



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL**

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE EMBARCAÇÕES PADRÃO PARA**  
**HIDROVIAS**

**RAMIRO ALEJANDRO ROLDÁN LEÓN**

**Belém – PA**  
**Novembro/2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL**

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE EMBARCAÇÕES PADRÃO PARA  
HIDROVIAS**

**RAMIRO ALEJANDRO ROLDÁN LEÓN**

Dissertação de Mestrado Submetida ao Corpo  
Docente do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Naval da Universidade Federal do Pará  
como requisito final para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia Naval.

Área de Concentração: Transporte Aquaviário.

Orientador: Prof. Dr. Hito Braga de Moraes. (UFPA)

Co-Orientador: Prof. Dr. Jean-David Caprace (UFRJ)

**Belém – PA**

**Novembro/2019**

**FICHA CATALOGRÁFICA**

Roldán León, Ramiro Alejandro.

Metodologia para determinação de embarcações padrão para hidrovias / Ramiro Alejandro Roldán León -; orientador – Hito Braga de Moraes - Belém, 2019; co-orientador – Jean David Caprace – Rio de Janeiro, 2019.

- \_\_ f.

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Hito Braga de Moraes.

Co-orientação: Prof. Dr. Jean-David Caprace.

1. Hidrovias; Embarcações tipo; Canal de Navegação; Comboios.  
UFPA / BC

**RAMIRO ALEJANDRO ROLDÁN LEÓN**

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE EMBARCAÇÕES PADRÃO PARA  
HIDROVIAS**

Dissertação de mestrado submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em engenharia naval do instituto de tecnologia da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Naval.

Belém-PA, 25 de novembro de 2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Hito Braga de Moraes

---

Membro Externo: Prof. Dr. Jean-David Caprace, (Co-Orientador)

---

Membro Interno: Prof. Dr. Nélio Moura de Figueiredo

## RESUMO

Uma forte cadeia logística no modal hidroviário provou ser um fator chave na economia dos países. No entanto, as vias navegáveis interiores da América Latina, apesar de serem potencialmente navegáveis, são pouco exploradas. O uso das hidrovias e da infraestrutura de navegação é fortemente limitado pela insuficiente padronização de rotas navegáveis de importância internacional. A sólida estratégia de conectividade, visando melhorar o desenvolvimento em termos de produção e confiabilidade, deve ser projetada e implementada na região. A presente dissertação pretende criar a metodologia de padronização de embarcações baseado nos relatórios técnicos 121 e 141 da PIANC a partir da proposição de utilização de uma metodologia para padronização de embarcações em quaisquer hidrovia; além de definir o uso de comboios de acordo com a capacidade do rio e as configurações ou arranjos para cada trecho, baseado em largura, comprimento, calado, e raio de curvatura. A padronização inclui a sensibilização do modelo otimizador de custo, provando uma melhora de 15%, em termos de capacidade de carga e tipo de comboio, se a carga transportada se acrescenta de 1 a 5%. Portanto contribuindo para o desenvolvimento regional e local.

**Palavras chave:** Hidrovias, Embarcações Padrão, Trecho, Comboio, Classificação.

## ABSTRACT

A strong logistics chain for the marine sector has proven to be a key factor in an economy's country. However, inland waterways in South American countries are weak and poorly developed. The use of waterways and navigation infrastructure is severely limited by insufficient standardization of internationally important waterways. A solid connectivity strategy, aiming at improving the development in terms of production and reliability must be designed and implemented for the entire region. This thesis intends to create guidelines to classify vessels based on PIANC technical reports 121 and 141. The research suggests using the methodology to set the best suitable convoy for any inland waterway, classifying its use according to the river capacity and the planned configurations. Considering, breadth, length, draught as well as curvature radius. The standardization process includes testing a cost-optimizing tool, proving a 15% improvement in load capacity and vessel type if the transported load increases by 1 to 5%. Therefore contributing to regional and local development.

**Keywords:** Inland Waterways, Vessel type, Section, Convoy, Classification.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> - EVOLUÇÃO TEMPORAL DA CAPACIDADE DE CARGA DAS EMBARCAÇÕES EM NAVEGAÇÃO INTERIOR.	10
<b>FIGURA 2</b> – EXEMPLO DE BARCAÇA E REBOCADOR/EMPURRADOR.	14
<b>FIGURA 3</b> - CAPACIDADE DE GUINADA.	19
<b>FIGURA 4</b> – FLUXOGRAMA DO TRABALHO.	25
<b>FIGURA 5</b> – FASES DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO.	27
<b>FIGURA 6</b> - FAIXA BÁSICA DE MANOBRA.	33
<b>FIGURA 7</b> - DIMENSIONAMENTO DE PROFUNDIDADES	35
<b>FIGURA 8</b> - FROTA DE TRANSPORTE E TIPOS DE COMBOIOS/NAVIOS NA EUROPA.	38
<b>FIGURA 9</b> - CLASSIFICAÇÃO EUROPEIA.	38
<b>FIGURA 10</b> - CONFIGURAÇÕES “EMPURRADOR-BARCAÇA”	46
<b>FIGURA 11</b> – ÁBACO DA RAZÃO PROFUNDIDADE/CALADO.	47
<b>FIGURA 12</b> – ÁBACO DA RAZÃO PROFUNDIDADE/CALADO CALCULADA DE 1.4.	48
<b>FIGURA 13</b> - DIGITALIZAÇÃO DAS CARTAS NÁUTICAS À ESCALA. (EM METRO).	49
<b>FIGURA 14</b> - COLOCAÇÃO À ESCALA DAS CARTAS BATIMÉTRICAS E LEVANTAMENTO – MÉTODO GRÁFICO	50
<b>FIGURA 15</b> - RAIOS DE GIRO MAIOR E MENOR POR CARTA BATIMÉTRICA – MÉTODO GRÁFICO (EM METRO).	50
<b>FIGURA 16</b> - SIMULADOR DE CUSTOS DE TRANSPORTE	52
<b>FIGURA 17</b> – TRANSCAD - EXEMPLO DE MODELAÇÃO.	53
<b>FIGURA 18</b> – SOLVER - PREENCHIMENTO DOS DADOS DA OTIMIZAÇÃO.	53
<b>FIGURA 19</b> – DADOS BATIMÉTRICOS DE ENTRADA.	56
<b>FIGURA 20</b> – QUADRO DE MANOBRABILIDADE DE CADA CARTA NÁUTICA.	57
<b>FIGURA 21</b> – COMPRIMENTOS ADICIONAIS SEGUNDO OS CRITÉRIOS DA PIANC (2014).	58
<b>FIGURA 22</b> – SOMATÓRIA DE $W_i$ , CÁLCULO DE BOCA MÁXIMA E NÚMERO DE CHATAS	58
<b>FIGURA 23</b> – NÚMERO DE CHATAS E FATOR DE RAIOS DE GIRO	59
<b>FIGURA 24</b> – MATRIZ DE SELEÇÃO DOS TRECHOS E COMBOIOS.	60
<b>FIGURA 25</b> - HIDROVIA PARAGUAI - PARANÁ E SUA ÁREA DE LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA.	62
<b>FIGURA 26</b> - DIVISÃO POR TRECHOS DA HIDROVIA DE ACORDO COM A METODOLOGIA.	71
<b>FIGURA 27</b> - PRINCIPAIS PORTOS ESCOLHIDOS PARA O ESCOAMENTO DE CARGAS	73

<b>FIGURA 28</b> – SOLVER - FUNÇÃO OBJETIVO.....	77
<b>FIGURA 29</b> - MAPA DE OTIMIZAÇÃO DE CUSTO TOTAL POR TRECHOS DA HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ. ....	78

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> - TABELA DOS EFEITOS NO DESENHO DE CANAIS NAVEGÁVEIS .....	21
<b>TABELA 2</b> - COMPRIMENTO E BOCA DE EMBARCAÇÕES ALEATÓRIAS .....	24
<b>TABELA 3</b> - LARGURAS ADICIONAIS $W_i$ PARA SEÇÕES RETILÍNEAS DO CANAL .....	30
<b>TABELA 4</b> - LARGURA ADICIONAL PARA DISTÂNCIA DE MARGENS .....	32
<b>TABELA 5</b> - LARGURA ADICIONAL PARA A FOLGA $W_p$ ENTRE O NAVIO E A MARGEM DO CANAL. ....	32
<b>TABELA 6</b> - FAIXA BÁSICA DE MANOBRA WBM .....	34
<b>TABELA 7</b> – FÓRMULAS EMPÍRICAS DO CÁLCULO DE EFEITO SQUAT .....	36
<b>TABELA 8</b> - CLASSIFICAÇÃO DAS HIDROVIAS NA CHINA .....	41
<b>TABELA 9</b> – COMPARAÇÃO DOS PADRÕES .....	43
<b>TABELA 10</b> - CLASSIFICAÇÃO DE HIDROVIAS NAVEGÁVEIS NO BRASIL .....	44
<b>TABELA 11</b> – QUANTIDADE DE CARGA DA HIDROVIA. (EXEMPLO) .....	51
<b>TABELA 12</b> - CUSTO MÉDIO HIDROVIÁRIO POR TIPO DE CARGA .....	52
<b>TABELA 13</b> – ESQUEMA DO MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZAÇÃO DE CUSTO .....	54
<b>TABELA 14</b> – PARÂMETROS DA EMBARCAÇÃO VARIÁVEIS .....	59
<b>TABELA 15</b> – CONFIGURAÇÕES DE COMBOIO PARA O ESTUDO .....	60
<b>TABELA 16</b> - RESUMO DE INFORMAÇÕES DAS CARTAS NÁUTICAS DIGITALIZADAS .....	63
<b>TABELA 17</b> - EMBARCAÇÕES TIPO ESCOLHIDAS PARA O ESTUDO. ....	64
<b>TABELA 18</b> - RESUMO DO CRITÉRIO DE LARGURAS ADICIONAIS .....	66
<b>TABELA 19</b> - LARGURAS ADICIONAIS PARA MARGENS E ULTRAPASSAGENS. ....	66
<b>TABELA 20</b> - RAIOS DE GIRO SEGUNDO AS EMBARCAÇÕES PRELIMINARES DE ESTUDO. ....	67
<b>TABELA 21</b> – PLANILHA RESUMIDA DE ANÁLISE DE TRECHOS .....	68
<b>TABELA 22</b> - RESUMO DA DEFINIÇÃO DE TRECHOS DA HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ .....	70
<b>TABELA 23</b> – MEDIDAS MÁXIMAS DAS EMBARCAÇÕES POR TRECHO. ....	71
<b>TABELA 24</b> - SELEÇÃO DE PORTOS AO LONGO DA HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ .....	73
<b>TABELA 25</b> - FLUXO DAS CARGAS NOS TRECHOS 1 E 2 (ALTO E BAIXO PARAGUAI) EM 2016 E 2017 .....	74
<b>TABELA 26</b> - IMPORTAÇÕES E EXPORTAÇÕES NA ZONA DE INFLUÊNCIA POR TRECHO .....	75
<b>TABELA 27</b> - CUSTO DE PRODUTOS MOVIMENTADOS NA ZONA DE INFLUÊNCIA POR TRECHO .....	76

<b>TABELA 28 - CUSTOS DE ESCOAMENTO DE CARGAS NA HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ. ....</b>	<b>76</b>
<b>TABELA 29 – SOLVER. SIMULADOR DE OTIMIZAÇÃO DE CUSTO.....</b>	<b>78</b>
<b>TABELA 30 - NÚMERO DE ARRANJOS DE COMBOIOS. ....</b>	<b>79</b>
<b>TABELA 31 - RESUMO DA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE EMBARCAÇÕES PADRÃO. ....</b>	<b>84</b>
<b>TABELA 32 – MEDIDAS MÁXIMAS DA EMBARCAÇÕES PADRÃO DA HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ. ....</b>	<b>88</b>

**LISTA DE EQUAÇÕES**

<b>EQUAÇÃO 1 - NÚMERO DE FROUDE DE PROFUNDIDADE.....</b>	<b>27</b>
<b>EQUAÇÃO 2 - LARGURA DO CANAL.....</b>	<b>33</b>
<b>EQUAÇÃO 3 – EFEITO SQUAT.....</b>	<b>37</b>
<b>EQUAÇÃO 4 – CÁLCULO DA RAZÃO PROFUNDIDADE/CALADO DE 1.4.....</b>	<b>48</b>

**LISTA DE SIGLAS**

AL	América Latina
ALC	América Latina e o Caribe
ANA	Agência Nacional de Águas
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
AHRANA	Administração da Hidrovia do Paraná
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEPAL	Comissão Econômica para América Latina e Caribe
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
CIH	Comité Intergovernamental Hidrográfico do Paraguai
DHI	Departamento de Hidrovias Interiores
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
MTPA	Ministério de Transportes Portos e Aviação Civil
PIANC	<i>Permanent International Association of Navigation Congresses</i>
SHN	Serviço de Hidrografia Naval da Argentina
TLC	Tratado de livre comercio
USACE	<i>The United States Army Corps of Engineers</i>
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
TWB	<i>The World Bank</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	3
1.2	HIPÓTESE .....	5
1.3	OBJETIVOS .....	6
1.3.1	Objetivo Geral .....	6
1.3.2	Objetivos Específicos .....	6
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	6
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>9</b>
2.1	ASPECTOS GERAIS DO PROBLEMA .....	9
2.2	CONCEITOS FUNDAMENTAIS .....	11
2.2.1	Hidrovias .....	11
2.2.2	Hidrovias Interiores .....	12
2.2.3	Conceito de Padronização segundo a ISO .....	15
2.3	IMPORTÂNCIA ECONÔMICO-SOCIAL DAS HIDROVIAS .....	15
2.4	IMPORTÂNCIA DA INFRAESTRUTURA DAS HIDROVIAS .....	16
2.5	NAVEGABILIDADE EM HIDROVIAS INTERIORES .....	17
2.6	DIMENSIONAMENTO OU PADRÃO DA FROTA NA HIDROVIA .....	22
2.7	IDENTIFICAÇÃO DAS EMBARCAÇÕES TIPO NA HIDROVIA .....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1	FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DO TRABALHO .....	25
3.2	NORMATIVA DE REFERÊNCIA .....	26
3.2.1	Relação entre a Profundidade e a Velocidade .....	27
3.2.2	Largura do Canal Navegável .....	28
3.2.3	Profundidade da Via Navegável .....	35
3.3	ANÁLISE DAS NORMAS DE CLASSE PARA EMBARCAÇÕES .....	37

3.3.1	Padronização Europeia .....	37
3.3.2	Padronização na China .....	40
3.3.3	Padronização Norte Americana .....	41
3.3.4	Comparação dos Padrões de Navegação Chinês, Americano e Europeu .....	43
3.3.5	Classificações Hidroviárias Regionais de Interesse. ....	43
3.3.6	Comparação Geral das Classificações para Embarcações.....	44
3.3.7	Determinação de Comboios Preliminares .....	46
3.4	LEVANTAMENTO DE DADOS BATIMÉTRICOS .....	49
3.5	OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS DE DESLOCAMENTO DE CARGAS.....	51
3.5.1	Simulador de custo EPL .....	51
3.5.2	Software de Visualização TransCad.....	52
3.5.3	Ferramenta de cálculo Solver - Excel.....	53
3.5.4	Análise SWOT.....	55
<b>4</b>	<b>MODELO PARA DETERMINAÇÃO DA EMBARCAÇÃO PADRÃO PARA HIDROVIA .....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ESTUDO DE CASO HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ .....</b>	<b>62</b>
5.1	ANÁLISE DE LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DA HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ.....	63
5.2	DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS DAS EMBARCAÇÕES TIPO EXISTENTES DA HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ .....	64
5.3	PARÂMETROS NORMATIVOS ADOTADOS NA IDENTIFICAÇÃO DOS TRECHOS DA HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ.....	65
5.3.1	Cálculo de Larguras Adicionais .....	65
5.3.2	Cálculo de Boca Máxima do Comboio.....	66
5.3.3	Cálculo de Calado Máximo .....	66

5.3.4	Determinação do Raio de Giro .....	67
5.3.5	Subdivisão dos Trechos (Critério de escolha) .....	68
5.4	OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS SEGUNDO A EMBARCAÇÃO TIPO .....	72
5.4.1	Seleção de Portos ou Centros de Armazenagem .....	72
5.4.2	Fluxo das cargas na Hidrovia Paraguai-Paraná .....	74
5.4.3	Custo da Tonelada Movimentada .....	76
5.4.4	Visualização da Otimização do Modelo Matemático (TransCad).....	77
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>81</b>
6.1	EMBARCAÇÕES PADRÃO PARA HIDROVIAS .....	81
6.2	CONSIDERAÇÕES DAS DIMENSÕES E VARIÁVEIS FÍSICAS .....	84
6.2.1	Arranjo de Comboios – Embarcação Tipo .....	85
6.2.2	Operação e Custo.....	85
6.2.3	Metodologia proposta .....	86
6.3	ANÁLISE SWOT DA PROPOSTA .....	86
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>87</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>90</b>
	<b>ANEXO 1.....</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Historicamente, para que as civilizações do mundo utilizassem as hidrovias para transportar ou deslocar cargas e pessoas além de utilizar aquelas rotas para o comércio interno e internacional, as primeiras embarcações eram simplesmente troncos de árvores chamados balsas e, conseqüentemente, com o avanço tecnológico e o descobrimento de novos materiais, surgiram muitos tipos de navios para diferentes propósitos. E, atrelado a isso, tem-se que a importância do comércio das nações liga-se diretamente com o desenvolvimento histórico do transporte por via aquaviária.

