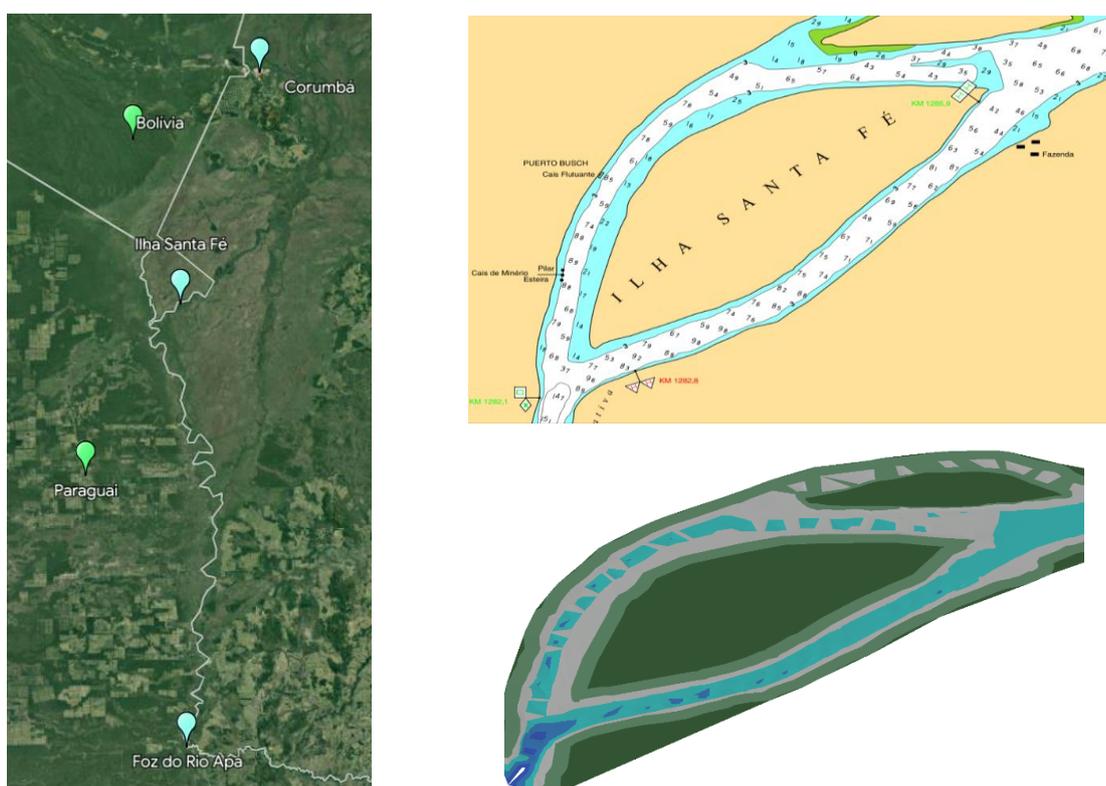


Figura 50 – Proximidades da Ilha Santa Fé.
Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto os raios mínimos atendem os critérios. Ressalta-se a proximidade do canal com a Ilha da Ferradura, o que pode acarretar ataque das margens por meio das barcaças. A Tabela 73 exhibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 74 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 73 – Dados relativos à dragagem – Ilha Santa Fé.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
222.241	0,11	-5,435

Tabela 74 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha Santa Fé.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

PASSO M'BIGUÁ

O Passo M'Biguá está localizado entre os quilômetros 1288 e 1291 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3351. A Figura 51 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

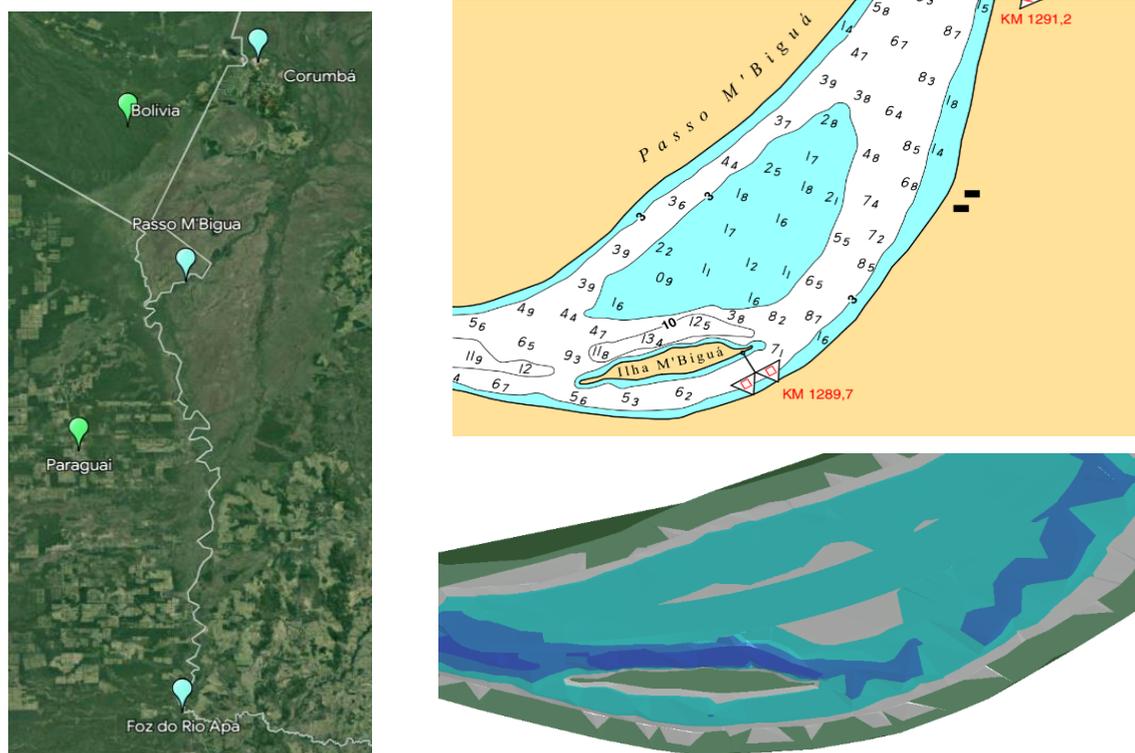


Figura 51 - Passo M'Biguá.
Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto os raios mínimos atendem os critérios. Ressalta-se a proximidade do canal com a Ilha da Ferradura, o que pode acarretar ataque das margens por meio das barcaças. A Tabela 75 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 76 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 75 – Dados relativos à dragagem – Passo M'Biguá.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
67.603	0,22	-4,898

Tabela 76 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo M'Biguá.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	1	0	0

PASSO REBOJO GRANDE

O Passo Rebojo Grande está localizado entre os quilômetros 1299 e 1302 e as suas informações batimétricas estão nas Cartas Náuticas da Marinha números 3351 e 3352. A Figura 52 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

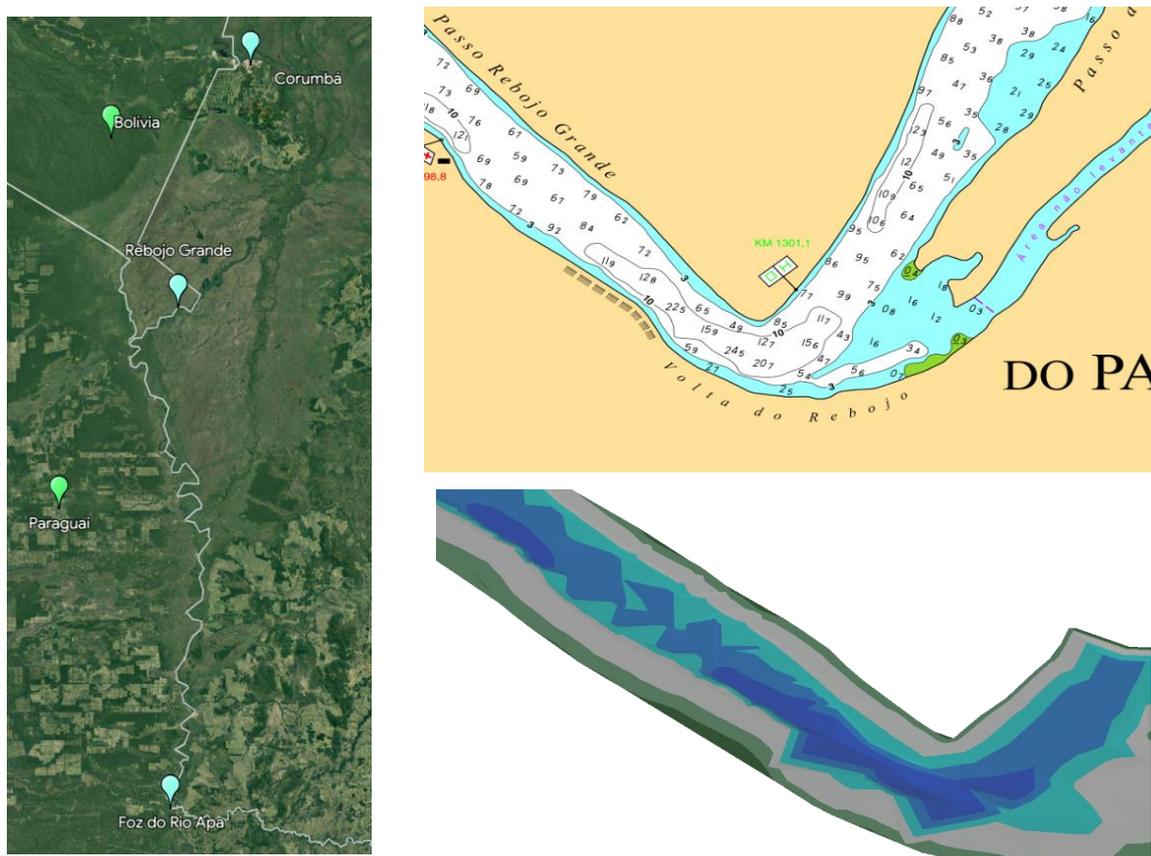


Figura 52 - Passo Rebojo Grande.
Fonte: Autor, 2023.

entretanto os raios mínimos atendem os critérios. Ressalta-se a proximidade do canal com a Ilha da Ferradura, o que pode acarretar ataque das margens por meio das barcaças. A Tabela 77 exhibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 78 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 77 – Dados relativos à dragagem – Passo Rebojo Grande.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
244.121	0,69	-4,430

Tabela 78 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Rebojo Grande.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	1	0	1

PASSO PARATUDAL

O Passo Paratudal está localizado entre os quilômetros 1326 e 1329 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3353. A Figura 53 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

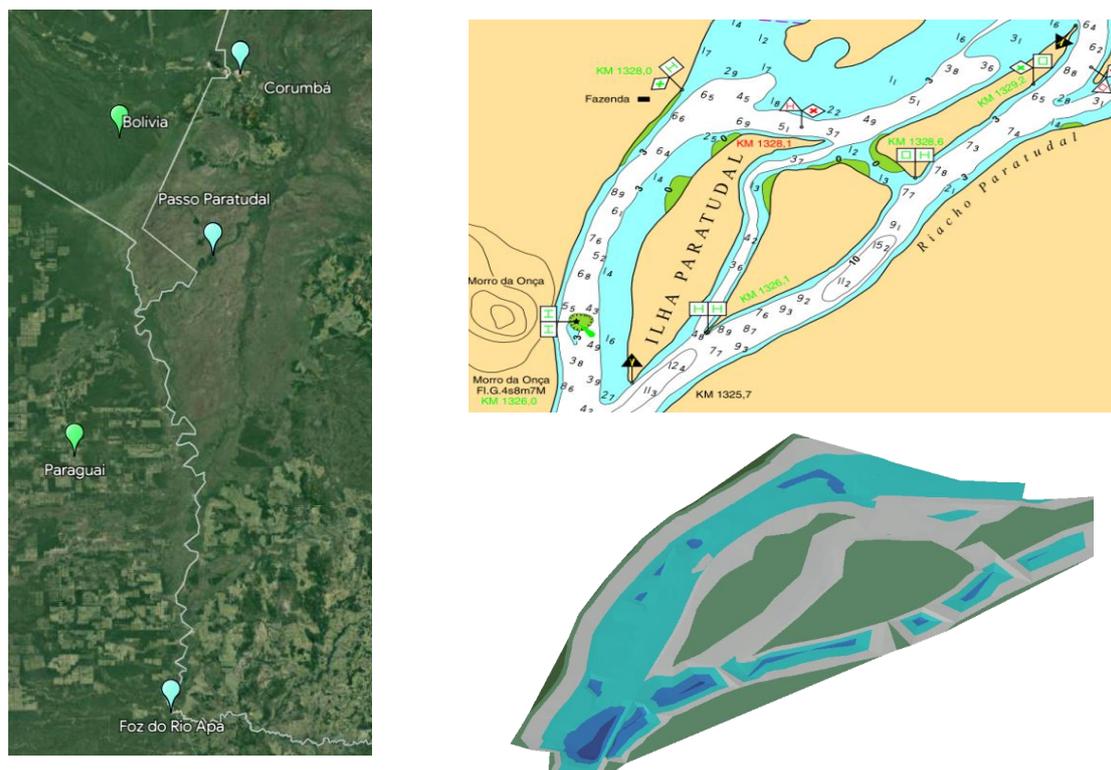


Figura 53 - Passo Paratudal.
Fonte: Autor, 2023.

As dimensões do banco ao lado da ilha Paratudal podem se modificar, resultando no estreitamento do canal entre esse banco e as rochas da margem direita (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 79 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 80 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 79 – Dados relativos à dragagem – Passo Paratudal.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
346.179	0,50	-5,013

Tabela 80 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Paratudal.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	1	1

PROXIMIDADES FAZENDA PRIMAVERA

O passo das Proximidades da Fazenda Primavera está localizado entre os quilômetros 1316 e 1321 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3353. A Figura 54 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

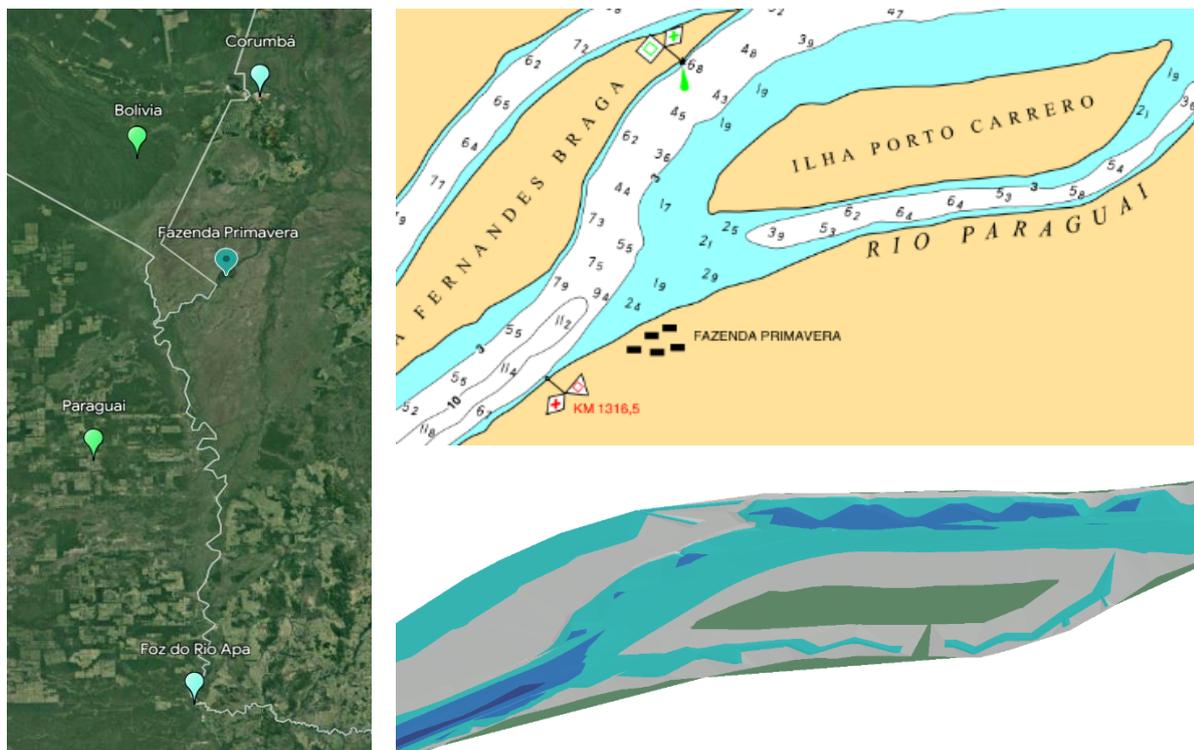


Figura 54 – Proximidades Fazenda Primavera.

Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto os raios mínimos atendem os critérios. Ressalta-se a proximidade do canal com a Ilha da Ferradura, o que pode acarretar ataque das margens por meio das barcaças. A Tabela 81 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 82 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 81 – Dados relativos à dragagem – Fazenda Primavera.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
139.516	0,32	-6,387

Tabela 82 – Dados planialtimétricos do trecho – Fazenda Primavera.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	1	3

PASSO PIUVAS INFERIOR

O Passo Piuvas Inferior está localizado entre os quilômetros 1328 e 1321 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3354. A Figura 55 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

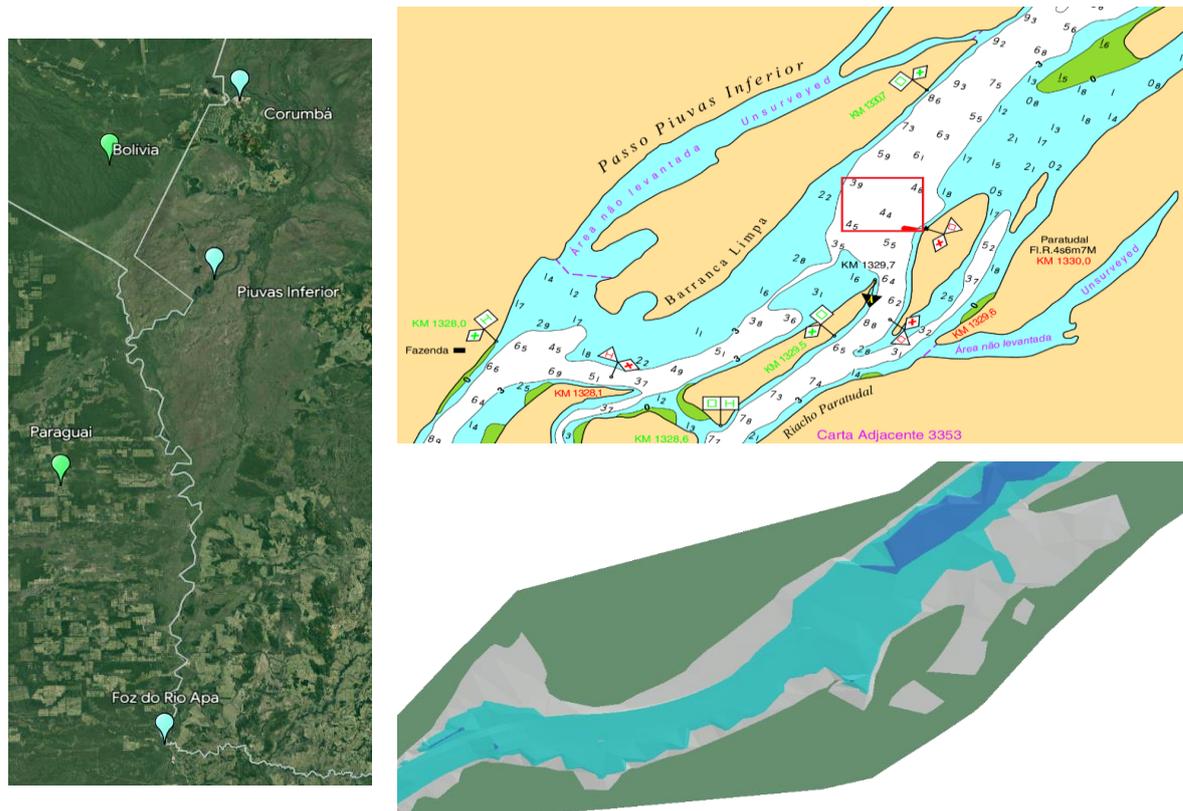


Figura 55 - Passo Piuvas Inferior.
Fonte: Autor, 2023.

Passagem muito rasa, apresentando grande restrição à navegação em épocas de águas baixas (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 83 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 84 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 83 – Dados relativos à dragagem – Passo Piuvas Inferior.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
48.642	0,28	-4,472

Tabela 84 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Piuvas Inferior.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	0	0

PASSO VOLTA DA FERRADURA

O Passo Volta da Ferradura está localizado entre os quilômetros 1350 e 1354 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3355. A Figura 56 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

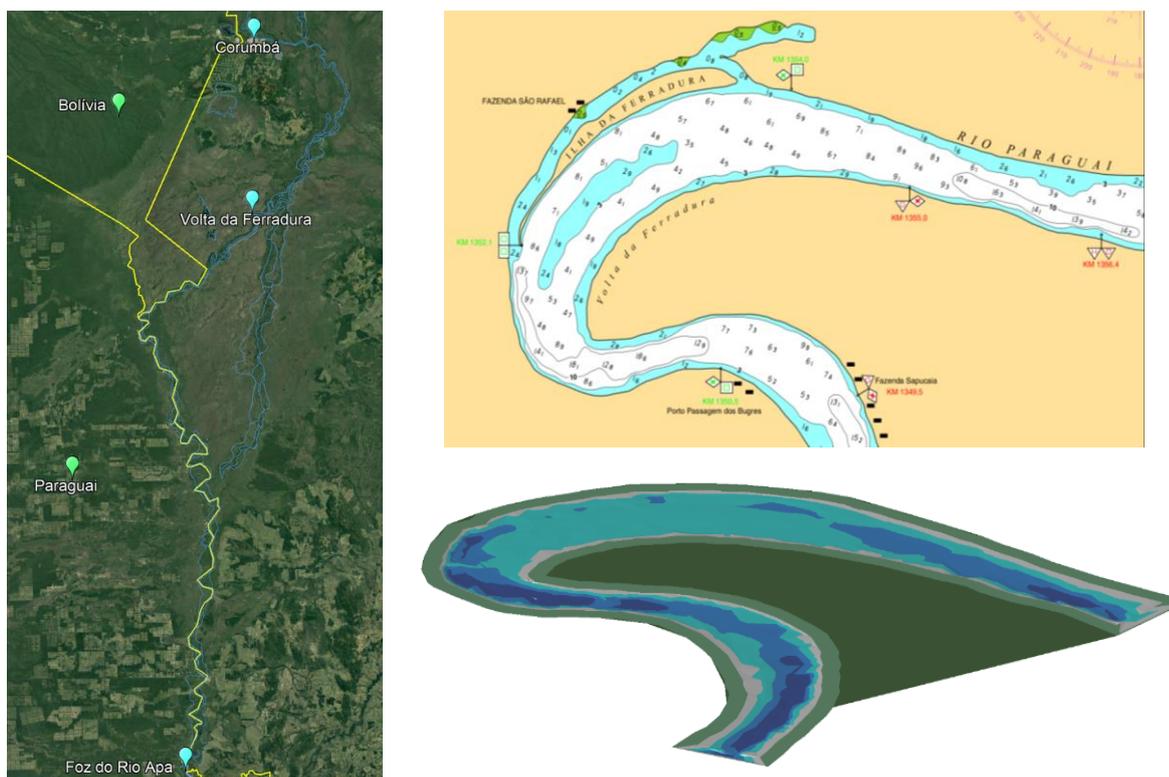


Figura 56 - Passo Volta da Ferradura.
Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto os raios mínimos atendem os critérios. Ressalta-se a proximidade do canal com a Ilha da Ferradura, o que pode acarretar ataque das margens por meio das barcaças. A Tabela 85 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 86 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 85 – Dados relativos à dragagem – Passo Volta da Ferradura.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
198.130	0,24	-8,535