O melhoramento contínuo do transporte e os novos métodos de manuseio das cargas em conjunto, aliado com as padronizações de canais navegáveis que agora conhecemos, permitiram que as embarcações trafegassem e fossem carregadas e descarregadas em menor tempo, conforme evidenciado hodiernamente.

Ao analisar o marco histórico referente ao desenvolvimento do transporte hidroviário, evidenciam-se diversas padronizações conhecidas; por exemplo a classificação Europeia das hidrovias do interior, a Americana pelo rio do Mississippi, Chinês, as regionais/locais como a Brasileira. As quais serão avaliadas junto com as informações de cada país como parte do método de padronização.

América Latina e o Caribe (ALC) são ricos em recursos naturais e fontes de energias renováveis, proporcionando um ambiente ideal a projetos dos quais possam se beneficiar para desenvolver suas economias (MOSTACEDO, 2018). Apesar de privilegiada geograficamente e com uma rede fluvial extensa e densa, na América Latina a navegação interior continua sendo subutilizada quando se trata do uso da mesma para o transporte de cargas e pessoas, sendo colocada em detrimento em relação aos demais modais de transporte.

Segundo a Comissão Econômica para América Latina e Caribe – CEPAL (2018), existe uma falta de infraestrutura e investimento nas obras hidroviárias que permitam uma logística e mobilidade integral sustentável na Região. Pode-se afirmar, então, que o transporte multimodal não está desenvolvido no que diz respeito hidrovias interiores, o que torna a inserção do transporte fluvial no sistema logístico multimodal uma tarefa complexa.

Dessa forma, as novas políticas de transporte no contexto da movimentação das cargas e pessoas em geral, necessitam considerar o impacto no meio ambiente e o dano que cada modal de transporte provoca. Sobre esse aspecto vários estudos demonstraram que a

movimentação pelas hidrovias gera o menor impacto utilizando melhor e mais eficientemente a infraestrutura. (RADMILOVI, 2007)

Logo, encaminhar a proposta de padronização de embarcações como um sistema de informações de hidrovias interiores visando o melhoramento do transporte fluvial, que deve incluir: tipos de frotas ou comboios, infraestrutura disponível, indicadores econômicos e o planejamento das rotas; é outro passo rumo à geração do desenvolvimento comercial entre os países com a possível integração de transportes multimodal, além de gerar e facilitar a comunicação dos povos existentes na beira dos rios (CEPAL, 2018).

As considerações que são necessárias para esta pesquisa estão de acordo com parte da proposta feita pela CEPAL (Comissão Econômica para a América Latina e Caribe) recentemente: o dimensionamento das vias e das embarcações, a especificação dos serviços prestados nas hidrovias assim como uma possível integração multimodal e a avaliação da qualidade da gestão das hidrovias.

Os dados registrados e da referência podem ter possíveis inconsistências nos movimentos portuários e, em virtude disso, deve-se procurar uma ferramenta estatística de processamento da informação para projetar tendências. Deve-se evitar os dados dispersos ou não disponíveis, sendo necessário padronizar toda a informação. Os dados considerados devem-se filtrar pelo índice de recorrência (número de dias em condições normais e susceptibilidade do fluxo), rotas que não cumprem com os critérios da classificação, os métodos e tecnologias de atualização das rotas pelo câmbio na causa e postos de segurança nas ribeiras navegáveis de acordo com cada rota. (CEPAL, 2018)

Neste contexto, esta pesquisa buscará avaliar as características físicas principais dos rios e as embarcações, para a classificação de uma embarcação padrão por trecho de hidrovia; e a aplicação deste método no caso de estudo específico na hidrovia Paraguai-Paraná. Assim, o método para a determinação de embarcações tipo para outras vias navegáveis, apresentará também aspectos gerais em contexto das hidrovias, subdivisão de trechos, capacidade de carga dos comboios, metodologias de cálculo para desenho de canais de navegação com referência em algumas normativas internacionais e regionais de classificação de hidrovias para estabelecer uma comparação com o método proposto.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Na América Latina e o Caribe (ALC) é preciso uma normativa regional regulatória para transportar grandes quantidades de carga a longas distâncias eficientemente, procurando o menor impacto ambiental; através da otimização de custo por tonelada movimentada com o conceito de embarcações tipo ou padrão.

No contexto da importância de transporte de cargas, segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES (2018), no Brasil foram transportadas mais de 83 milhões de toneladas de bens por vias interiores: 35 milhões por longo curso em vias interiores, 27 milhões por navegação interior e 21 milhões por cabotagem em vias interiores. O principal tipo de carga foi o granel sólido, representando cerca de 72% do total da carga transportada (NUNES; RAMALHO; MENDES, 2018).

As mercadorias cujos volumes transportados por hidrovias mais aumentaram, no período de 2010 a 2016, foram o milho (278%), seguido pela soja (106,9%). Esse crescimento derivou-se pela expansão do território agrícola para o interior das regiões Centro-Oeste e Norte, onde o potencial de uso de hidrovias é maior. De fato, a região Norte destaca-se como a principal região utilizadora de hidrovias para o transporte de cargas. A Região Hidrográfica Amazônica responde por mais da metade do volume de carga transportada por via fluvial (53%). Portanto, faz-se necessário avaliar uma metodologia para tentar viabilizar a classificação das outras hidrovias para melhorar o escoamento das mercadorias para todos os países da região (NUNES; RAMALHO; MENDES, 2018).

O transporte multimodal de cargas é muito importante na cadeia logística para baixar custos e acrescentar a qualidade dos produtos; mais ainda, com os avanços tecnológicos sobre o manuseio ostensível e ambientalmente amigável de mercadorias. O planejamento de rotas com interconectividade modal é sem dúvidas outro aspecto na toma de decisões de clientes e consumidores. O conceito de corredores multi- e sincromodais é relativamente novo, mas cada vez mais avaliado pelas organizações para o desenvolvimento do transporte entre os portos e os centros de produção. Procura-se uma visão integralizada da transportação de mercadorias. (LEIJER, 2015).

Nesse sentido, em concordância com a importância que representa a interconectividade modal de transporte de cargas para contribuir com o desenvolvimento regional da ALC; a presente pesquisa apresenta uma proposta de padronização de embarcações para hidrovias por intermédio da proposição de uma metodologia de padronização, além de realizar a análise de custo que otimiza a quantidade de carga e tipo de navio de acordo com a rota escolhida para um dado estudo de caso.

Tem-se, então, que o objetivo do método se caracteriza por ser a replicação em quaisquer hidrovias, de modo que a comunidade científica, de posse da presente pesquisa, seja capaz de aplicar o passo a passo de acordo com os referenciais técnicos escolhidos dos organismos internacionais e regionais principais, como a *Permanent International Association of Navigation Congresses* (PIANC) e a Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ), respectivamente.

Como forma de dar aplicabilidade a metodologia proposta e para realizar a sensibilização e validação da referida metodologia, escolheu-se a hidrovia Paraguai-Paraná como estudo de caso em virtude de sua importância na cadeia logística para os cinco países que fazem uso desta hidrovia de modo constante.

Na cadeia logística, se o fator transporte é considerado alto, a competitividade do mesmo produto frente aos outros do mercado fica custoso; portanto, baixar o custo da movimentação modifica diretamente o preço dos produtos. As características físicas de uma hidrovia como das embarcações que percorreram a mesma, devem-se avaliar para determinar a viabilidade do projeto e a assinação do orçamento.

## 1.2 HIPÓTESE

A hipótese de desenvolvimento desta dissertação fundamenta-se na seguinte assertiva:

A falta de determinação de uma embarcação padrão para hidrovias diminui a competitividade do transporte hidroviário.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta de padronização de embarcações conforme as características físicas das hidrovias direcionadas para o transporte de cargas; considerando os parâmetros normativos de desenho de canais do relatório N° 121 da *Permanent International Association of Navigation Congresses* – PIANC (2014) e os padrões usuais de aplicação de projetos de hidrovias do relatório N° 141 da PIANC (2019).

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

Analisar, baseado no relatório N° 121 de desenho de canais navegáveis, a metodologia da classificação padrão das hidrovias interiores da América Latina. Utilizando tipos e configurações de comboios para cada trecho da análise.

Apresentar a comparativa dos tipos de configurações de navios respeito as classificações internacionais: Europeu, Norte Americano, Chinês e Brasileira.

Determinar as restrições físicas de boca, calado e comprimento das configurações de comboios para hidrovias, extraindo os dados de profundidade, comprimento, raio de giro e largura segundo o Nível de Redução (NR) da hidrovia em análise.

Desenvolver um modelo de análise de escolha para classificar os trechos navegáveis.

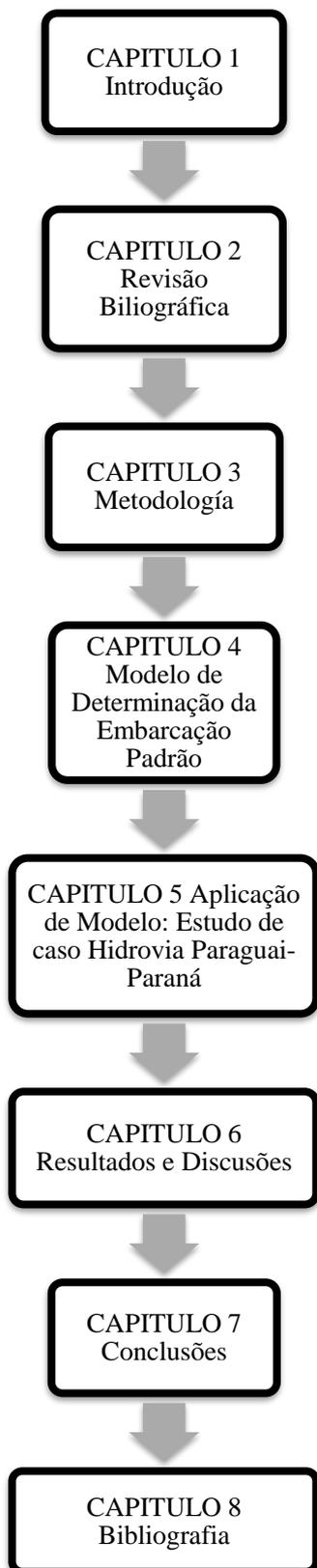
Produzir o modelo matemático para determinação do menor custo de transporte para cada trecho.

Avaliar a sensibilidade do modelo gerado.

Modelar o estudo de caso com aplicação da metodologia na hidrovia Paraguai-Paraná.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta seção visa apresentar a estrutura desta dissertação, com a divisão em capítulos, conforme a disposição do esquema abaixo.



O Capítulo 1 faz a apresentação do trabalho através da introdução, justificativa, objetivos gerais e específicos, assim como sua estrutura e fluxograma. Revelando ao leitor a importância do estudo a respeito da padronização de embarcações tipo e sua importância na

cadeia logística de transporte de cargas e mercadorias, visando o aumento de competitividade regional, com ênfase na conexão multimodal.

O Capítulo 2 destaca-se pela revisão dos aspectos gerais do problema e as referências teóricas, buscando contextualizar a metodologia do presente trabalho, estatísticas de deslocamento de produtos, porcentagem de utilização deste modal de transporte, a evolução da transportação de cargas, a importância da infraestrutura nas hidrovias, a caracterização dos impactos em infraestrutura, comércio, competitividade e desenvolvimento geral, além de apresentar os conceitos gerais das hidrovias necessários para o entendimento da pesquisa, bem como a caracterização das embarcações fluviais de transportes de cargas e os critérios para subdivisão de trechos na hidrovia a partir do dimensionamento de comboios de navegação fluvial.

Em sequência, no Capítulo 3 é descrita a metodologia da pesquisa com base nas recomendações do relatório N° 121 da *Permanent International Association of Navigation Congresses – PIANC* (2014), a otimização em termos de menor custo do modelo matemático desenvolvido e visualizado no software Transcad GIS versão estudantil (2002), em conjunto com a análise das normativas pesquisadas.

O Capítulo 4 destaca-se pela apresentação do modelo para determinação da embarcação padrão para hidrovias que serão avaliadas no estudo de caso no Capítulo 5 para a Hidrovia Paraguai-Paraná; detalhando a compilação dos dados utilizados. Tais como, dados batimétricos, de arranjo de comboios, dados de entrada para o modelo matemático, cartas náuticas, mapas de visualização e outros.

Finalmente, o Capítulo 6 descreve a guia metodológica para a classificação padrão de embarcações como resultado principal do estudo; apresentando-se as considerações finais do trabalho no capítulo 7, assim como as conclusões deste estudo no Capítulo 8.

O Capítulo 9 descreve as referências bibliográficas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção expõe três frentes de referência buscando contextualizar as temáticas do presente trabalho. A primeira busca generalizar as problemáticas da falta de uma classificação através dos aspectos gerais do problema; a segunda frente apresenta conceitos e a importância das hidrovias em termos econômicos, sociais e da infraestrutura. E, por fim, a terceira frente evidenciam-se as condições de contorno no contexto das normativas existentes e sua aplicação (Navegabilidade, dimensionamento e embarcações tipo).

### 2.1 ASPECTOS GERAIS DO PROBLEMA

Os países na América Latina têm feito grandes esforços para ultrapassar as limitações internas do comércio na região ao longo das décadas passadas. Liberações de intercâmbio de tipo multilateral, regional e unilateral representam uma redução nas tarifas de comércio que resultam em um aumento das importações. As referidas reduções resultaram em diminuição de tarifas, negociações multilaterais e na participação em convênios de comércio ou simplesmente “Tratados de Livre Comércio” (TLCs) entre nações (KOTSCHWAR, 2012).

De acordo ao Banco Interamericano de desenvolvimento – BID (2018), durante o primeiro semestre desse ano as exportações na América Latina e o Caribe (ALC) diminuíram com respeito ao desempenho do ano 2017. Ou seja, estima-se que o valor das exportações cresceu 10,6% no resumo do primeiro trimestre de 2018 e que o valor das importações cresceu 14,3%; que resulta em cerca de 9,6% a mais que em 2017. Em outras palavras, os volumes de exportação têm melhorado com uma taxa de 4% a mais e continua acrescentando no ano 2018, baseados nos dados de oito países na América Latina (AL).

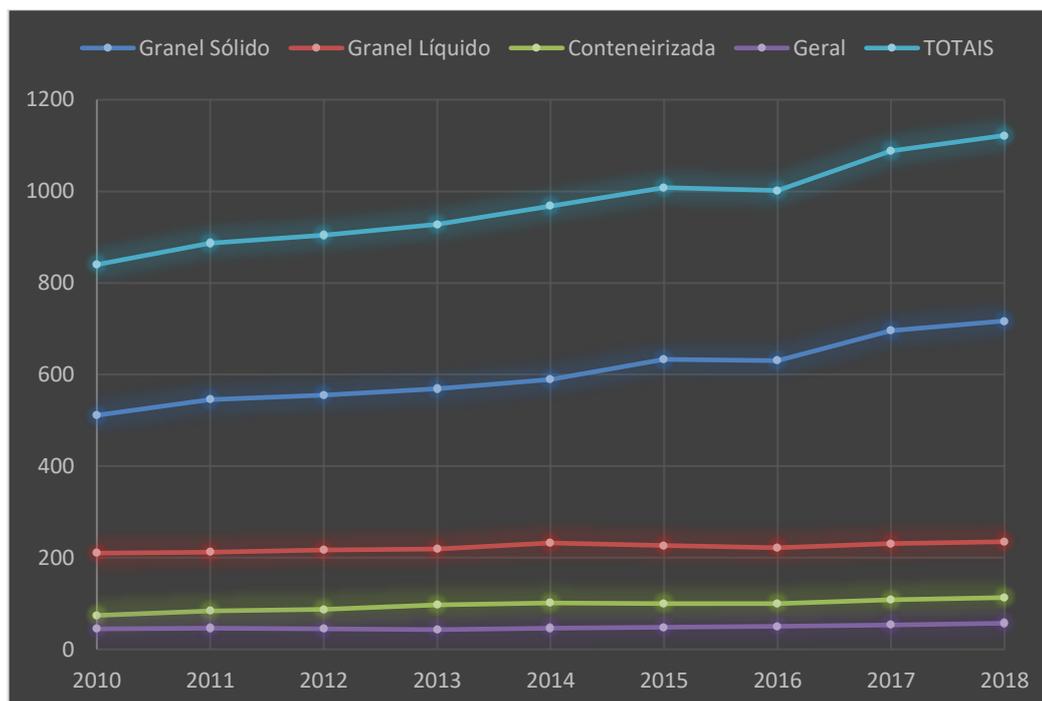
Entretanto, tem-se que as exportações de produtos cresceram 10,6%, valor este que representa uma desaceleração em relação à média de 2017 (14,9%), esse desempenho menos favorável foi observado na maioria dos países da sub-região, exceto Argentina, Bolívia, Chile e Uruguai. A União Europeia foi o destino mais frequente (19,5%), utilizando as rotas atualmente conhecidas. A desaceleração das exportações da ALC contrasta com a dinâmica dos fluxos globais, que mostraram uma aceleração significativa no início de 2018.