Tabela 86 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Volta da Ferradura.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	2

PROXIMIDADES DA ILHA DO BUGIO

O Passo das Proximidades da Ilha do Bugio está localizado entre os quilômetros 1374 e 1378 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3356. A Figura 58 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

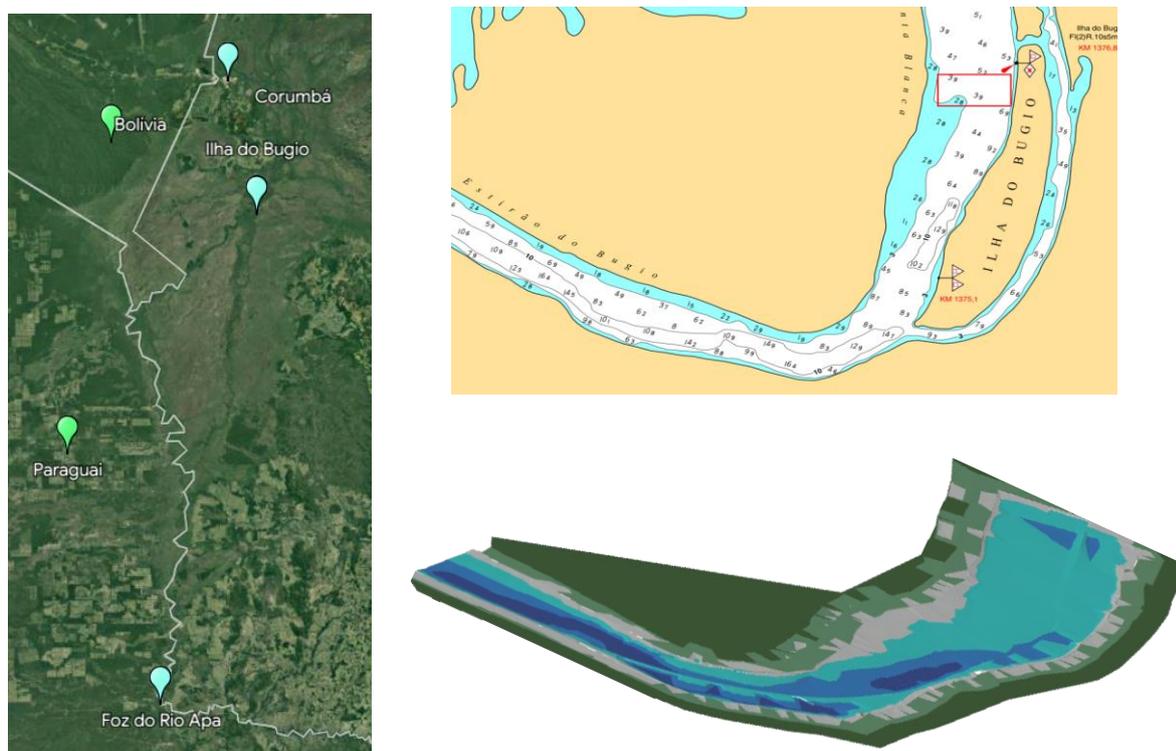


Figura 58 – Proximidades da Ilha do Bugio.
Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto os raios mínimos atendem os critérios. Ressalta-se a proximidade do canal com a Ilha da Ferradura, o que pode acarretar ataque das margens por meio das barcaças. A Tabela 89 exhibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 90 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 89 – Dados relativos à dragagem – Ilha do Bugio.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
118.951	0,18	-7,530

Tabela 90 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha do Bugio.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

PASSO DO JACARÉ E PONTE DO RIO BRANCO

O Passo do Jacaré e Ponte do Rio Branco está localizado entre os quilômetros 1385 e 1389 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3357. A Figura 59 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

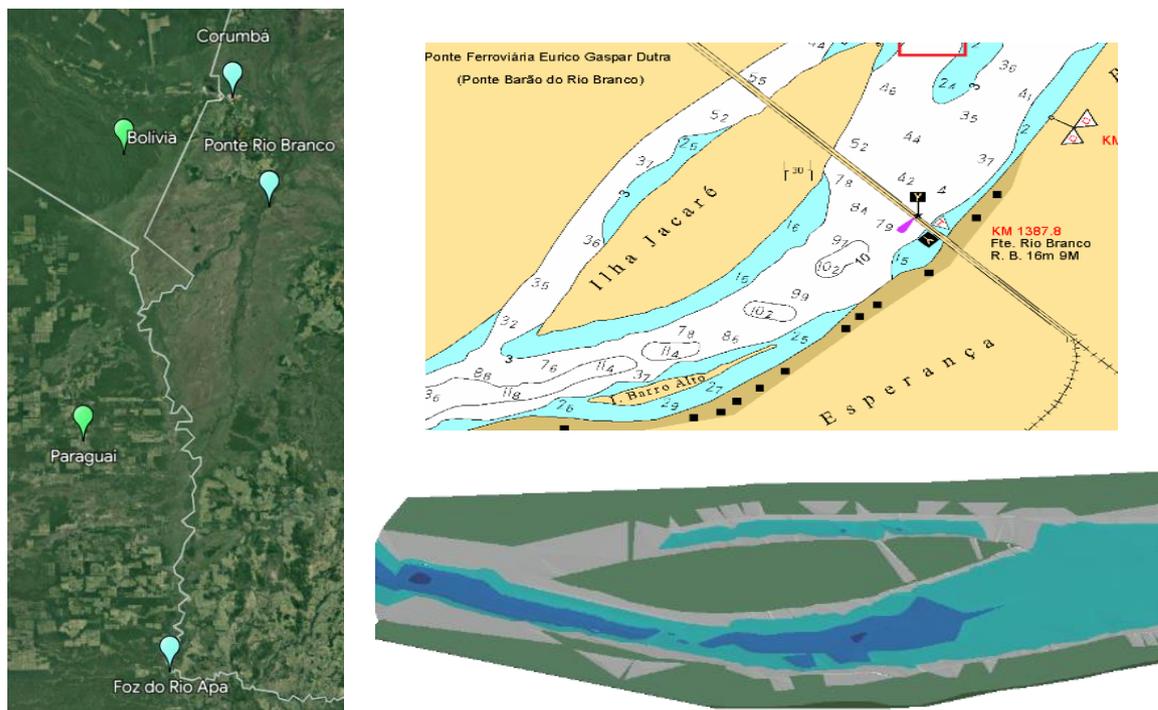


Figura 59 - Passo do Jacaré e Ponte do Rio Branco.
Fonte: Autor, 2023.