Os países da América do Sul com maior expansão nas vendas externas foram aqueles especializados em minerais e produtos derivados do petróleo, que foram impulsionados pelo aumento dos preços. A melhora no desempenho da região deveu-se principalmente à evolução dos preços dos produtos básicos, principalmente os de origem extrativa, enquanto os preços agrícolas sofreram pressões baixas. Como resultando os volumes exportados registraram uma

acentuada aceleração em relação à média dos últimos anos, mas a expansão se concentrou em poucos países. (GIORDANO, 2017).

Segundo BNDES (2018) devido à evolução da demanda de volumes transportados, a capacidade de carga máxima da frota ou comboio para hidrovias interiores vem aumentando gradativamente nos últimos anos, a Figura 1 resume para cada tipo de carga o aumento da quantidade de carga demandada ao longo do tempo (NUNES; RAMALHO; MENDES, 2018).

**Figura 1** - Evolução Temporal da Capacidade de Carga das embarcações em navegação interior.



**Fonte:** Elaborado pelo Autor, com base em Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ (2018), Anuário Estatístico 2010-2018.

Apesar de ser evidente o potencial hidroviário na América Latina, a infraestrutura de transporte inadequada foi identificada como um impeditivo cada vez mais importante à maior integração da região no comércio global, sendo, portanto, um fator significativo que impede os países de aproveitarem adequadamente a multiplicidade de acordos comerciais regionais, plurilaterais e bilaterais assinados no passado. Uma infraestrutura de transporte fraca é um grande impedimento para a realização do potencial da América Latina para o aumento do comércio (NUNES; RAMALHO; MENDES, 2018).

A limitada infraestrutura disponível é um dos principais obstáculos para o desenvolvimento da navegação interior na região segundo CEPAL (2018), sendo necessária a implementação e estímulo de projetos novos e de melhoramento dos que já estão sendo abordados na maioria dos planos de transporte nacionais e regionais.

Nesse sentido, promover o desenvolvimento do planejamento do transporte hidroviário representaria um forte apoio ao valor econômico e social da região que ainda é subestimado. Corroborando com isso, tem-se que propor uma classificação comum das vias navegáveis interiores (rios, canais e lagos), inexistente na região atualmente, poderia ser fundamental para alcançar uma maior, melhor e mais sustentável utilização e governança da navegação interior, segundo CEPAL (2018).

Em consonância com as informações supracitadas, destaca-se que a América do Sul ainda precisa tirar proveito de seu extenso sistema de vias navegáveis naturais ou integrá-las à rede de transportes da região, já que as partes modais da navegação interior no transporte internacional da região são inferiores a um por cento em termos de valor e volume. Para tanto, a classificação proposta forneceria uma ferramenta para avaliar a situação atual das hidrovias existentes e sua capacidade atual e potencial de integração nas cadeias logísticas nacionais e regionais, ajudando também a utilizar na região um sistema modal de cargas altamente sustentável e que possui menor impacto ambiental, conforme evidenciado em Jaimurzina (2017).

## 2.2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

### 2.2.1 Hidrovias

Segundo o Ministério de Transportes Portos e Aviação Civil - MTPA (2015), o termo Hidrovias é a união das raízes “hidro” referente à água, e “vias” referente a rota, caminho, ou seja, são “vias navegáveis”. As Hidrovias são os locais navegáveis onde o transporte aquático ou aquaviário é realizado por embarcações (barcos, navios, barcas), e que são subdivididas em: Marítimas (mares), Fluviais (rios) e lacustres (lagos).

Para Baw (2010) a geometria das hidrovias é afetada pelas ações hidráulicas tanto da embarcação como naturalmente pelo rio; portanto, os cálculos dimensionais para desenho de canais ou embarcações podem aplicar métodos trapezoidais de aplicação na seção cruzada. De acordo com Leijer (2015), as hidrovias, em especial na Europa, se encontram lotadas ou muito utilizadas, sendo estas vias navegáveis caracterizadas pelo transporte comercial e de lazer. No entanto, existem regras para assegurar a segurança sobre à água; as quais estão enquadradas para criar maior responsabilidade do uso e evitar acidentes.

Ainda Leijer (2015) ressalta que na Europa, as hidrovias maiores planejadas e gerenciadas no contexto nacional e internacional de acordo com a importância do percurso; as hidrovias menores são gerenciadas pelas organizações governamentais setoriais correspondentes.

Finalmente, MTPA (2015) para facilitar o entendimento considera a hidrovia ou hidrovias interiores como conceitos similares os seguintes: “Hidrovia, aquavia – via navegável, caminho marítimo ou fluvial”.

### 2.2.2 Hidrovias Interiores

Almeida & Brighetti (1980) afirmam que o rio navegável é aquele que tem definido o tipo e dimensões da embarcação que deve percorrer ele. Porém, está ligado ao aspecto econômico e a região considerada na análise. Tendo em vista isso, tem-se que poucos são os cursos navegáveis cujas condições batimétricas possibilitam o tráfego de navios de forma contínua e segura quando se trata de embarcações de grande porte para transportação comercial de cargas (SANTANA, 2002).

Segundo BAW (2010), os canais ou hidrovias confinadas com restrições de largura e profundidade são o tipo de hidrovia interior mais comum. Tal que, o efeito do limite da largura é avaliado se a relação da largura da superfície e o comprimento da embarcação é menor ou igual a 2 ou 3.

Segundo a DNIT (2018), a hidrovia é uma via de navegação interior, que possui o canal delimitado e sinalizado; as vezes com gabarito hidroviário mantido. E de acordo com a Confederação Nacional do Transporte – CNT (2013) a Lei Brasileira 9.433, de 8 de janeiro de 1997, as Hidrovias do Interior, são as vias navegáveis fluviais de travessia e fluviais de navegação de apoio portuário. Deve-se levar em consideração que a navegação do interior também contempla a navegação em canais, rios, lagoas, enseadas, baías e angras. Assim pode-se dividir em:

- **Navegação fluvial e lacustre:** Ou também navegação longitudinal: quando realizada ao longo dos canais, rios, lagos e lagoas, mas fora das áreas portuárias nacionais. Pode-se estender aos portos fluviais e lacustres de países vizinhos e, desde que integrados por hidrovias interiores comuns, ainda assim, será considerada navegação interior (CNT, 2013).
- **De travessia:** Aquela realizada transversalmente ao curso de rios e canais; quando liga dois pontos das margens em lagos, lagoas, baías, angras e enseadas; quando se dá entre ilhas e margens de rios, de lagos, de lagoas, de baías, de angras e de enseadas, em uma extensão inferior a 11 milhas náuticas; ou quando interliga dois pontos de uma mesma rodovia ou ferrovia interceptada por um corpo de água (CNT, 2013).

- **De porto:** É realizada dentro de áreas portuárias nacionais, baías, enseadas, angras, canais, rios e lagoas em atendimento às atividades específicas do porto (CNT, 2013).

Padovezi (2003) especifica que a via navegável apresenta características físicas principais, conforme evidenciado:

- A profundidade do canal de navegação;
- A velocidade de correntes;
- Os raios de curvaturas no traçado do canal navegável;
- Pontos críticos ou restrições (eclusas, pontes, canais estreitos, etc.);
- Exposição a ventos e possibilidade de formação de ondas por ação de ventos;
- A suscetibilidade a alterações ambientais e nas margens provocadas pela passagem de embarcações;
- Nível de Redução, em função do regime de águas;
- Condições de navegabilidade ao longo do tempo (problemas de assoreamento, preservação de margens).

Da mesma forma Padovezi (2003), expõe que a passagem de embarcações no trecho de rio, apresenta outros fatores de interferência com a via:

- Formas, dimensões, velocidades das embarcações, gerando ondas, que podem afetar a estabilidade das margens e provocando efeito de sucção no fundo do rio, inclusive pela ação de propulsores, que provocam suspensão temporária de material sólido na água;
- Potências instaladas e manobrabilidade das embarcações, que têm ligação direta com o nível de riscos de ocorrência de acidentes em trechos mais críticos da via;
- Densidade do tráfego, podendo intensificar os efeitos das passagens de embarcações e aumentando riscos de ocorrência de acidentes;
- Possibilidade de poluição da água por óleo ou por rejeitos sólidos, por erros operacionais ou por acidente.

Corroborando com as informações supramencionadas, tem-se que, segundo Harlacher (2016) a navegação e classificação das hidrovias do interior vai depender das características do local como dos auxílios de navegação na hidrovia. Portanto, deve-se contar com informações detalhadas como:

- Largura mínima do Canal ou trecho;
- Calado mínimo;
- Dimensões das obras de arte na via;
- Raio de Giro;
- Auxílios disponíveis.

Segundo o BNDES (2018), concernente às embarcações mais relevantes para a navegação interior, tem-se que a literatura destaca quatro tipos principais:

**Balsa:** É uma embarcação usada para transportar cargas pesadas, pessoas ou animais, geralmente em pequenas distâncias (NUNES; RAMALHO; MENDES, 2018).

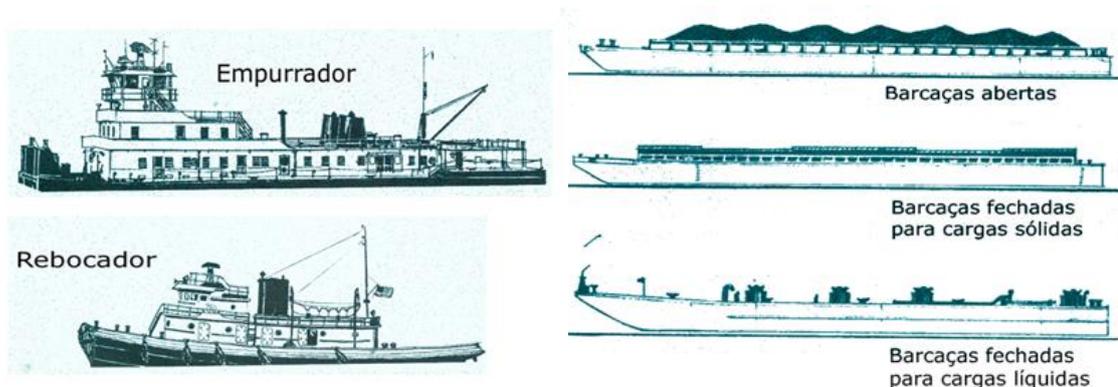
**Barcaça ou chata:** É uma embarcação caracterizada por ter fundo/casco chato e por não dispor, de modo geral, de propulsão própria, dependendo de unidade motora para sua movimentação. É frequente o emprego conjunto de barcaças ou chatas acopladas em um comboio e movimentadas por rebocadores/empurradores. Normalmente, as chatas são utilizadas em águas abrigadas, por apresentarem pouca navegabilidade. As barcaças transportam, em média, um volume de carga bastante superior ao das chatas (NUNES; RAMALHO; MENDES, 2018).

**Navio de carga geral:** É um navio que transporta vários tipos de carga. Tem aberturas retangulares, no convés principal, e aberturas chamadas escotilhas, por onde a carga é embarcada para ser arrumada nas cobertas e porões. A carga é içada ou arriada pelo equipamento do navio ou pelos guindastes do porto (NUNES; RAMALHO; MENDES, 2018).

**Rebocador/empurrador:** É uma embarcação de assistência e reboque de navios maiores em operações de acostagem/desacostagem. Pode, ainda, efetuar operações de reboque em diferentes circunstâncias, como no caso de embarcações sem propulsão própria (NUNES; RAMALHO; MENDES, 2018).

A Figura 2 evidencia exemplos de barcaças, empurradores e rebocadores, conforme os descritos anteriormente.

**Figura 2** – Exemplo de Barcaça e Rebocador/Empurrador.



**Fonte:** (NUNES; RAMALHO; MENDES, 2018).

### 2.2.3 Conceito de Padronização segundo a ISO

Segundo a Organização Internacional para Padronização-ISO (2018), uma norma internacional ou padrão incorpora os princípios essenciais de abertura e transparência globais, consenso e coerência técnica. Estes devem-se salvaguardar através de um Comitê Técnico, representativo de todas as partes interessadas, apoiado por uma fase de comentário público, em nosso caso um comitê internacional. Os Comitês Técnicos poderão oferecer especificações técnicas, relatórios técnicos, regras e tabelas base apresentadas como soluções para as necessidades do mercado na região. Além de permitirem a interoperabilidade por meio de definições e estruturas consistentes e interoperáveis de dados e metadados, codificação, acesso e processamento de serviços.

Nesse contexto, os padrões apoiam a criação, reprodução, atualização e manutenção de informações específicas necessárias para integradores de sistemas, desenvolvedores de aplicativos, pesquisadores, indústria, acadêmicos, tomadores de decisão nos setores público e privado e para todas as pessoas. Para tal, é preciso o uso de normas internacionais, como de PIANC (2014) no relatório 121 sobre a gestão e operacionalização hidroviária para o desenho de canais de navegação.

De acordo com Padovezi (2003), na navegação interior, os parâmetros para definir uma classificação padronizada desejada são definidos pelas necessidades da rota. No entanto, podem-se gerar algumas diretrizes de acordo as características físicas e morfológicas ao longo dos corpos de água como também prevenindo as questões ambientais; enquanto vai-se projetando junto com os tipos de navios respetivamente.

Neste contexto, PIANC (2019) apresenta o relatório 141 como guia para desenho de canais navegáveis de hidrovias do interior; analisando as experiências de referência de hidrovias interiores e resumindo as questões de desenho hidráulico de canais, fazendo a abordagem do relatório anterior 121 e das classificações atuais incluindo as obras de arte presentes em rios e canais para referenciá-los internacionalmente.

### 2.3 IMPORTÂNCIA ECONÔMICO-SOCIAL DAS HIDROVIAS

Segundo a Corporação Andina de Fomento – CAF (2016), as hidrovias como fator de desenvolvimento econômico e social representam a melhor e maior conectividade entre os povos localizados nas áreas de influência do percurso. Sempre que a navegabilidade seja confiável e segura ao longo do ano, a execução de projetos de educação, saúde, intercâmbio tecnológico, é possível pelo aproveitamento das potencialidades produtivas locais.

Ainda CAF (2016), acredita que o impulsor de integração regional com o desenvolvimento ostensível e harmônico das hidrovias, aprofundará os processos de integração já existentes entre os países da ALC (TERRAZAS, 2016).

Jaimurzina (2017) afirma que o conhecimento das dimensões para navegação interior na América Latina é de grande importância social e econômica, especialmente para as regiões onde a provisão de infraestrutura modal de transporte é complicada geograficamente. Para Chopra e Meindl (2011), deve-se utilizar os modais de transporte Hidroviário e Ferroviário no deslocamento de cargas de peso elevado, baixo valor agregado, de boa resistência no tempo e homogêneas, para grandes distâncias de percurso.

Maia (2015) argumenta que a navegação hidroviária é um dos fatores críticos para o desenvolvimento econômico-social pela importância para o transporte de pessoas e mercadorias, e assim também para os serviços e trabalhos associados. Além que, é o modal de transporte mais ecologicamente sustentável e de menor demanda de investimento para a expansão do sistema (comparado com os modais rodo, ferro e aeroviário) (MUNIZ, 2016).

#### 2.4 IMPORTÂNCIA DA INFRAESTRUTURA DAS HIDROVIAS

De acordo com Giordano (2017), uma infraestrutura aprimorada aumenta a capacidade de movimentação das cargas, serviços, projetos, negócios dentro dos países, além de dinamizar o intercâmbio de bens e serviços de um país para outro, diminuir os custos de transporte e reduzir custos de inventário e logística, expandindo, assim, os mercados consumidores. Os aprimoramentos em obras de infraestrutura beneficiam não somente produtores, mas também os consumidores, haja vista que gera aumentos na atratividade do local para Investimento Direto Estrangeiro (IDE) e conseqüentes reduções nos custos finais do produto beneficiado pela infraestrutura melhorada.

Nesse sentido, ainda segundo Giordano (2017), uma infraestrutura melhorada permite uma distribuição mais equitativa dos benefícios sociais, aumentando a capacidade da população de aproveitar importantes serviços de saúde e educação essenciais para o desenvolvimento. A infraestrutura tem um papel importante a desempenhar na redução da pobreza rural; ao conectar os agricultores e/ou proprietários de pequenas empresas em bolsos geográficos isolados aos principais mercados; portanto, a infraestrutura ajuda a combater sua exclusão social e econômica.