O Passo do Jacaré tem navegação restringida, em épocas de estiagem, devido às pequenas profundidades. A Ponte do Rio Branco é uma ponte ferroviária que atravessa o Rio Paraguai. A altura da ponte no vão central, acima do nível mais alto que o rio atinge na região, é de 14 metros (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 91 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 92 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 91 – Dados relativos à dragagem – Passo do Jacaré e Ponte do Rio Branco.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
223.643	1,02	-7,229

Tabela 92 – Dados planialtimétricos do trecho Passo do Jacaré e Ponte do Rio Branco.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	4	0	0

PONTE NOSSA SENHORA DO PANTANAL

O passo da Ponte Nossa Senhora do Pantanal está localizado no quilômetro 1402 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3357. A Figura 60 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

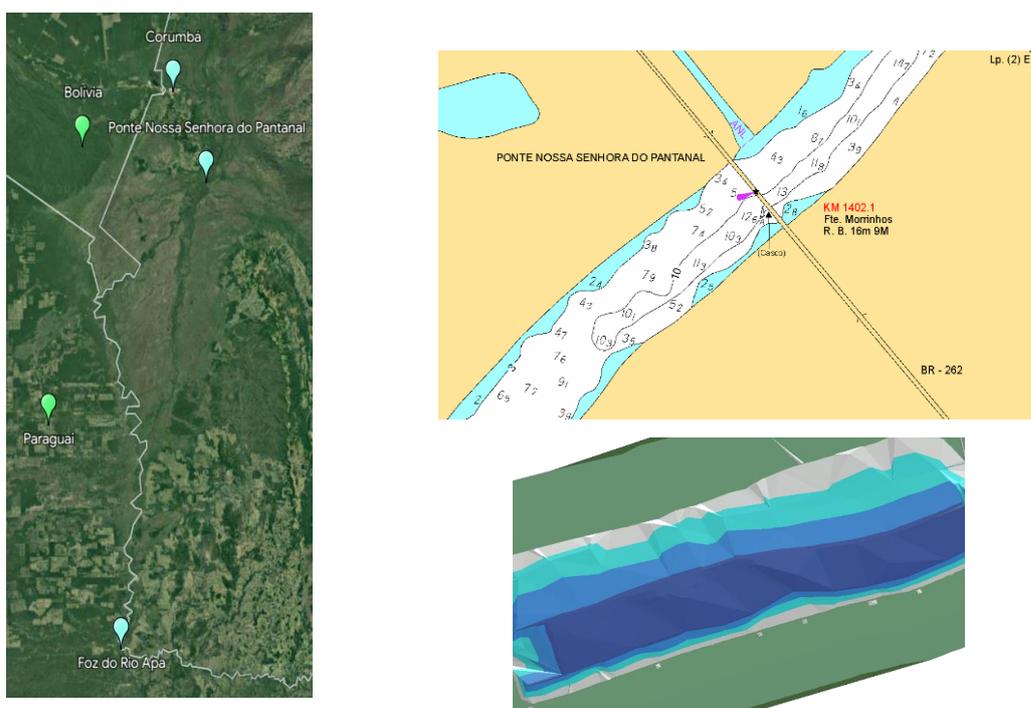


Figura 60 – Ponte Nossa Senhora do Pantanal
Fonte: Autor, 2023.

A Ponte Nossa Senhora do Pantanal tem uma largura de 110 metros e alcança uma altura de 16 metros no seu vão central. Para permitir a passagem de comboios sob a ponte, há uma restrição de até 4 embarcações, com dimensões máximas de 160 metros de comprimento, incluindo o empurrador. (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 93 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 94 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 93 – Dados relativos à dragagem – Ponte Nossa Senhora do Pantanal.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
31.909	0,15	-8,105

Tabela 94 – Dados planialtimétricos do trecho – Ponte Nossa Senhora do Pantanal.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	0	0	0

PASSO CARAGUATÁ

O Passo Caraguatá está localizado entre os quilômetros 1417 e 1419 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3359. A Figura 61 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

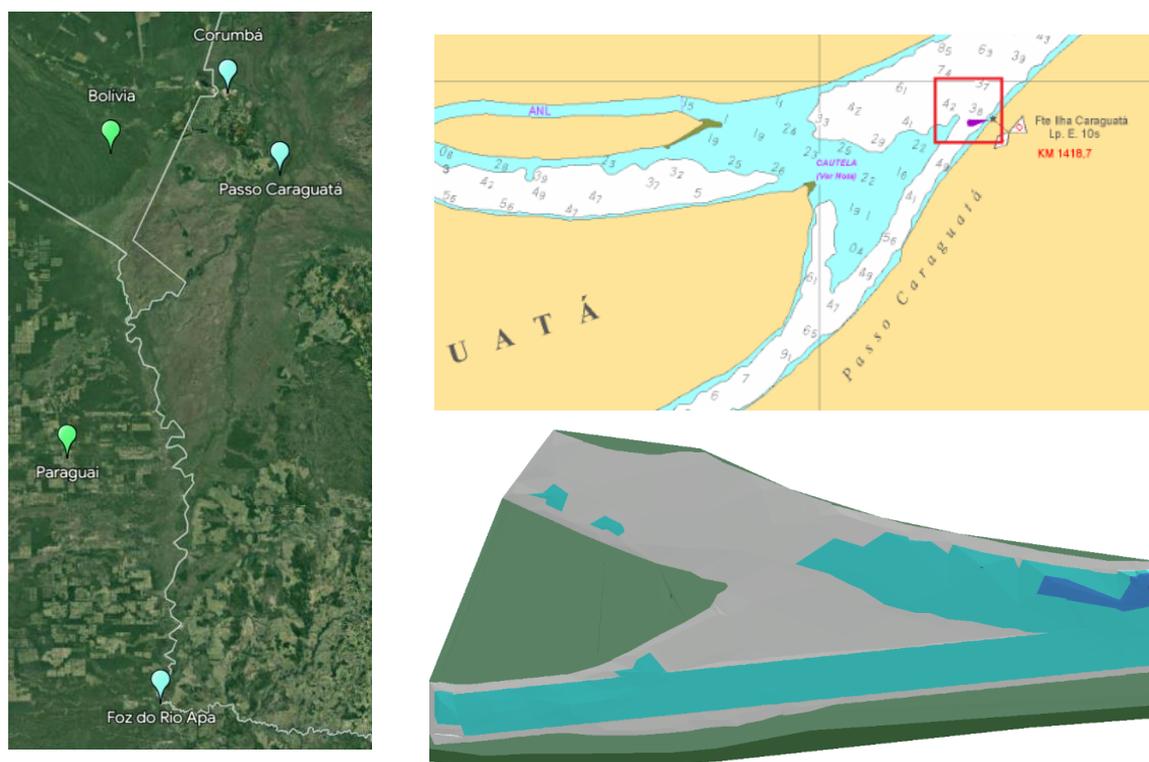


Figura 61 - Passo Caraguatá.
Fonte: Autor, 2023.

Trecho muito raso, restringindo a navegação em época de vazante (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 95 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 96 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 95 – Dados relativos à dragagem – Passo Caraguatá.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
379.805	0,97	-3,669

Tabela 96 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Caraguatá.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	0	0	0

PROXIMIDADES DA ILHA CAMBARÁ FERRADO

O passo das Proximidades da Ilha Cambará Ferrado está localizado entre os quilômetros 1424 e 1428 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3359. A Figura 62 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

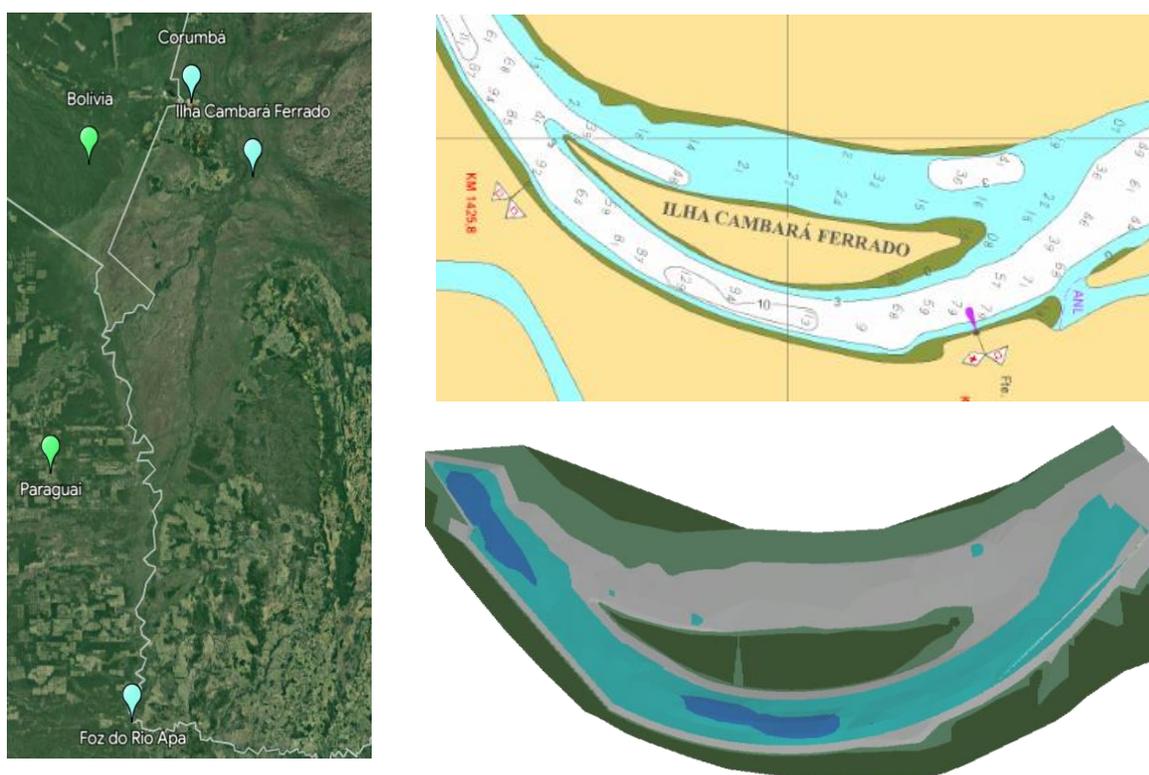


Figura 62 – Proximidades da Ilha Cambará Ferrado.
Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto os raios mínimos atendem os critérios. Ressalta-se a proximidade do canal com a Ilha da Ferradura, o que pode acarretar ataque das margens por meio das barcaças. A Tabela 97 exhibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 98 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 97 – Dados relativos à dragagem – Ilha Cambará Ferrado.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
704.333	1,09	-4,233

Tabela 98 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha Cambará Ferrado.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	1	0	0

PASSO ABOBRAL

O Passo Abobral está localizado entre os quilômetros 1434 e 1438 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3360. A Figura 63 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

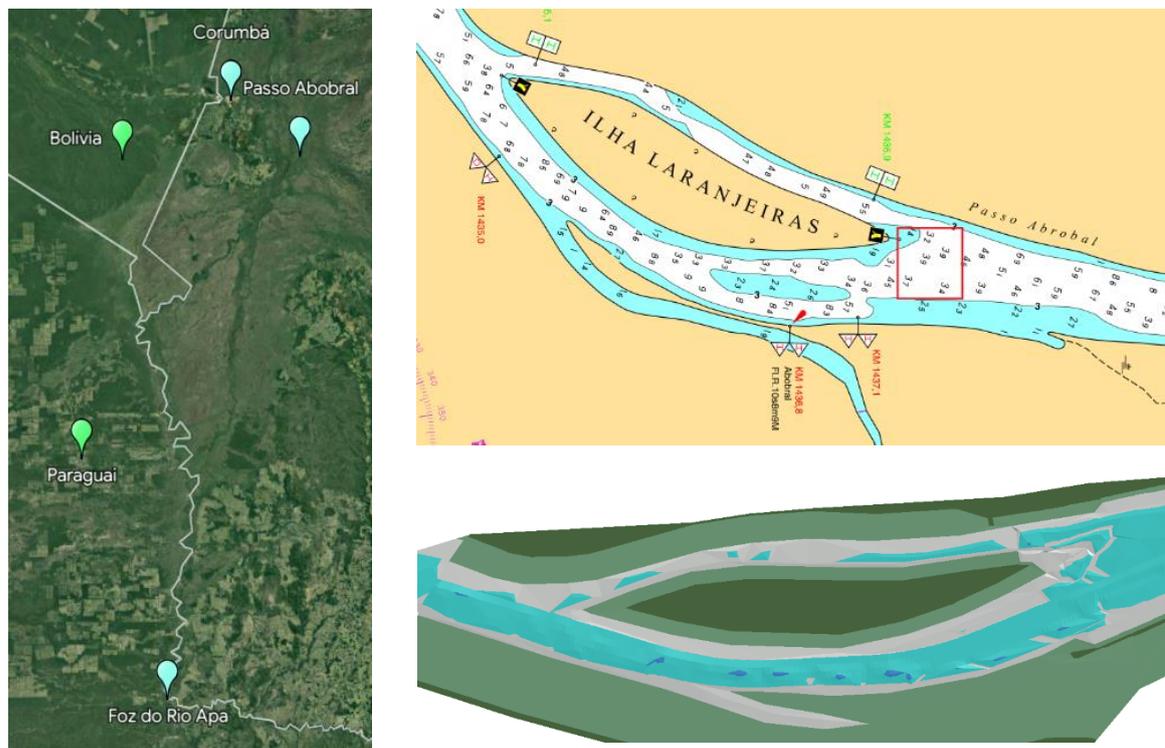


Figura 63 - Passo Abobral.
Fonte: Autor, 2023.

Passagem que requer cuidado devido às baixas profundidades e largura reduzida próxima a Ilha Laranjeiras. A Tabela 99 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 100 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 99 – Dados relativos à dragagem – Passo Abobral.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
148.950	0,24	-4,981

Tabela 100 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Abobral.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	0	0

PROXIMIDADES DO PORTO DA MANGA

O passo das Proximidades do Porto da Manga está localizado entre os quilômetros 1440 e 1442 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3361. A Figura 64 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

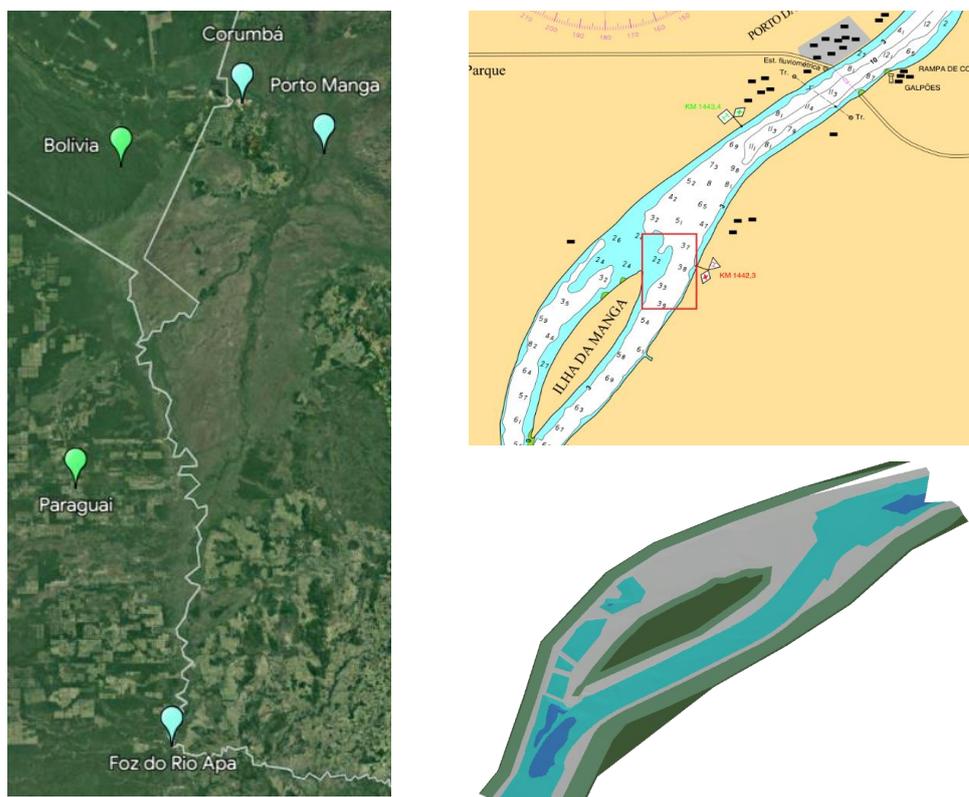


Figura 64 – Proximidades do Porto da Manga.
Fonte: Autor, 2023.