Segundo o Banco Interamericano de Desenvolvimento BID (2010), os três fatores que sugerem o desenvolvimento de infraestrutura capazes de estimular o comércio e a integração são:

- **Impacto no Comércio Internacional:** As cadeias de fornecimento globais tornaram-se mais integradas nas últimas décadas e a produção é cada vez mais segmentada entre países e continentes. A infraestrutura de má qualidade pode efetivamente excluir alguns países das cadeias de suprimento de manufaturas altamente complexas, sensíveis ao tempo, que tendem a ter um benefício maior. O BID (2010), constatou que os países da América Latina têm custos de frete mais elevados para os Estados Unidos do que outros países – mesmo países muito mais distantes geograficamente, como a China. Eles estimam que os custos de transporte são mais de quatro vezes mais significativos que os custos de tarifas na América Latina. Em parte devido as rotas das linhas dos navios.
- **Impacto na competitividade:** observando do ponto de vista da qualidade e quantidade de infraestrutura para explicar o diferencial de crescimento entre os mercados da Ásia Oriental e outros países em desenvolvimento, acha-se que os altos custos de transporte servem para limitar o potencial de produtores eficientes e assim conseguem expandir e exportar, enquanto “protegem” ou mantem produtores domésticos ineficientes. O custo dos atrasos não está apenas nas barreiras ao comércio de produtos existentes, mas no custo de oportunidade de produtos que não são exportados como resultado dos custos de transporte das mercadorias. (BID, 2010).
- **Impacto no desenvolvimento:** A infraestrutura apoia o crescimento e a redução da pobreza diretamente, servindo como um fator de produção, e indiretamente, facilitando o progresso tecnológico. Como apontado por Straub e Terada-Hagiwara (2011), um aumento no estoque de capital de infraestrutura é visto como tendo um impacto direto no aumento da produtividade de outros fatores. Melhorar a infraestrutura de transporte aumentaria o acesso à atividade econômica, mitigaria assim a desigualdade de renda.

Para tanto, indo em contrapartida aos impactos de melhoramentos de infraestrutura para empresas e demais setores da sociedade, tem-se que os problemas de infraestrutura, segundo Kussano e Batalha (2012) afetam o agronegócio dos mercados internacionais de commodities, gerando perda de competitividade.

## 2.5 NAVEGABILIDADE EM HIDROVIAS INTERIORES

Padovezi (2003) descreve a comparação da navegação nas hidrovias do interior com a navegação oceânicas, afirmando que os rios apresentam condições de navegabilidade

variáveis ao longo do ano, enquanto o oceano mante as condições de operabilidade praticamente o tempo todo. Geralmente é comum encontrar dificuldades na utilização dos rios para a navegação devido principalmente as restrições de largura, comprimento e profundidade.

Ainda segundo Padovezi (2003), existem quatro fatores de interferência na interação hidrovia e a embarcação:

- Pelas dimensões, configurações e velocidades das embarcações, que geram ondas afeitando a estabilidade das margens, o efeito Squat (efeito de sucção do casco no fundo do rio) e a material sólido suspenso na água (efeito pela ação de propulsores);
- Manobrabilidade das embarcações e as potências instaladas, diretamente em relação com o nível de riscos de ocorrência de acidentes em gargalhos da hidrovia;
- Tráfego de comboios ou embarcações, efeitos maiores das passagens de embarcações e riscos de acidentes;
- Vazamento ou poluição da água por óleo ou por rejeitos sólidos, por acidente ou erros operacionais.

Para Paulauskas (2012), a avaliação de parâmetros endógenos e exógenos da hidrovia são fatores de fundamental importância para a segurança da navegação e o dimensionamento do canal navegável.

Existem quatro tipos de manobra muito diferentes na via fluvial: ultrapassando, passando, girando e passando sob uma ponte. Nesse sentido, as manobras de navegação como a redução de velocidade e navegação cautelosa entram na análise no critério de escolha de embarcações e desenho de canais (PRŠIĆ, 2011).

Para Padovezi (2003), a direção na navegação do rio sinuoso é tão rara que não existe como regra; pode-se considerar que a navegação é da curva para a contracurva. A partir da largura da via, a navegação na curva, o ângulo de desvio do navio ou do comboio rígido na curva é mais ou menos igual ao ângulo de contorção do navio ou do comboio rígido na direção e os trilhos são mais ou menos da mesma largura.

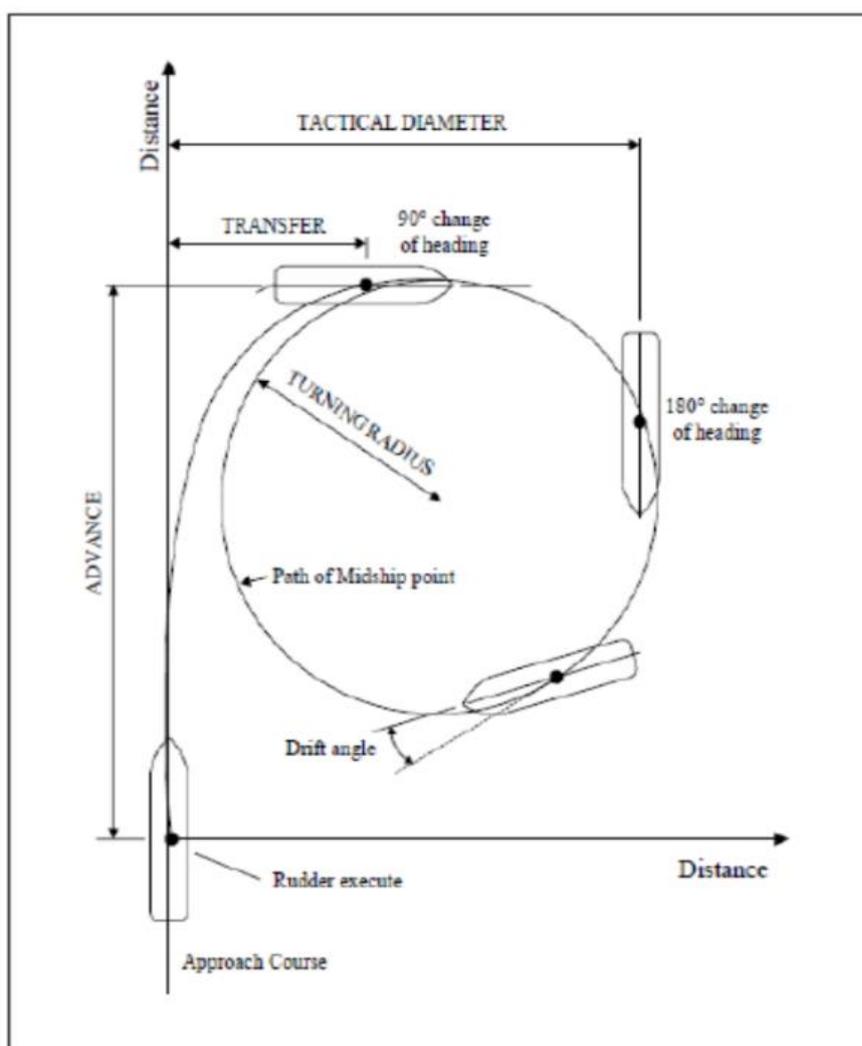
Ainda segundo Padovezi (2003), sendo muito importante tanto para a segurança da navegação como para o desempenho econômico do transporte, manobras adequadas e melhores respostas do comboio ao governo, compensam os efeitos de forças externas existentes (ondas, ventos, correntes) controlando o rumo eficientemente e diminuindo riscos de acidentes.

Sistemas que permitam manobrabilidade eficiente, reduzindo tempos e custos da transportação são recomendados para as configurações dos comboios padronizados. A proposta neste estudo considera as embarcações principais com propulsões azimutais que resultam em ótimo desempenho nas manobras, com custos intermediários (PADOVEZI, 2003).

Da mesma forma, a IMO (2018), fala que a manobrabilidade do comboio é considerada boa ou aceitável de acordo aos seguintes critérios:

- Capacidade de Guinada: O avanço não deve ultrapassar 4,5 comprimentos do navio (L) e o diâmetro tático não deve exceder 5 comprimentos do navio na manobra de troca de direção. (Figura 3);
- Capacidade de manutenção de proa e rumo,
- Capacidade de parada: A distância em curva percorrida pela embarcação não deve exceder 15 comprimentos do navio.

**Figura 3** - Capacidade de Guinada



**Fonte:** Guide for Vessel Maneuverability – American Bureau of Shipping (ABS), (2006)

Na Figura 3 tem-se mostrando a relação para o raio de giro com as outras medidas da manobra de forma “satisfatória” ou “boa”; onde claramente o diâmetro tático é maior que diâmetro de giro. Então, um navio cujo diâmetro tático seja igual ou inferior a 5L

(“satisfatório”), não apresentará um raio de giro de, digamos  $3L$ , pois o diâmetro de giro seria  $6L$  e o diâmetro da curva seria ainda maior.

A IMO (2018), estabelece um paralelo com a condição inicial de  $2,5L$  máximos para resposta ao comando de leme, infere que esse trecho retilíneo  $> 5L$  acomoda as duas manobras necessárias (sair da curva anterior e iniciar a curva subsequente).

Segundo PIANC (2014) na guia de desenho de canais navegáveis, o qual instrui sobre a realização de cálculo da largura do canal navegável; e em comparação com o manual de Engenharia EM 1110-2-1611 do USACE (*The United States Army Corps of Engineers*), que aborda o cálculo da largura do canal segundo o alinhamento dele; portanto, os fatores chave interligados para o desenho de canais navegáveis são: alinhamento, largura e profundidade.

O alinhamento do canal deve-se desenhar de acordo a:

- O menor comprimento do canal;
- Condições/bacias, etc., em qualquer das extremidades do canal;
- A necessidade de evitar obstáculos ou áreas de assoreamento de difícil remoção ou que requeiram manutenção ou dragagem excessivas (e conseqüentemente dispendiosas).

Ventos, correntes e ondas predominantes;

- Evitar curvas em proximidades de entradas de portos.
- A borda do canal deve ser de tal modo que navios que passem ao longo dela não causem perturbações ou avarias.
- O desenho de vias navegáveis considera canais retos ligados por curvaturas abertas não fechadas, inclusive sabendo que se pode navegar a diferentes velocidades de acordo as larguras e profundidades dos trechos.

Segundo PIANC (2014), o alinhamento no desenho de canais navegáveis deve-se avaliar em relação dos efeitos e interferências de acordo com as características físicas das hidrovias;

assim:

- Largura menor do canal.
- Condições da hidrovia. Ao início como ao fim do canal.
- A necessidade de evitar obstáculos ou obras de arte.
- Condições ambientais de vento, correnteza e ondas.
- Evitar trechos curvos especialmente nas proximidades de portos.

- Do meio ambiente tanto nos lados como à ultrapassagem dos navios causando interferências ou danos.

De acordo com Padovezi (2003), a perda de velocidade de navegação é consequência dos efeitos sobre a segurança da navegação, sobre o meio ambiente e sobre a eficiência do transporte. Tal que gera a necessidade de maior tempo de deslocamento, possíveis manobras adicionais, limitando a competitividade e consequentemente a diminuição de lucro.

Na Tabela 1 se relaciona as características pesquisadas das duas referências antes mencionadas, com os efeitos mais comuns.

**Tabela 1** - Tabela dos efeitos no desenho de canais navegáveis

Características	Efeito sobre		
	Eficiência do Transporte	Segurança na Navegação	Meio Ambiente
<b>Física da Hidrovia</b>			
<b>Baixo Calado</b>	Perda de velocidade e maior consumo de combustível.	Possíveis choques no fundo; perda de velocidade e manobrabilidade	Efeito Squat e a sucção e arraste do material no fundo
<b>Largura Estreita</b>	Redução de velocidade	Choques nas margens	Interferência nas margens pelas ondas geradas. (Erosão)
<b>Curva Fechada</b>	Acréscimo do tempo pelos movimentos adicionais de manobra	Necessidade de manobras adicionais, gera possíveis batimentos nas margens	Possível choque com margens, troca do curso do rio.
<b>Obras de Arte</b>	Tempo adicional de manobra, restrições de altura, comprimento e boca	Colisões e danos estruturais	De acordo a o tamanho gera impacto indireto pela construção.
<b>Materiais Flutuantes</b>	Perda de viagens ou tempo pelas reparações. Custos adicionais de atracação em outros portos.	Possíveis choques no casco, leme, propulsores ou danos estruturais.	Contaminação indireta
<b>Condições ambientais adversas (correnteza forte)</b>	Acréscimo no tempo de viagem, consumo de combustível.	Perda de controle, barramentos, colisões, afundamentos. Maior exigência nas manobras e potência dos motores	---
<b>Ondas</b>	Acréscimo de consumo de combustível pelo aumento de resistência ao avanço.	Movimentos inesperados com risco de ruptura dos cabos assim como instabilidade da embarcação com fundo plano	Erosão nas margens e aumento de material particulado no fundo.
<b>Variações de nível d'água</b>	Problemas operacionais e restrições de peso, maior custo dos fretes	Barramentos e afundamentos	---

**Fonte:** Elaborado pelo autor, adaptado de PADOVEZI, (2003) e PIANC, (2014)

Corroborando o anteriormente exposto, para mitigar uma parte dos efeitos ambientais quando a hidrovia passa por locais que pertencem aos Parques Nacionais ou são Reservas Ecológicas,

seria se a padronização considerasse as autonomias dos comboios e navios como de longo curso; nesse sentido, da mão das novas tecnologias é factível manter as zonas protegidas sem contato nas margens. Além que, pode-se considerar a navegação noturna para manter o percurso sem paradas o tempo todo.

## 2.6 DIMENSIONAMENTO OU PADRÃO DA FROTA NA HIDROVIA

Segundo Giordano (2017), não existe um padrão definido para frota na hidrovia, sendo que atualmente essas frotas que percorrem os trechos da hidrovia dependem do fornecedor ou da necessidade do embarcador. Porém, no informe do BNDES (2018), estabelece que existem 22 tipos de embarcações para a navegação do interior. Destacam-se 11 desses, pois englobam embarcações de grande porte basicamente, as que transportam de cargas, a saber:

- Balsas;
- Barcaças;
- Chatas;
- Embarcações de passageiros/carga geral;
- Graneleiros;
- Embarcações de carga geral;
- Petroleiros;
- Embarcações de carga refrigerada;
- Dragas;
- Gases líquidos; e
- De passageiros/roll-on/roll-off.

Os cinco primeiros tipos correspondem ao 63% da frota no estudo, contabilizando 1.653 embarcações. Portanto, neste estudo somente os tipos restantes ficarão fora da análise (NUNES; RAMALHO; MENDES, 2018).

A percentagem denotada anteriormente é evidencia em virtude de as embarcações utilizadas na navegação interior serem embarcações de baixa complexidade, baixo conteúdo tecnológico e porte pequeno, quando comparadas com navios de apoio a plataformas. Tendo em vista isso, visando uma melhor utilização do transporte hidroviário na região, a expansão e a modernização da frota seria necessária (NUNES; RAMALHO; MENDES, 2018).

Segundo a Agencia Nacional de Transporte Aquaviário – ANTAQ (2018), somente no Brasil, 440 empresas estão autorizadas para operar no interior das vias hidro navegáveis, 214 delas operam na região amazônica, 7 delas na região sul-sul e 3 delas unicamente na hidrovia Paraguai-Paraná.

Ainda segundo ANTAQ (2018), o transporte de carga é feito por balsas, barcaças e chatas. Na Região Hidrográfica do Paraná, utiliza-se 14 balsas, sete barcaças e 39 chatas, todas com as dimensões de sessenta (60) metros de comprimento por 11 metros de boca. Ademais, na Região Hidrográfica do Paraguai, opera-se com 23 chatas, com as dimensões de sessenta por 12 metros, e 11 barcaças com as mesmas dimensões.

Segundo Ratton (2016), os tipos de embarcações utilizadas nas hidrovias precisam de algumas características gerais desejáveis para a utilização nas hidrovias:

- Calado compatível com a hidrovia;
- Dimensões adequadas aos raios de curvatura da hidrovia;
- Boa manobrabilidade;
- Ampla visibilidade;
- Recursos para desencalhe;
- Capacidade de armazenamento de combustível;
- Tratamento da água do rio;
- Radar;
- Holofote com foco direcional;
- Ecobatímetro (sondagem – profundidade da água)

## 2.7 IDENTIFICAÇÃO DAS EMBARCAÇÕES TIPO NA HIDROVIA

Segundo Ratton (2016), a Marinha do Brasil em 2006 regulamentou as dimensões máximas do comboio no rio Paraguai, na maior parte dele, com a configuração 2x3 (24x140m). Para outras partes do rio, canal mais largo e profundo, foi definido o comboio de 4x4 (48x290m); em outras palavras, as dimensões da embarcação tipo estão de acordo com as características hidro morfológicas de cada trecho da hidrovia.

Logo, segundo as diretrizes da PIANC (2014) no relatório de desenho de canais navegáveis e corroborando o anteriormente exposto, podemos inferir que a correta dimensão das chatas ou barcaças deve considerar fatores como: as dimensões máximas do canal, a manobrabilidade, operabilidade inerente aos portos, largura dos comboios, tipos de carga ou cargas perigosas. Desta forma, deve-se assegurar que a embarcação tipo definida para o canal de navegação vai navegar com segurança.

Portanto, o estudo deve escolher preliminarmente as dimensões de barcaça em concordância com os trechos escolhidos da hidrovia; sendo que a batimetria é específica de cada zona ou subdivisão, conforme evidencia-se no exemplo de medidas aleatórias, destacado na Tabela 2.

**Tabela 2** - Comprimento e boca de embarcações aleatórias

<b>Tipo de trecho</b>	<b>Comprimento da Embarcação</b>	<b>Boca da Embarcação</b>
Trecho de comprimento menor	50	10
Trecho de comprimento meio	60	10
Trecho de comprimento maior	60	12

**Fonte:** Elaborado pelo autor. Baseado em informações aleatórias.

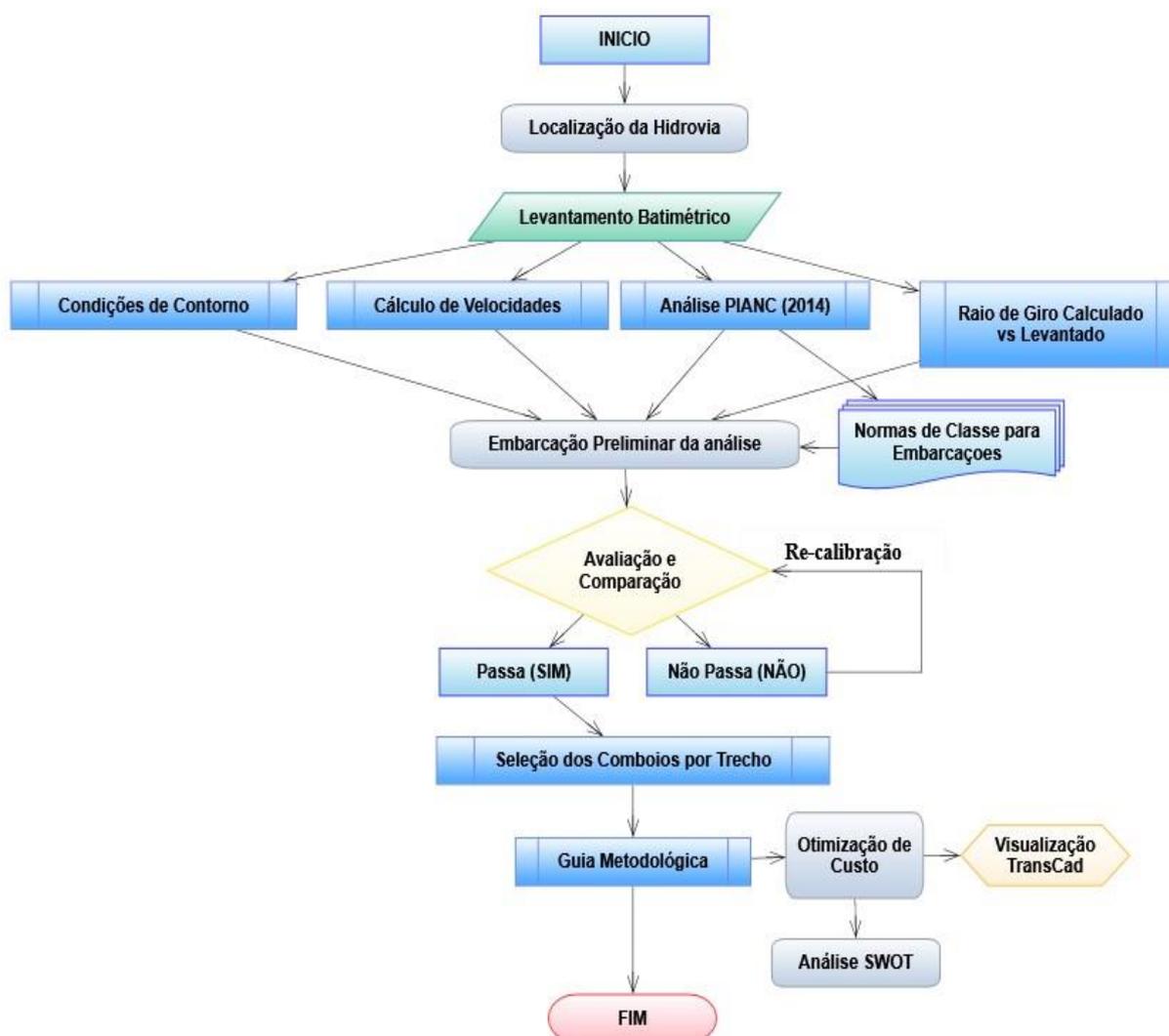
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Corroborando com as informações supracitadas e por intermédio do entendimento do tipo de pesquisa realizada, deve-se destacar que para conclusão dos objetivos propostos, o trabalho em questão buscou como premissa de sua construção a execução a aplicação de procedimentos metodológicos. Para tanto, no presente capítulo apresentam-se as informações referentes aos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa em questão.

#### 3.1 FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DO TRABALHO

Esta seção visa apresentar o fluxograma desta dissertação, com ênfase no modelo de seleção, explicando o método de avaliação, as restrições de contorno e a aplicação do modelo de otimização que finaliza com a guia metodológica para seleção de embarcações padrão para hidrovias; conforme a disposição na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma do Trabalho



Fonte: Elaborado pelo Autor

### 3.2 OBTENÇÃO DE DADOS

Os dados e informações batimétricas, das hidrovias de análise, foram coletados das organizações nacionais ANTAQ, Serviço de Hidrografia Naval da Argentina - SHN, Marinha do Paraguai, Marinha da Bolívia; do site da internet “Navionics.com” para as fotografias de georeferência, e finalmente dos códigos e regramentos dos países com hidrovias comumente utilizadas.

### 3.3 NORMATIVA DE REFERÊNCIA

No que diz respeito às normas adotadas para a análise e dimensionamento da via navegável, sabe-se da existência de diversas, sendo cada uma idealizada para realidade e para as características do país responsável por elaborar a norma. Destacam-se normas como a Recomendações de Obras Marítimas (ROM) utilizada pelo governo espanhol, a Canadian Coast Guard (CCG) utilizada pelo Canadá, o Coastal Engineering Manual utilizada pelo United States Army Corps of Engineers (USACE) e a utilizada pela Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC). Para a presente pesquisa, fez-se uso do Relatório 121 de PIANC (2014).

Com sua origem no ano de 1885, a PIANC é a principal fonte normativa do setor privado e governamental na criação, desenvolvimento e manutenção de guias para portos, vias navegáveis e áreas costeiras. A PIANC reúne os melhores especialistas internacionais em questões técnicas, econômicas e ambientais das infraestruturas de transporte aquático. Os membros incluem governos nacionais e autoridades públicas, corporações e pessoas interessadas (PIANC, 2014).

Tendo em vista que a pauta para a análise das normativas referentes ao desenho de canais de navegação em vias navegáveis interiores, esta dissertação fundamentou-se nos critérios discriminados por PIANC (2014), obteve-se o desenvolvimento da metodologia para padronização de embarcações para hidrovias, na qual foram selecionados os parâmetros de largura e profundidade máxima para o canal para a posterior determinação do comboio padrão. Porém, esta dissertação foi desenvolvida enquanto o relatório da PIANC N° 141 ainda não estava disponível já que foi publicado em fevereiro de 2019.

Segundo esta normativa para a determinação de uma embarcação padrão, o cenário proposto analisou e avaliou os parâmetros físicos da hidrovia (largura, profundidade, raio de giro) tanto para cada um dos trechos de referência como também de embarcações preliminares de boca e comprimento (BxC) conhecidas; gerando inputs para o modelo de seleção da embarcação padrão discriminado por trecho.

Nesse sentido, calculou-se para cada trecho de hidrovia a relação profundidade/calado, raios mínimos de curvatura, o fator de manobrabilidade, relação velocidade/calado, número de chatas no canal, comprimentos adicionais, e comprimento máximo.

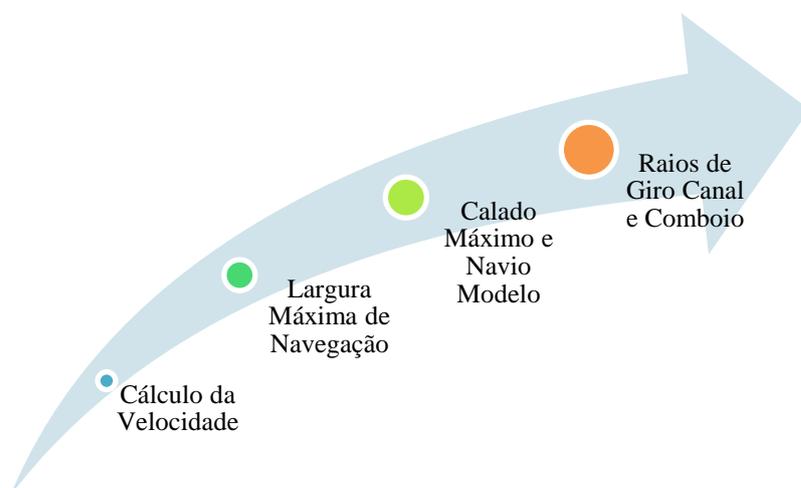
PIANC (2014) considera o efeito “*squat*”, em relação direta com a velocidade de passagem do navio; portanto para este estudo não foi considerado devido à baixa velocidade de tráfego; discutida no subcapítulo 3.2.2.5.

Outras considerações quanto aos serviços da hidrovia, custo por tonelada movimentada, quantidade de produto deslocado, foram levados a consideração para gerar o modelo de cálculo de otimização de custo.

Nesse sentido, foram empregadas fórmulas condicionais e algébricas na planilha de Excel para a análise e aprimoramento do modelo de seleção, buscando-se adaptá-los no critério de escolha dos comboios mais adequados para cada trecho da hidrovia.

A primeira etapa do trabalho consistiu em avaliar por fases os parâmetros batimétricos principais, do canal quanto da embarcação; explicadas na Figura 5.

**Figura 5** – Fases do Levantamento Batimétrico.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 3.3.1 Relação entre a Profundidade e a Velocidade

Segundo PIANC (2014), a resistência hidrodinâmica ao deslocamento de uma embarcação para águas pouco profundas tem a ver com a razão entre a velocidade e a profundidade definida pelo número de Froude, conforme evidencia a Equação 1.

$$F_{nh} = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (1)$$

Onde:

V é a velocidade dentro da água em m/s,

h é a profundidade da água sem perturbações em m,

$g$  é a aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>).

Quando  $F_{nh}$  se aproxima ou iguala um (1), a resistência ao movimento/deslocamento fica com valores maiores que a maioria dos navios/empurradores não possui suficiente poder nos motores para controlar o deslocamento. De fato, os navios não poderiam chegar sobre valores de 0,7. Portanto, existe uma barreira de velocidade efetiva para considerar. Porém, para o desenho recomenda-se utilizar esta limitante escolhendo a velocidade para conhecer a profundidade mínima necessária no canal de navegação. (Processo contrário).

Silva (2013) destaca que a velocidade de navegação influi nas dimensões do canal. Da mesma forma, a velocidade operacional nas hidrovias é da ordem de 10 km/h (2,8 m/s); baixa se comparada com outros modos de transporte (Ferro, rodo e aeroviário). Porém, os navios porta-barcaça podem trafegar com maior velocidade nas hidrovias.

Segundo Pompermayer (2014), no Brasil, a velocidade de navegação na hidrovia Paraná é de 15 km/h (4,2 m/s).

Em sequência, obtiveram-se as diferentes velocidades do comboio, a partir da profundidade do canal das cartas náuticas ao longo do rio. A relação calado/profundidade utilizada foi o valor de 1,4 vezes o calado da embarcação maior. Fator mínimo recomendado para hidrovias segundo Caprace (2013). Em outras palavras, se a profundidade disponível é da ordem de 1,0 metros, o calado máximo do comboio seria de 0,71 metros; considerando o nível de redução.

### 3.3.2 Largura do Canal Navegável.

PIANC (2014) considera a largura da via navegável unidirecional ou bidirecional, em alguns casos é considerada crítica durante o nível baixo de água navegável (seca); portanto, algumas hidrovias têm restrições. Geralmente a largura constitui-se por dois cursos navegáveis paralelos, para navegação a montante e a jusante de um navio autopropulsionado ou de um comboio empurrado de fila única. As larguras do canal navegável para a navegação bidirecional, determina-se com base nos métodos teóricos e práticos disponíveis para todas as classes de cursos d'água.

#### 3.3.2.1 *Larguras Adicionais para Seções Retas de Canais ( $W_i$ )*

Segundo PIANC (2014) as larguras adicionais discriminadas na Tabela 3, estão relacionadas com a velocidade de passagem do comboio calculada na Equação 1; assim, foram escolhidas as variáveis com categoria de velocidade “baixa”, “moderada” ou “alta” para cada Carta Náutica ou “trecho menor”. Tal que, a boca da embarcação padrão seja multiplicada por o fator que resulta da somatória de acordo com o tipo de canal.

As Larguras adicionais  $W_i$  para seções retilíneas do canal estão relacionadas diretamente com: (PIANC, 2014)

- a. **Velocidade do Navio:** Conhecendo a velocidade da embarcação, avaliou-se as faixas de velocidade como: alta ( $>12$  nós), moderada ( $12 > W > 8$ ) e baixa ( $8 > W > 5$ ).
- b. **Velocidade do vento pelo través:** Os ventos correspondem aos fatores de interferência que dificultam a manobrabilidade, portanto afetam na largura de desenho do canal. Avaliados como: brando ( $\leq 15$ ), moderado ( $33 > W > 15$ ) e forte ( $48 > W > 33$ ), acrescentam a medida de boca respectivamente.
- c. **Velocidade da Correnteza pelo través e longitudinal:** As correntes transversais e longitudinais tem a capacidade de alterar a manobrabilidade, portanto limitam a capacidade da embarcação de manter o rumo ou sendo contrárias ao movimento, poderiam parar a mesma.
- d. **Altura de Onda:** Se a mesma se considera significativa, poderia gerar ângulo de deriva e abatimento, tanto em águas profundas quanto em águas rasas.
- e. **Auxílios à Navegação:** Correspondem aos sinais, balizas, sistemas de referência, etc., disponíveis para à navegação. Dependendo delas, afetam a largura de navegação como fator de segurança.
- f. **Tipo de Fundo:** Para profundidades menores do que 1,5 metros do Calado, tal efeito é considerado.
- g. **Profundidade da Hidrovia:** Quando a relação de profundidade é menor de 1,5; faz-se necessário o aumento na largura do canal de navegação.
- h. **Nível de Periculosidade da Carga:** segundo a PIANC (2014), São consideradas cargas perigosas aquelas transportadas contendo: toxicidade, potencial explosivo, potencial de poluição, potencial de combustão e potencial corrosivo.

Na Tabela 3, encontram-se detalhadas as quantidades de acrescentamento respeito de cada fator anteriormente mencionados.

**Tabela 3 -** Larguras adicionais  $W_i$  para seções retilíneas do canal

<b>LARGURA (<math>W_i</math>)</b>	<b>VELOCIDADE NAVIO</b>	<b>CANAL EXTERNO MAR ABERTO</b>	<b>CANAL INTERNO ÁGUAS ABRIGADAS</b>
Velocidade do navio (nós) - Alta > 12 - Moderada > 8-12 - Baixa 5-8		0,1 B 0,0 0,0	0,1 B 0,0 0,0
Vento pelo través (nós) - Brando < 15 (< Beaufort 4)  - Moderado > 15-33 (> Beaufort 4-7)  - Forte > 33-48 (> Beaufort 7-9)	Toda Alta Moderada Baixa Alta Moderada Baixa	0,0 0,3B 0,4B 0,5B 0,6B 0,8B 1,0B	0,0 -- 0,4B 0,5B -- 0,8B 1,0B
Corrente pelo través (nós) - Desprezível < 0,2 (0,1 m/s) - Fraca 0,2 - 0,5 (0,1 - 0,26 m/s)  - Moderada > 0,5 - 1,5 (0,26 - 0,77 m/s)  - Forte > 1,5 - 2,0 (0,77 - 1,02 m/s)	Toda Alta Moderada Baixa Alta Moderada Baixa Alta Moderada Baixa	0,0 0,1B 0,2B 0,3B 0,5B 0,7B 1,0B 0,7B 1,0B 1,3B	0,0 -- 0,1B 0,2B -- 0,5B 0,8B -- -- --
Corrente longitudinal (nós) - Fraca < 1,5 (0,765 m/s) - Moderada > 1,5 - 3 (0,77 - 1,53 m/s)  - Forte > 3 (>1,53 m/s)	Toda Alta Moderada Baixa Alta Moderada Baixa	0,0 0,0 0,1B 0,2B 0,1B 0,2B 0,4B	0,0 -- 0,1B 0,2B -- 0,2B 0,4B

Auxílios à Navegação			
- Excelentes com controle de tráfego com base em terra		0,0	0,0
- Bom	--		
- Moderado com baixa visibilidade ocasional		0,1B	0,1B
		0,2B	0,2B
- Moderado com baixa visibilidade frequente		>0,5B	>0,5B
Tipo de fundo			
- Se profundidade > 1,5 T		0,0	0,0
- Se profundidade < 1,5 T, então	--		
- Liso e mole		0,1B	0,1B
- Liso ou inclinado e duro		0,1B	0,1B
- Irregular e duro		0,2B	0,2B
Profundidade da hidrovia			
- > 1,5 T	--	0,0	0,0
			< 1,5 - 1,15 T
- 1,5 - 1,25 T		0,1B	0,2B
			< 1,15 T
- < 1,25 T		0,2B	0,4B
Nível de periculosidade da carga			
- Baixo	--	0,0	0,0
- Médio		0,5B	0,4B
- Alto		1,0B	0,8B

Fonte: PIANC – Relatório 121 (2014)

Para trechos em curva, PIANC (2014) recomenda uma limitação para o ângulo do leme, conforme transcrito a seguir.