Trecho com baixas profundidades na ponta da Ilha da Manga na margem esquerda do rio. A Tabela 101 exhibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 102 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 101 – Dados relativos à dragagem – Porto da Manga.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
194.575	0,31	-4,412

Tabela 102 – Dados planialtimétricos do trecho – Porto da Manga.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	0	0

PROXIMIDADES DO RIO TAQUARI

O passo das Proximidades do Rio Taquari está localizado entre os quilômetros 1443 e 1448 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3361. A Figura 65 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

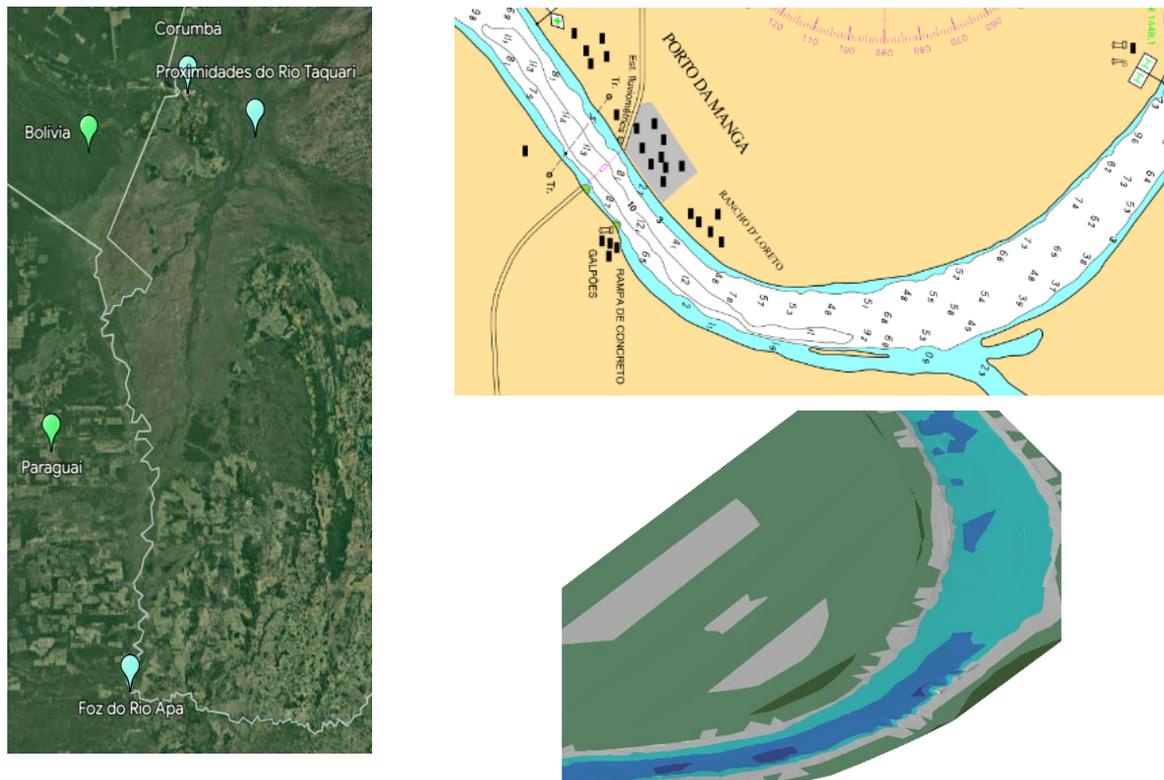


Figura 65 – Proximidades do Rio Taquari.
Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto os raios mínimos atendem os critérios. Ressalta-se a proximidade do canal com a Ilha da Ferradura, o que pode acarretar ataque das margens por meio das barcaças. A Tabela 103 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 104 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 103 – Dados relativos à dragagem – Proximidades do Rio Taquari.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
35.673	0,48	-6,672

Tabela 104 – Dados planialtimétricos do trecho – Proximidades do Rio Taquari.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	1	0	0

PASSO MUCUNÃ

O Passo Mucunã está localizado entre os quilômetros 1452 e 1455 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3361. A Figura 66 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.



Figura 66 - Passo Mucunã.
Fonte: Autor, 2023.

Passagem de boa profundidade, mas com pedras que tornam o canal navegável estreito (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 105 exibe os dados referentes ao serviços de dragagem, enquanto a Tabela 106 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 105 – Dados relativos à dragagem – Passo Mucunã.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
50.893	0,17	-5,144

Tabela 106 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Mucunã.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	1	0	0

PROXIMIDADES DA ILHA TIRA CATINGA

O passo das Proximidades da Ilha Tira Catinga está localizado entre os quilômetros 1456 e 1459 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3362. A Figura 67 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

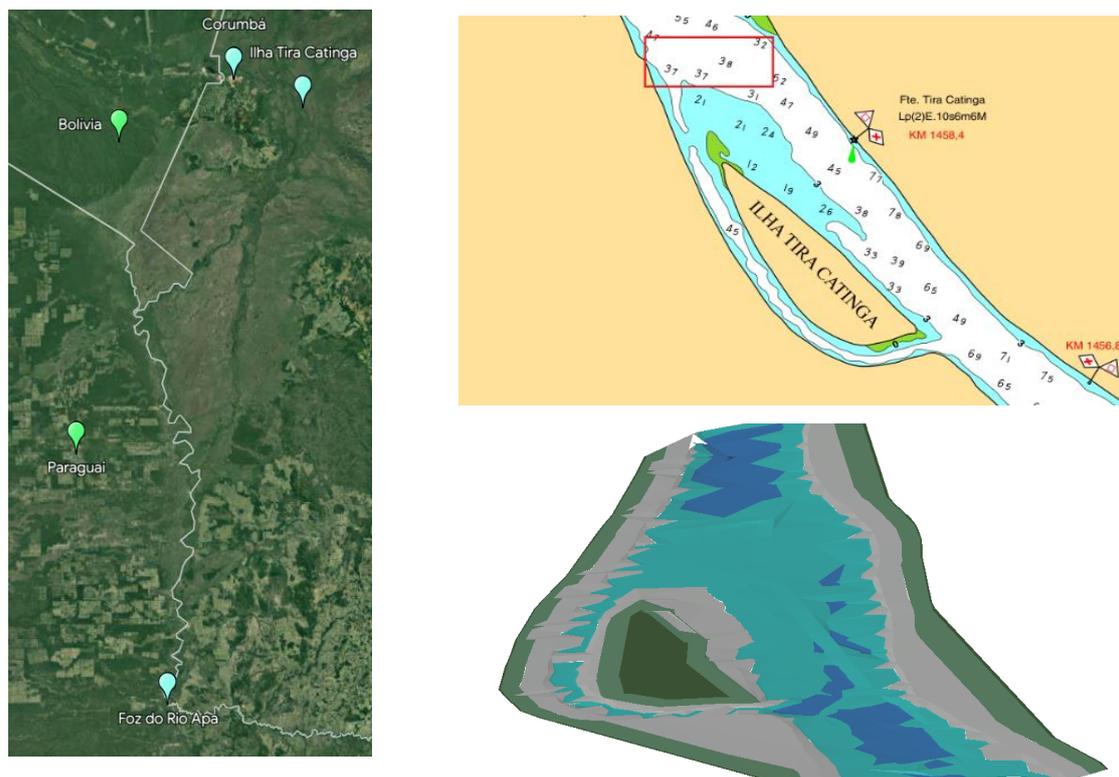


Figura 67 – Proximidades da Ilha Tira Catinga.

Fonte: Autor, 2023.