“... sugere-se empregar como parâmetros, raios de curvas e larguras de faixas de trajetórias varridas em que o navio-projeto empregue um ângulo constante de leme, menor do que seu ângulo máximo de manobra. Comandantes de navios normalmente ficam felizes em empregar de 15° a 20° do ângulo máximo de leme em uma guinada; valores maiores deixam margem de segurança muito pequena e valores menores (que implicam em raios maiores) tornam a guinada difícil devido ao comprimento da trajetória e aos problemas de manejo de manter um navio precisamente em sua rota em uma curva suave”

Se considerarmos que o comboio faz curvas mais fechadas que o navio PIANC, como deve ser o caso, adotou-se um valor arbitrário igual a 2,0B para o cenário crítico, admitindo uma faixa varrida ainda maior e resultando no novo valor:  $W(\text{curva}) = 5,0B$ .

### 3.3.2.2 Largura Adicional para Distância de Margens

A contribuição da Tabela 4 deve ser considerada duas vezes, uma para cada margem PIANC (2014). Na mesma que relaciona dois parâmetros: a velocidade do navio e as características dos tipos de canais de acesso; para águas em mar aberto ou em águas abrigadas.

**Tabela 4** - Largura Adicional para Distância de Margens

<b>LARGURA PARA DISTÂNCIA DE MARGENS</b>	<b>VELOCIDADE NAVIO</b>	<b>CANAL EXTERNO MAR ABERTO</b>	<b>CANAL INTERNO ÁGUAS ABRIGADAS</b>
Margens de canal inclinadas e baixios:	Alta	0,7B	--
	Moderada	0,5B	0,5B
	Baixa	0,3B	0,3B
Penhascos e barragens, estruturas:	Alta	1,3B	--
	Moderada	1,0B	1,0B
	Baixa	0,5B	0,5B

Nota: Com referência: B = Boca.

Fonte: PIANC – Relatório 121 (2014)

Em concordância ao descrito anteriormente, a somatória dos valores nas Tabelas 3 e 4 é a largura mínima do canal com tráfego exclusivo (sem cruzamentos ou ultrapassagens) para os comboios. Mesmo que não esteja previsto tráfego nos dois sentidos, recomenda-se prever locais onde seja possível a ultrapassagem ou o cruzamento de embarcações.

### 3.3.2.3 Distância de Passagem $W_p$

Na Tabela 5 ilustra os parâmetros para a determinação da distância de Passagem -  $W_p$  entre embarcações. Segundo a PIANC (2014),  $W_p$  é um parâmetro que compreende a soma de uma distância de separação baseada na velocidade do navio e uma distância adicional baseada na densidade de tráfego.

**Tabela 5** - Largura adicional para a folga  $W_p$  entre o navio e a margem do canal.

<b>LARGURA PARA DISTÂNCIA DE PASSAGEM</b>	<b>CANAL EXTERNO MAR ABERTO</b>	<b>CANAL INTERNO ÁGUAS ABRIGADAS</b>
Velocidade do navio (nós)		
- Alta > 12	2,0B	--
- Moderada > 8 - 12	1,6B	1,4B
- Baixa 5 - 8	1,2B	1,0B

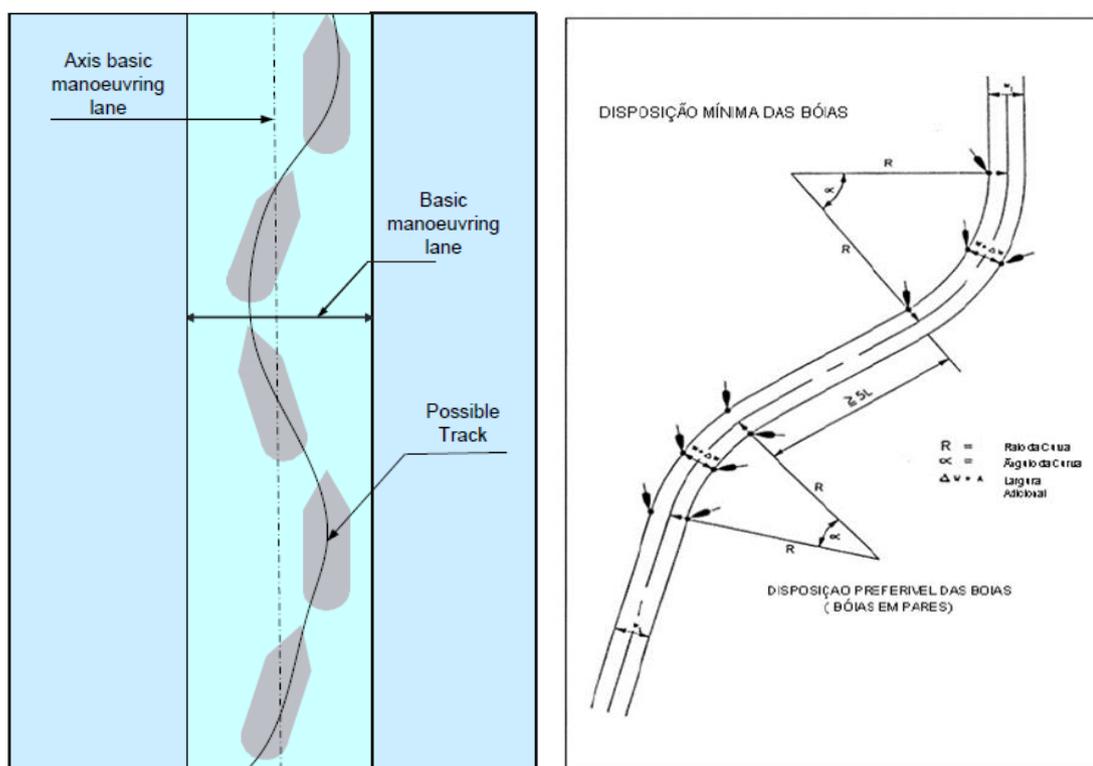
Densidade de cruzamentos		
- Baixa	0,0	0,0
- Moderada	0,2B	0,2B
- Alta	0,5B	0,4B

Nota: Com referência: B = Boca.

Fonte: PIANC – Relatório 121 (2014)

A Figura 6 ilustra a faixa básica de manobra da embarcação no desenho do canal de navegação.

**Figura 6 - Faixa Básica de Manobra.**



Fonte: PIANC – Relatório 121 (2014)

Para PIANC (2014) a largura do canal navegável para trechos retos, no tráfego de navios sem cruzamento, pode ser obtida com base na Equação 2.

$$W = W_{BM} + \sum_{i=1}^n W_i + W_{Br} + W_{Bg} \quad (2)$$

Onde:

- $W_{BM}$       Largura básica de manobra.
- $W_{Br} = W_{Bg}$       Larguras adicionais por efeito das distâncias de margens.  
Ou por efeito dos taludes laterais para uma dada velocidade.

- $W_i$  Larguras adicionais dos trechos retos da tabela 3.

Desse modo, visando à otimização das informações tomadas das Cartas Náuticas e facilitar o cálculo das larguras em trechos retos, foi desenvolvido, uma planilha Excel onde os dados de entrada foram inseridos manualmente para cada uma delas e, a partir disso, a somatória gerou a largura máxima do canal navegável (PIANC, 2014).

O cálculo da velocidade máxima de cada pequeno trecho segundo PIANC (2014), definiu-se o tipo de manobrabilidade. Porém, pela falta de dados mais completos sobre o comboio padrão, adotou-se a faixa Básica de Manobra – WBM diferenciado, porque esse parâmetro leva em conta a capacidade básica de guinar da embarcação (resposta aos comandos), mas inclui também o ‘fator humano’.

Assim, os valores referentes à faixa básica de manobra foram considerados como dependentes da boca da embarcação, conforme evidenciado na Tabela 6.

**Tabela 6** - Faixa Básica de Manobra WBM

Tipo de Manobrabilidade	Boa	Moderada	Pobre
Linha de manobrabilidade base	1.3B	1.5B	1.8B

Nota: B = Boca

Fonte: PIANC – Relatório 121 (2014).

Assim também para PIANC (2014), o ângulo de curvatura quando a embarcação navega sem ajuda nenhuma dos rebocadores, seu cálculo do giro do comboio torna-se a conta para a navegação segura. Neste estudo, tomou-se desde 1,5 a 2 comprimentos para águas profundas até 2,5 ou mais comprimentos para águas pouco profundas e sem vento.

#### 3.3.2.4 Considerações Adicionais na Largura

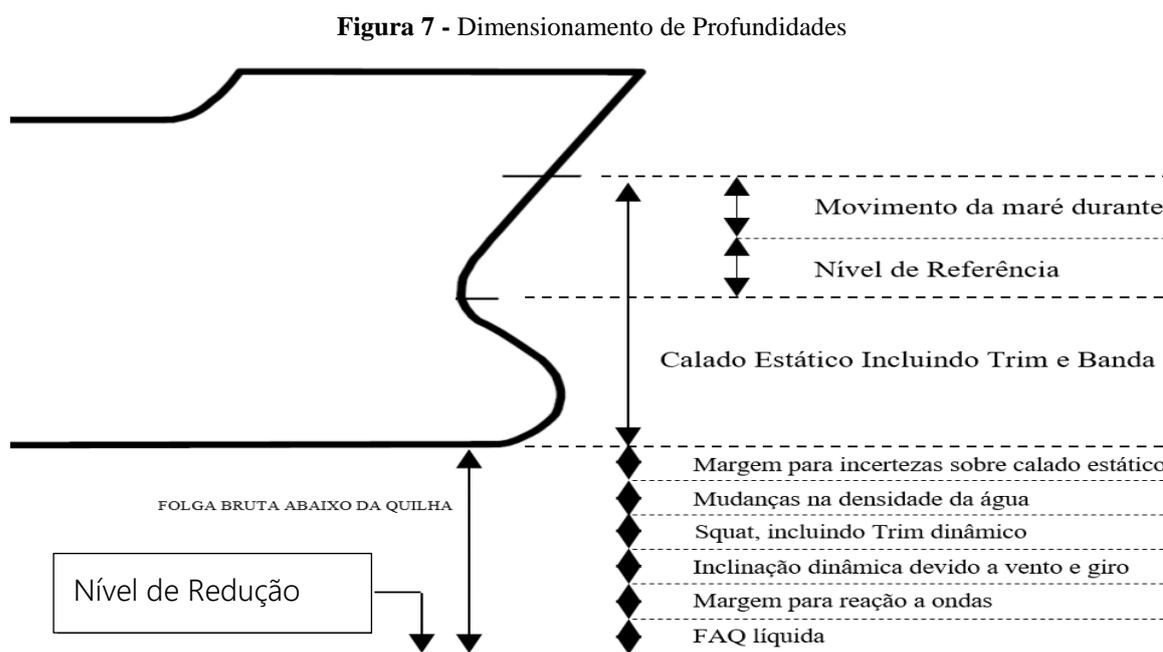
Adicionalmente às larguras adicionais ( $W_i$ ) detalhadas na Tabela 3, a questão da dinâmica das embarcações de controle manual, representa basicamente varrer um caminho de forma que a velocidade de resposta no leme junto com a habilidade do capitão seja tal que a embarcação ou comboio percorra pela linha de desenho dentro da largura do canal, evitando possíveis colisões. As considerações chave são:

- A manobrabilidade do comboio (vai variando de acordo à profundidade).
- A habilidade do capitão.
- As pistas visuais disponíveis na rota para o capitão.
- A visibilidade geral.

As duas primeiras são muito importantes, ainda que a importância das outras depende das ajudas tipo sinais e balizas na rota; ou simplesmente dos equipamentos eletrônicos tipo radar.

### 3.3.3 Profundidade da Via Navegável

A profundidade necessária do canal navegável, tanto nos canais como nos rios naturais, é determinada por uma série de fatores que afetam ao canal ou aos canais de navegação antes de se chegar a um valor aceitável de desenho; esses parâmetros podem ser observados na Figura 7 (PIANC, 2014).



Fonte: PIANC – Relatório 121 (2014).

Para a determinação da profundidade do canal navegável em navegação bidirecional, a navegação central na direção e velocidade total da embarcação ou do comboio são relevantes. A profundidade definida desta maneira é válida para toda a largura do canal de navegação. Em rios naturais menores, que atingem sua profundidade de canal navegável apenas para o calado máximo, recomenda-se reduzir o nível navegável menor em até 60% (que corresponde ao nível de água de 95%) a profundidade do canal navegável da profundidade calculada para o calado máximo. Está sendo adotado que os rios canalizados, que são construídos quase como cursos de água artificial destinados à navegação, devem garantir a navegação segura com calado máximo em nível baixo de água navegável correspondente ao nível de água de 95% de duração (PRŠIĆ, CAREVIĆ & BRČIĆ, 2011).

Assim, PIANC (2019) e Caprace (2013) recomendam utilizar a relação de calado/profundidade para desenho de embarcações de 1,4 segundo a profundidade do canal.

Neste sentido, calculou-se para cada Carta Náutica o calado máximo de passagem da embarcação ou comboio padrão. Logo, com os parâmetros de comprimento e profundidade conhecidos, foi fatível determinar e selecionar os tipos de comboios preliminares de desenho para o padrão final.

### 3.3.3.1 Efeito Squat

De acordo com PIANC (2014), em termos básicos, este movimento de uma determinada embarcação pode ser definido como:

*Squat* é a tendência de um navio a afundar quando em movimento, dessa maneira reduzindo a lâmina d'água sob sua quilha. O *Squat* depende muito da velocidade e é acentuado (podendo se tornar crítico) em águas rasas. Assim, é prudente verificar a velocidade do navio em trânsito para não perder a maré e manter sua manobrabilidade.

Ainda segundo esta normativa, existem diversas maneiras de se determinar o *Squat*, seja através de formulações (Tabela 7) ou por auxílio de gráficos e ábacos considerando-se as características particulares de cada local, para águas abertas ou em águas restritas. Porém, estabelecer um valor mínimo para a proporção profundidade/calado, se considera uma maneira simples de levar em consideração o efeito *Squat*. Geralmente, o máximo *Squat* ocorre na proa dos navios, considerando o coeficiente de bloco ( $C_B$ ).

**Tabela 7** – Fórmulas empíricas do cálculo de efeito Squat

Fórmula Squat	Configuração		
	Não restrita	Restrita	Canal
Tuck (1966)	Sim	Sim	Sim
Huuska/Guliev (1976)	Sim	Sim	Sim
ICORELS (1980)	Sim	(Sim)	Não
Barrass3 (2002)	Sim	Sim	Sim
Eryzlu2 (1994)	Sim	Sim	Não
Romisch (1989)	Sim	Sim	Sim
Yoshimura (1986)	Sim	Sim	Sim

Nota: ICORELS as vezes é usado para configurações não restritas, mas foi desenvolvida para configurações restritas somente.

Fonte: PIANC – Relatório 121 (2014).

O efeito *Squat* sempre presente, é de menor impacto nas embarcações menores, velocidades mínimas e canais relativamente profundos (PIANC 2014). Preliminarmente pode-se fazer uso da fórmula de ICORELS (1980), conforme discriminado na Equação 3.

$$Squat (m) = C_s \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1-F_{nh}^2}} \quad (3)$$

Onde:

$\nabla$	Volume de deslocamento ( $m^3$ ) = (CB . Lpp . B . T );
Lpp	Comprimento entre perpendiculares;
B	Boca do navio (m);
T	Calado do navio (m);
CB	Coefficiente de bloco;
Fnh	Número de Froude de Profundidade.

No entanto, nesta pesquisa o efeito *Squat* não foi calculado devido a uma baixa velocidade de passagem na hidrovia. Nesta velocidade em média foi menor a 3,08 m/s (5,98 nós). Segundo a PIANC (2014), valores de velocidades maiores a 6 nós, o efeito *Squat* começa ter efeito em canais pouco profundos.

### 3.4 ANÁLISE DAS NORMAS DE CLASSE PARA EMBARCAÇÕES

A análise das normas focou-se na comparação dos tipos de classes utilizados na navegação por canal. Deste modo, esta seção buscou encachar o padrão da embarcação tipo de hidrovias baseando na metodologia de classificação de canais navegáveis.

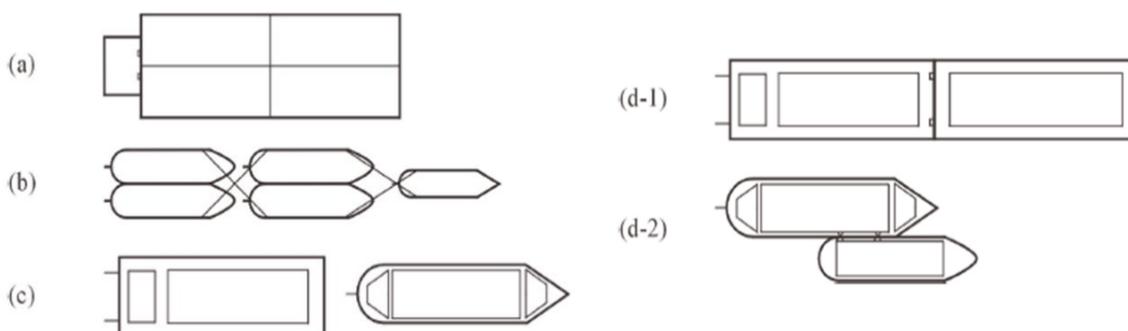
#### 3.4.1 Padronização Europeia

Os tamanhos de classificação dos rios maiores são focados no transporte de contêineres intermodais em comboios de barças impulsionadas por um empurrador. Em 2004, os padrões foram estendidos com quatro tamanhos menores RA-RD cobrindo embarcações de recreio, que foram originalmente desenvolvidas e propostas pela PIANC. A proposta de acrescentar os tamanhos recreativos foi adoptada pela Resolução 52 da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas. Devido também a que a maioria dos canais do Reino Unido tem eclusas menores e cairia abaixo das dimensões do sistema de classificação europeia. Assim, a classe I corresponde à histórico calibre de Freycinet decretado na França em 1879. Segundo os dados da Comissão Económica Europeia, as Comissões de Transporte de Hidrovias do Interior da comunidade Europeia, associações nacionais e várias outras organizações científicas de países na Europa, descrevem que os deslocamentos pelas hidrovias interiores são muito importantes posto que, diminuem os custos de fretes, o consumo de combustíveis e proporcionam maior deslocamento de cargas com pouco equipamento, mais segurança nacional, transporte sustentável, fatos estes que implicam em alívio para os sistemas de transportes terrestres (CEPAL, 2016). Ainda CEPAL (2016) afirma que a rede Europeia de hidrovias pode-se dividir em quatro sistemas menores conectados assim:

- Sistema Navegável Noroeste: Formado principalmente pelos rios Rhine, Elba, Odra, Vístula e outros rios e canais.
- Sistema Navegável Sul-oeste: Rios Rhone, Seine, Saone, Marna e outros rios e canais.
- Sistema Navegável do Danúbio: Inclui Canais e tributários.
- Sistema Navegável Este: Formado pelos rios Volga, Dnepr, Dniester, Don, lagos, canais e outros rios.

Assim também, na Figura 8, as frotas de transporte de cargas se dividem de acordo com a tecnologia envolvida.

**Figura 8** - Frota de Transporte e tipos de comboios/navios na Europa.



Nota: a) Barcaça – Empurrador; b) Barcaça – Rebocador c) Barcaça auto propelida ou navio ao motor; d1) Barcaça auto propelida com barcaça empurrada d2) Barcaça auto propelida com barcaça rebocada.

Fonte: CEPAL (2016).

Segundo o CEMT/ITF *The European Classification System* (1992), a classificação europeia padronizou as redes navegáveis pelos tamanhos das obras de arte presentes nas hidrovias; porém que, a dimensão para cada é limitada pelas estruturas, foram ampliadas ou reconstruídas ao longo do tempo. Logo, no relatório 141 da PIANC (2019) foram atualizadas as informações da classificação europeia.

As classes da classificação segundo PIANC (2019), estão de acordo com a Figura 9.

**Figura 9** - Classificação Europeia

Class	Motor vessel (m)			Pushed convoy (m)			Coupled units (m)		
	Beam	Length	Draught	Beam	Length	Draught	Beam	Length	Draught
I	5.05	38.5	2.5	5.2	55	1.9	5.05	77-80	2.5
II	6.6	50-55	2.6	6.6	60-70	2.6			
III	7.2-8.2	55-85	2.6-2.7	7.5-8.2	80-85	2.6-2.7			
IVa	9.5	80-105	2.9-3.0	9.5	85-105	3.0			
IVb							9.5	170-185	3.0
Va	11.4	110-135	3.5	11.4	95-135	3.5-4.0			
Vb				11.4	170-190	3.5-4.0	11.4	170-190	3.5-4.0
Vla	13.5-17.0	110-135	4.0	22.8	95-145	3.5-4.0	19.0-22.8	85-110	3.0-4.0
Vlb				22.8	185-195	3.5-4.0	22.8	185	3.5-4.0
Vlc				22.8	270	3.5-4.0			
Vlla				34.2	195	3.5-4.0			

Fonte: PIANC (2019).

Sendo que segundo a CEMT/ITF (1992):

- A classe I, é a tradicional “Péniche freycinet” para a profundidade de 1.80 m e a Spits, denominação franco-belga, para a profundidade de 2.20 m, as quais carregam de 350 a 400 toneladas.
- A classe II, denominada de “Kempenaar” na Holanda e de “Campinois” na França, tem um porte maior que a freycinet transportando até 600 toneladas com o calado de 2.50 m.
- A classe III, denominada DEK (Dortmund-Sem-Kanaal), gabarito do canal que liga Dortmund à Sem, por ter maiores dimensões transporta 1.000 toneladas.
- A classe IV, denominada RHK (Rhein-Herne-Kanaal), gabarito do canal do rio Reno ao rio Herne, é o gabarito alemão, tendo sido adotado como norma para a navegação fluvial da Europa Ocidental. As embarcações RHK transportam 1.250 toneladas com o calado de 2.50 m.
- A classe IV A, uma variação da classe IV para embarcações tipo cisternas, para petróleo e gás, exigem profundidades de 3.00 m e eclusas de 110.00 m, transportando até 1.800 toneladas.
- A classe V (ou Va), denominada de “Grand rhénam”, é a embarcação de grande gabarito do Rio Reno. Suas dimensões permitem tonelage de 1.600 toneladas para calado de 2.70 m, até 3.000 toneladas para o calado de 3.50 m. esta classe também engloba a barça única com o empurrador.
- A classe VI (ou Vb) abrange exclusivamente os comboios composto por diversas barças empurradas por um rebocador. Dependendo da composição desses comboios, 2, 4 ou 6 barças, a tonelage transportada varia de 4.600, 10.000

até 18.000 toneladas. Em função da largura das eclusas da classe VI (12.00 ou 24.00 m) os comboios são reagrupados para transpô-las.

### 3.4.2 Padronização na China

Segundo o Banco Mundial – BM (2009), a China tem 123.000 km de vias navegáveis, dos quais 61.000 km são classificados, e cerca de 24.000 km são considerados "comercialmente significativo". A distribuição de hidrovias está principalmente no centro e no sul da China, com exceção de alguns trechos navegáveis no Nordeste.

As vias navegáveis interiores da China são principalmente o rio Yangtzé, o rio das Pérolas, o Grande Canal e o rio Heilong Jiang. A característica do transporte hidroviário interior na China é grande em escala. Entre o total navegável, o canal classificado é de apenas 50%, o canal competitivo é de apenas 13%. (BM, 2009).

Depois dos trabalhos feitos nos meandros do rio Yangtzé no ano 1950, permite que a artéria mais importante da rede de hidrovias da China seja navegável durante todo o ano. Quando é alto no verão o Yangtzé é navegável de sua foz até Chongqing. Tais melhorias permitiram que os serviços regulares de passageiros e carga fossem operados no Yangtzé.

A dragagem e outras melhorias nas vias navegáveis interiores foram importantes para a reconstrução econômica; o governo chinês também investiu em infraestrutura de transporte de água, construindo novos portos e reconstruindo e ampliando instalações mais antigas. De acordo com o China Daily, a hidrovia de 12,5 metros de profundidade tem 431 quilômetros e permite a passagem de navios com mais de 50.000 toneladas. Embarcações com capacidade de até 100.000 toneladas também podem navegar pela hidrovia. Antes do projeto de dragagem, a profundidade da hidrovia era de apenas 10,5 metros, limitando as embarcações a 30.000 toneladas. (BM, 2009).

A China tem um sistema tripartido de gestão do transporte das hidrovias do interior. O Ministério de Transporte é responsável pelas políticas gerais e regulação do setor das hidrovias, assim como o planejamento dos sistemas hidroviários nacionais importantes. Com mais de 183.000 navios em todo o seu sistema navegável, a China tem, de longe, a maior frota de navios de carga. No entanto, enquanto a China implementou medidas de apoio à política para encorajar embarcações maiores e padronizadas, seu sistema de hidrovias do interior e os mercados de comércio permita-lhes maior variação do que os Estados Unidos ou a Europa. A frota contempla uma variedade de tipos e tamanhos de navios poderá atender ao o mercado da China de forma mais eficiente e eficaz. (BM, 2009).

Além dos 24.000 km de rede comercialmente significativa, a China possui um adicional de 37.000 km de vias navegáveis classificadas nas classes VI-VII que são capazes de transportar barcaças de até 100 toneladas; Conhecidas como a rede residual. A classificação na Tabela 8, encontra-se baseada no julgamento da engenharia de classe e o nível de trafego.

No entanto, como o resultado é indicativo define-se em sete classes padronizadas da seguinte forma (BM, 2009):

**Tabela 8 - Classificação das hidrovias na China**

<b>Classificação do Canal</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>
<b>Navio Tonelagem (t)</b>	3000	2000	1000	500	300	100	50
<b>Profundidade d'água (m)</b>	3.5 – 4.0	2.6 – 3.0	2.0 – 2.4	1.6 – 1.9	1.3 – 1.6	1.0 – 1.2	0.7 - 0.9

Fonte: (BM, 2009).

### 3.4.3 Padronização Norte Americana

A infraestrutura de vias navegáveis interiores dos Estados Unidos (EU) é gerenciada pelo Corpo de Engenheiros do Exército (USACE pelas signas no inglês) e financiada pelo orçamento da USACE.

As vias navegáveis foram desenvolvidas e integradas em um sistema de transporte de classe mundial que tem sido fundamental para o desenvolvimento econômico desse país. Hoje, existem mais de 17.700 quilômetros de canais de navegação comercialmente importantes nos 48 estados de passo. Portanto, as vias navegáveis interiores são um ativo de segurança nacional. Tanto que a lei de 1920 Jones exigia que o comércio doméstico a base de água fosse transportada em embarcações construídas nos Estados Unidos, baixo as regras e leis do estado e de propriedade de cidadãos dos norte-americanos. Esta lei conhecida como “Jones Act” abrange mais de 42.000 embarcações comerciais, 124.000 empregos e US \$ 15 bilhões em atividade econômica anualmente (BM, 2011).

Quase 60% da tonelagem doméstica comercial dos EU é transportada pelas vias navegáveis interiores e pelo menos 80% da tonelagem deste comércio é transportada por barcaça, de acordo com estudos do Banco Mundial - BM (2011).

O sistema de Transporte dos Estados Unidos das hidrovias está subdividido em:

- Canais do porto;
- Hidrovias interiores e intercostais; e
- Eclusas e barragens/represas.

Os Canais do porto: Tanto para calado profundo quanto raso existem 926 projetos de canal do porto federal que suportam o sistema portuário dos EU. Além disso, mantêm-se e melhoram-se uma rede de canais, conectando canais e berços. (BM, 2011)

O sistema portuário de águas profundas com mais de 300 projetos de canais portuários federais, 51 portos com profundidades maiores ou iguais a 13.7 metros; possui os 25 portos mais ativos no comércio exterior (profundidade de pelo menos 13.7 m). Embora alguns portos tenham águas profundas naturais, a maioria dos canais federais do porto são canais aprofundados. Os projetos de aprofundamento podem incluir quebra-mares, paredões, estruturas de controle de canal, locais de descarte de material dragado, componentes de remoção de deriva e outros recursos relacionados. Alguns portos dos EU contêm vários projetos de canais portuários federais com profundidades variadas, enquanto outros poucos não possuem canais federais. Assim, um único canal do porto federal pode fornecer acesso a mais de um porto; não existe uma relação um para cada. (BM, 2011)

Além de profundidades de água rasas de 4.3 m ou menos, o sistema fluvial é menos concentrado geograficamente e fornece pontos de acesso quase ilimitados aos cursos d'água. Vias navegáveis interiores e intra-costeiras: dos cerca de 40.200 quilômetros de canais e canais interiores, intra-costais e costeiros, quase 19.300 quilômetros de rede constituem o sistema hidroviário interno e intercostal comercialmente ativo. Essa rede inclui 17.500 quilômetros de sistema de hidrovias tributadas pelo combustível. O rio Mississippi com seus afluentes e a rede hidroviária costeira (GIWW pelas siglas em inglês) ligam os portos da Costa do Golfo aos principais portos do interior. A profundidade controlada de 13.7 metros na seção do rio Mississippi, de Baton Rouge até o Golfo do México, permite que o transporte marítimo através do tráfego de barcas. Nos Grandes Lagos, sete canais principais devem ser mantidos navegáveis durante períodos de invernos médios ou severos, pelo contrário a formação de gelo poderia restringir ou parar os deslocamentos dos navios. A Guarda Costeira dos EU (USCG pelas siglas em Inglês) encarrega-se, pela Ordem Executiva, de conduzir operações de quebra de gelo a fim de atender às demandas razoáveis do comércio mantendo os portos e canais abertos para navegação durante os meses de inverno. Assim, permite-se que o transporte continue por mais 6 a 8 semanas - implicando 10 a 12 milhões de toneladas sejam embarcadas em águas cobertas de gelo. (BM, 2011)

Eclusas e barragens: Existem 192 pontos de bloqueio ativos, com 238 câmaras no sistema de navegação Federal. Destes, 171 locais de bloqueio com 215 câmaras estão em segmentos designados como cursos de água tributados pelo combustível. Os tamanhos de bloqueio e reboque são fatores críticos na quantidade de carga que pode passar por um bloqueio em um

determinado período de tempo. As eclusas podem variar em largura e comprimento com base em sua localização e sua idade. (BM, 2011)

Modelo de Sistema Federal de Hidrovias do Interior dos Estados Unidos de América, usa as receitas gerais para financiar os custos de manutenção das vias navegáveis interiores. Duas fontes financiam a maior parte dos novos custos de construção: 50% das receitas gerais federais e 50% do Fundo Fiduciário das Vias Navegáveis Internas, que é apoiado por meio de um imposto sobre combustíveis aplicado aos usuários do sistema. (BM, 2011)

#### 3.4.4 Comparação dos Padrões de Navegação Chinês, Americano e Europeu

Uma questão crítica quando se comparam os três sistemas são os padrões de navegação das hidrovias. Uma referência útil na avaliação dos padrões de hidrovias é a capacidade de uma hidrovia fornecer o calado e a configuração que permitirão que ela manuseie pelo menos uma barcaça de 1000 T de peso. Há economias baseadas nos tamanhos das embarcações, com custos geralmente menores custo versus tráfego para embarcações maiores. A diferença de custos e tráfego por tonelada deslocada sobre as 1000 toneladas de peso é relativamente baixa (PRŠIĆ; CAREVIĆ; BRČIĆ, 2011).

A Tabela 9 apresenta a comparativa das normas anteriormente analisadas, conjuntamente com a avaliação de vigência delas.

**Tabela 9** – Comparação dos padrões

<b>Classificação</b>	<b>Análise</b>	<b>Vigência</b>
<b>Europeia</b>	A classificação criada no ano 1992, vigente atualmente está baseada nas obras de arte ao longo da hidrovia. Tem uma sequência lógica em quanto ao tamanho dos navios e a sua aplicação. É a base das classificações Alemã, Belga, Francesa.	Sim
<b>Chinesa</b>	Muito parecida com a Europeia com a diferença que a ordem das classes localiza de maior ao menor para os diferentes tipos de navios.	Sim
<b>Americana</b>	Sendo que a classificação é antiga, está baseada unicamente no calado disponível, portanto, não corresponde comparar em termos de classe.	Sim

Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 3.4.5 Classificações Hidroviárias Regionais de Interesse.

Atualmente existem classificações independentes das hidrovias do interior para alguns países da região; mas, uma regra ou padronização geral delas, que pode utilizar-se como referência para outros países e fornecer uma ferramenta para o desenvolvimento das nações não existe. Tanto que, somente 1% da capacidade é transportada por este modal de transporte (JAIMURZINA et al., 2017).

Nesse sentido, na América Latina, a maior rede de hidrovias está localizada no Brasil.

Portanto, segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2017), classifica os rios navegáveis em classes:

- **CLASSE A:** Canais e rios com mais de 2.10 metros de profundidade durante 90% dos dias do ano. Seu uso é disciplinado e mantido pelo poder público, tendo sido dimensionada, preparada e mantida para receber o tráfego de uma “embarcação-tipo”. Exemplos: Amazonas, Madeira, Paraguai, Paraná, Tietê, São Francisco, Lagoa dos Patos.
- **CLASSE B:** Canais e rios com mais de 1.30 a 2.10 metros de profundidade durante 90% dos dias do ano. Rio naturalmente navegado possui um mínimo de presença do Poder Público, porém não tendo definido ainda seu padrão de navegação. Exemplos: Baixo Tapajós, Baixo Xingu.
- **CLASSE C:** Rio sem nenhuma infraestrutura de transporte e apoio governamental, utilizada por embarcações de pequeno porte e que trafegam ao seu próprio risco. Exemplos: Alto Tapajós, Alto Xingu.