No trecho não foi possível adequar todas as curvas ao critério A para raio de curvatura, entretanto os raios mínimos atendem os critérios. Ressalta-se a proximidade do canal com a Ilha da Ferradura, o que pode acarretar ataque das margens por meio das barcaças. A Tabela 107 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 108 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 107 – Dados relativos à dragagem – Ilha Tira Catinga.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
36.767	0,08	-6,232

Tabela 108 – Dados planialtimétricos do trecho – Ilha Tira Catinga.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	2	0	0

VOLTA MIGUEL HENRIQUE

O Passo Volta Miguel Henrique está localizado entre os quilômetros 1467 e 1471 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3362. A Figura 68 exibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

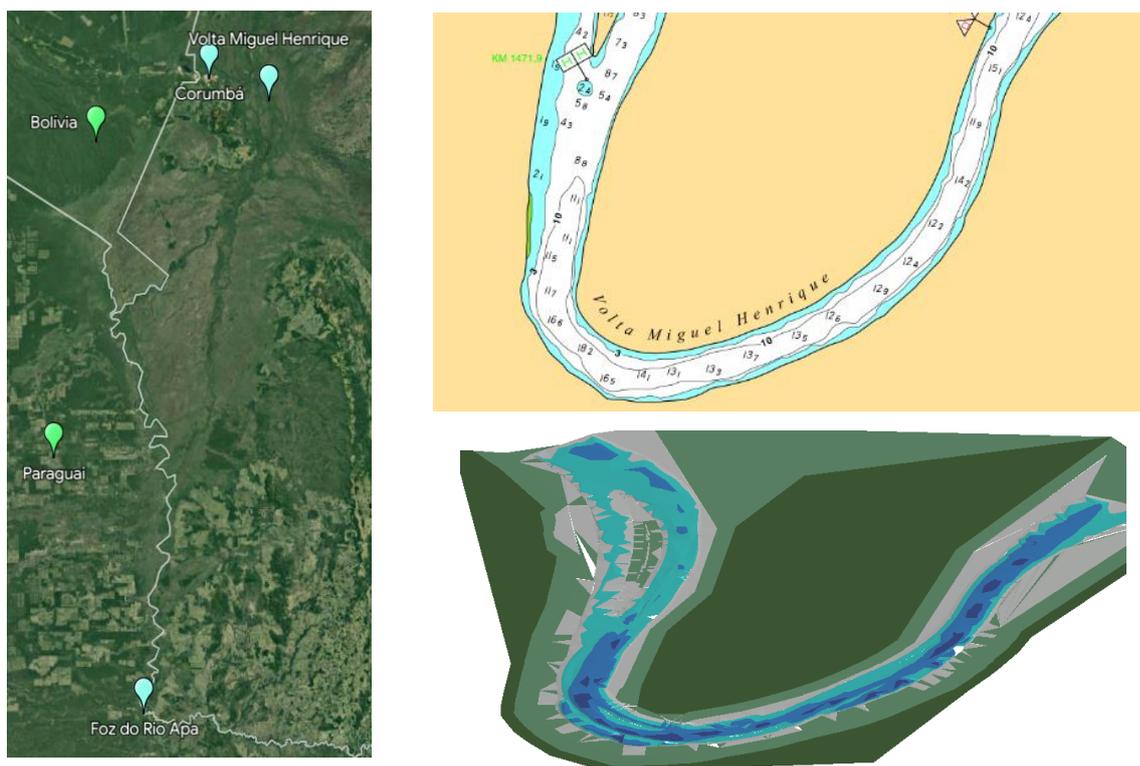


Figura 68 – Volta Miguel Henrique.
Fonte: Autor, 2023.

Nesse ponto da navegação, a recomendação é seguir ao longo da costa da ilha Miguel Henrique, mantendo-a à esquerda (lado bombordo), de forma a evitar as rochas que estão próximas à margem esquerda do rio (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 109 exibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 110 exibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 109 – Dados relativos à dragagem – Volta Miguel Henrique

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
1.092.585	0,78	-7,071

Tabela 110 – Dados planialtimétricos do trecho – Volta Miguel Henrique

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	3	2	1

PASSO DE SANTANA OU JATOBÁ

O Passo de Santana ou Jatobá está localizado entre os quilômetros 1487 e 1489 e as suas informações batimétricas estão na Carta Náutica da Marinha número 3363. A Figura 69 exhibe sua localização, suas informações em planta e o modelo gerado para o novo canal.

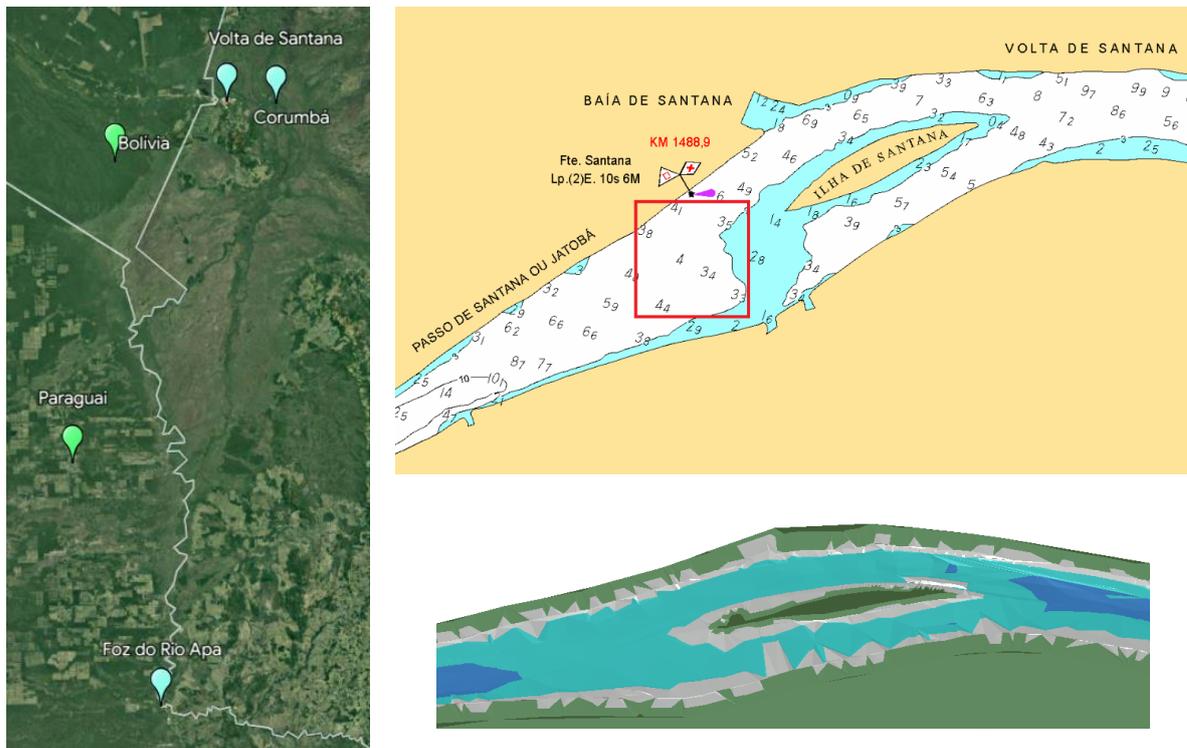


Figura 69 - Passo de Santana ou Jatobá.
Fonte: Autor, 2023.

Local de pouca profundidade e estreito. Além disso, ressalta-se a necessidade de atenção para não entrar na Baía de Santana (Marinha do Brasil, 1998). A Tabela 111 exhibe os dados referentes aos serviços de dragagem, enquanto a Tabela 112 exhibe as informações planialtimétricas do trecho.

Tabela 111 – Dados relativos à dragagem – Passo Santana ou Jatobá.

Volume dragado (m ³)	\bar{h} da dragagem (m)	\bar{h} do novo canal (m)
147.090	0,60	-6,946

Tabela 112 – Dados planialtimétricos do trecho – Passo Santana ou Jatobá.

L canal (m)	h_{min} desejada (m)	Nº curvas classe "A"	Nº curvas classe "B"	Nº curvas classe "C"
105,6	-3,64	6	0	0