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura do Brasil - DNIT (2018) no Plano Nacional de Vias Navegáveis Interiores, na Tabela 10 temos a seguinte classificação:

**Tabela 10** - Classificação de hidrovias navegáveis no Brasil

Classificação	Características	Profundidade	
		75% do tempo	25% do tempo
<b>I</b>	“Especial”: Rios com acesso a navegação marítima	-	-
<b>II</b>	Rios de grande potencial de navegação	> 2.5	2.0 – 1.5
<b>III</b>	Rios de potencial médio de nav.	> 2.0	1.5 – 1.2
<b>IV</b>	Rios de menor potencial de nav.	> 1.5	1.2 – 0.8
<b>V</b>	“Especial”: Rios com navegação remotamente possível ou interrompidos	-	-

Fonte: Adaptado pelo autor – Plano Nacional de Vias Navegáveis Interiores. DNIT (2018)

### 3.4.6 Comparação Geral das Classificações para Embarcações

PIANC (2019) fala da variedade existente na composição e intensidade do tráfego marítimo, dimensões, propulsão dos navios e tipos de carga transportada; ainda que, para hidrovias do interior as guias metodológicas de desenho não estão disponíveis amplamente. Portanto, a comparação das classificações antes descritas fora considerada cuidadosamente

devido à complexidade da movimentação em hidrovias por conta das contínuas mudanças da massa d'água nos rios.

Logo, apesar dos poucos exemplos disponíveis de classificações (Chinesa, Americana, Europeia e Brasileira), os dados de largura das embarcações para o uso nos canais navegáveis de cada hidrovia correspondente (Yangtze, Mississipi, Rhine, Amazonas) são sempre menores à largura máxima das hidrovias ou canais navegáveis.

Concordantemente, PIANC (2019) argumentou que estas restrições de passagem nas hidrovias podem ser para garantir a profundidade e largura com uma faixa mínima para o erro; porém, existiria uma redução do potencial comercial pela redução nas dimensões das embarcações.

#### *3.4.6.1 Hidrovia Chinesa*

Na hidrovia Chinesa, as dimensões das embarcações no rio Yangtze na China foram desenvolvidas de acordo com propósitos comerciais. Tal que, o rio foi dividido em três partes baseado no gerenciamento e manutenção da hidrovia (PIANC, 2019).

#### *3.4.6.2 Hidrovia Europeia*

Por outro lado, a hidrovia Europeia – Rio Rhine cuja densidade de tráfego tem o potencial maior, o uso é menor em tanto vai-se aproximando ao início do canal; devido principalmente ao diferencial do caudal (PIANC, 2019).

#### *3.4.6.3 Hidrovia Americana*

As hidrovias Americanas são mais restritas que as Europeias, os comboios e embarcações trafegam com velocidades menores e não estão previstas as considerações de bancos de areia e forças de interação para adicionar distancias em casos de passagens estreitos. (PIANC, 2019).

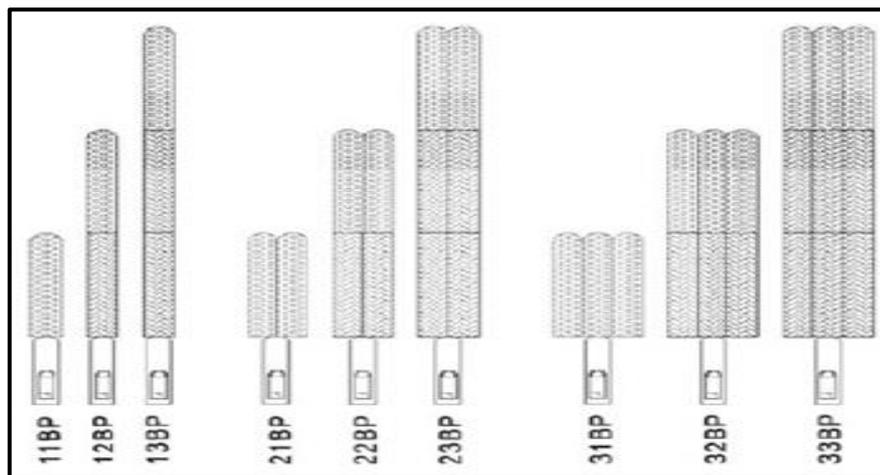
#### *3.4.6.4 Hidrovia Brasileiras*

Basicamente ANA (2018) classifica as hidrovias e referência as dimensões das embarcações com as restrições de profundidade. Portanto, armadores e estaleiros constroem navios e comboios segundo o rio percorrido. Em outras palavras, não existe um padrão otimizado para uso de vias navegáveis.

### 3.4.7 Determinação de Comboios Preliminares

Segundo o Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil – CHM (2015), no documento oficial disponibilizado publicamente, dá alguns exemplos de configurações “empurrador-barcaça” apresentados como padronizados na região sul-sul. Na Figura 10 apresentam arranjos que foram avaliados para os diferentes trechos para estabelecer o (s) melhor (es) comboio (s) preliminar (es).

**Figura 10** - Configurações “Empurrador-Barcaça”



**Fonte:** Marinha do Brasil - Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) (2015).

Portanto, criou-se as configurações de comboios para a análise de comprimento ideal da embarcação padrão. Neste contexto, para cada Carta Náutica ia-se avaliar cada tipo de comboio através da determinação do Raio de Giro de cada e comparado com o Raio de Giro levantado batimétrica mente.

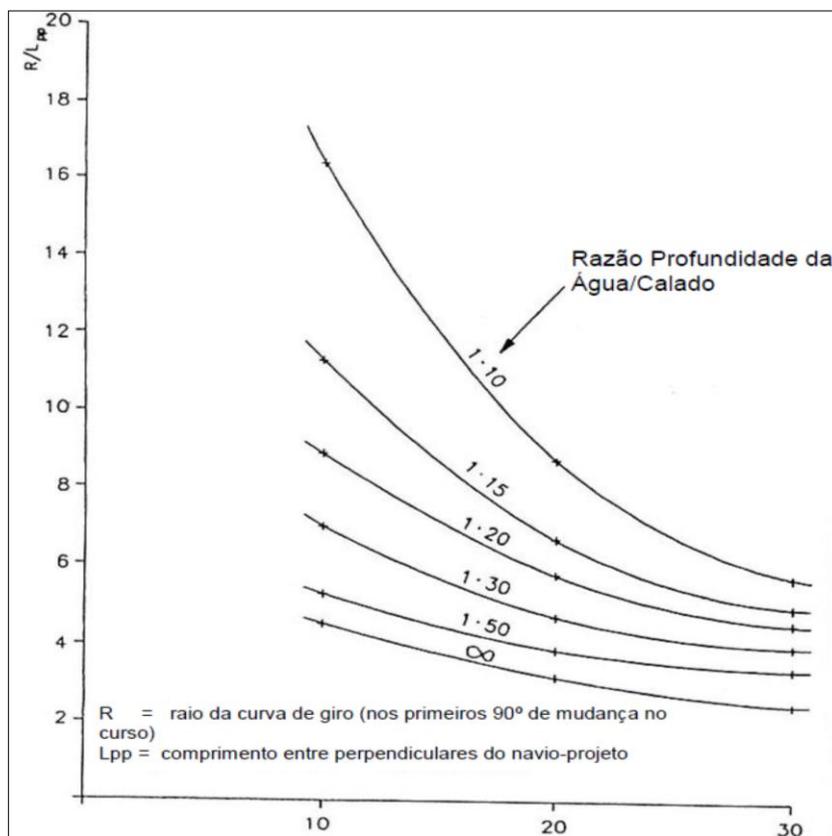
Na identificação dos comboios para este estudo, foram utilizadas as informações disponíveis no site do estaleiro “Rio Maguari” e também da “Marinha do Brasil”. Concordantemente, foi definido tecnicamente o comboio preliminar, calculando o número de exato de chatas para cada trecho menor (para cada carta náutica) dividindo a largura máxima do canal para a boca de chatas conhecidas da zona (como exemplo pode-se tomar a boca da chata Mississippi – 10,67m). Assim, a conformação de comboios foi possível, desde 1x1, 2x1, até BxC definindo o comboio preliminar padrão para cada subdivisão de trechos maiores da hidrovia; maximizando o uso do comboio em termos de carga transportada.

#### 3.4.7.1 Raio de Curvatura

A PIANC (2014) fala que para se obter o raio de curvatura de uma determinada hidrovia ou canal de navegação, faz-se necessário conhecer os dados de raio de giro de um navio de projeto. Considerando os ábacos de relacionamento do Raio de Giro com o Ângulo

de Leme e Profundidade da Água, para navios de uma hélice e um leme; resulta a relação: Razão Profundidade/Calado na Figuras 11.

**Figura 11** – Ábaco da razão Profundidade/calado.



Fonte: PIANC (2014).

PIANC (2014), a partir dos resultados da razão profundidade/calado, estabelece a faixa varrida pelo navio ao fazer a curva (em diversas relações profundidade/calado). Essa faixa varrida é a faixa básica de manobra (WBM) para as curvas, que é o mesmo parâmetro utilizado na avaliação da largura dos trechos retilíneos.

PIANC (2014), destaca que os navios longos e esguios ( $L/B > 6,5$ ) são mais direccionalmente estáveis do que navios curtos e largos ( $L/B < 6$ ). Estes últimos serão capazes de manobrar em curvas fechadas mais facilmente.

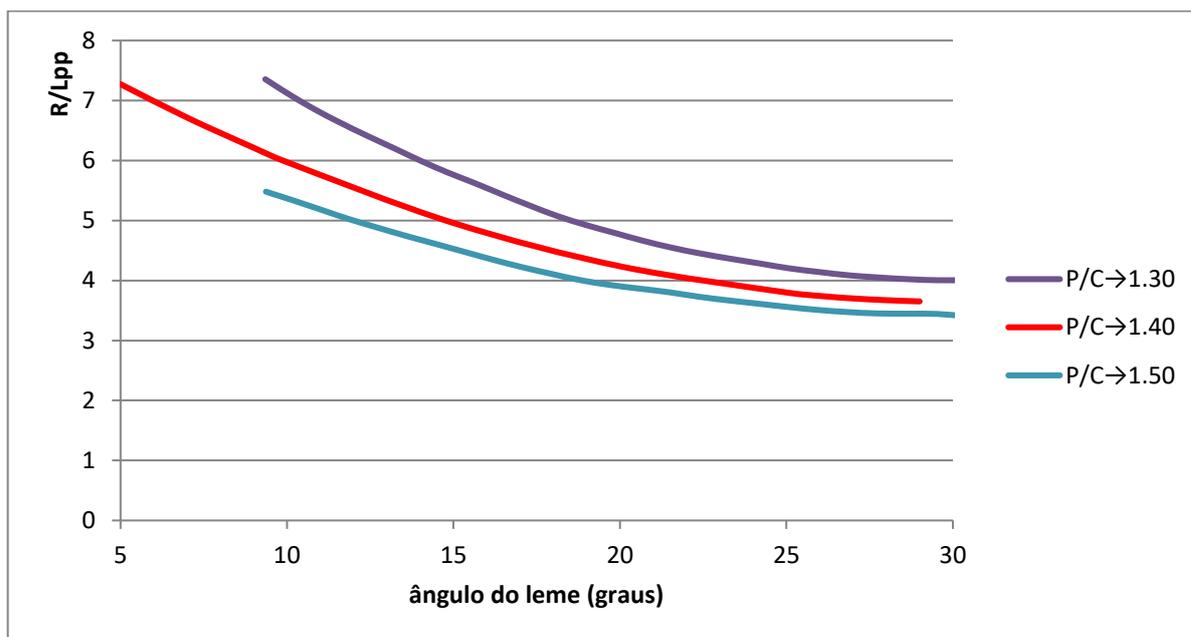
Com referência na Figura 3, PIANC (2014), estabelece que o navio de manobrabilidade “boa” deve ter um raio de giro em torno de 2 vezes o comprimento e o navio de manobrabilidade “média”, deve apresentar um raio em torno de 3 vezes o comprimento do mesmo navio. A curva de relação Profundidade/Calado referenciada nesta pesquisa de 1,4 (CAPRACE, 2013), foi obtida através do método matemático de interpolação quadrática segundo a Equação 4, e representada pela Figura 12.

$$y = 0,0058 x^2 - 0,3481x + 8,8716 \quad (4)$$

Onde:

- $Y$                    Valores de R/Lpp.
- $X$                    Valores do ângulo de giro do leme

**Figura 12** – Ábaco da razão Profundidade/calado calculada de 1.4.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

PIANC (2019), fez a comparação do perfil trapezoidal dos canais “fairways” de uma e duas vias de tráfego de embarcações; desde navegação quase sem restrição até altamente restrita. Concluindo e recomendando que para desenho de canais de vias interiores, na seção de duas vias a relação Calado/Profundidade – T seja igual a 1,4; a relação largura da hidrovía/Boca da embarcação – B de 3 a 4 e o a relação área de seção de canal/raio de cobertura – n de 5 a 7. No caso de uma via o fator de 1,3 é utilizado para seções de cana retas. Além disso, exposto pela PIANC (2019), a relação Profundidade/Calado de 1,25 ao 1,5 resulta em larguras de canal de 2,2 até 2,4 bocas para casos de uma via de passagem. Nesta pesquisa foi avaliado o valor de 2,0 para trechos de restrição baixa até 2,5 para trechos altamente restritos.

Sendo que, ao navegar em uma curva em um canal de acesso, a largura da faixa de trajetória varrida irá aumentar (PIANC, 2014), o cálculo do raio de giro dos comboios foi possível, estabelecendo o fator de multiplicação para cada uma das Cartas Náuticas diferenciadas na planilha de seleção de trechos detalhada no Anexo 1.

### 3.5 LEVANTAMENTO DE DADOS BATIMÉTRICOS

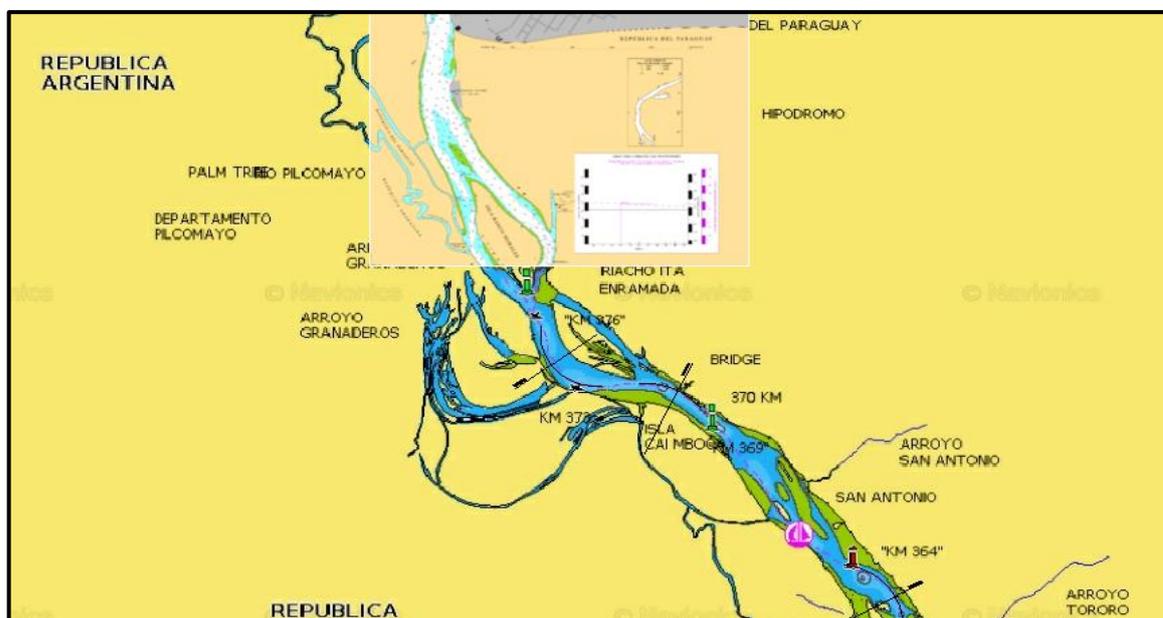
De acordo à CEPAL (2018), e o análise das principais hidrovias de escoamento de produtos ao granel da América Latina concluiu-se que a metodologia padrão para a otimização em termos de carga movimentada era indispensável para os países em vias de desenvolvimento social e comercial.

As informações batimétricas da Hidrovia do Paraguai-Paraná foram pegadas das cartas náuticas disponíveis na internet do site da Agencia Nacional de Águas do Brasil - ANA (2017). Outras medidas obtidas do site web “Navionics”, foram digitalizadas à escala das outras prévias.

Por outro lado, as fotografias aéreas utilizadas correspondem as digitalizações do site web “GoogleEarth”. Se utilizou o material digitalizado diferenciando as variáveis físicas e logísticas como: calado/profundidade, boca, comprimento, raio de giro, capacidade máxima de transporte, obras de infraestrutura.

Nas figuras 13, 14 e 15 mostram-se exemplos dos dados batimétricos e físicos compilados para o estudo de caso na bacia do Paraguai – Paraná.

**Figura 13** - Digitalização das cartas náuticas à escala. (Em metro)



Nota: Digitalizado no software Autocad

Fonte: Elaborado pelo autor, Hidroweb – Agência Nacional de Águas – ANA, 2017.

As informações de largura do canal navegável e raio de giro foram tomadas das cartas batimétricas, fotografias de cartas náuticas, digitalizadas a escala no software Autocad. Neste sentido, foram identificados os passos ruins ou passos críticos que dificultam o tráfego dos comboios.

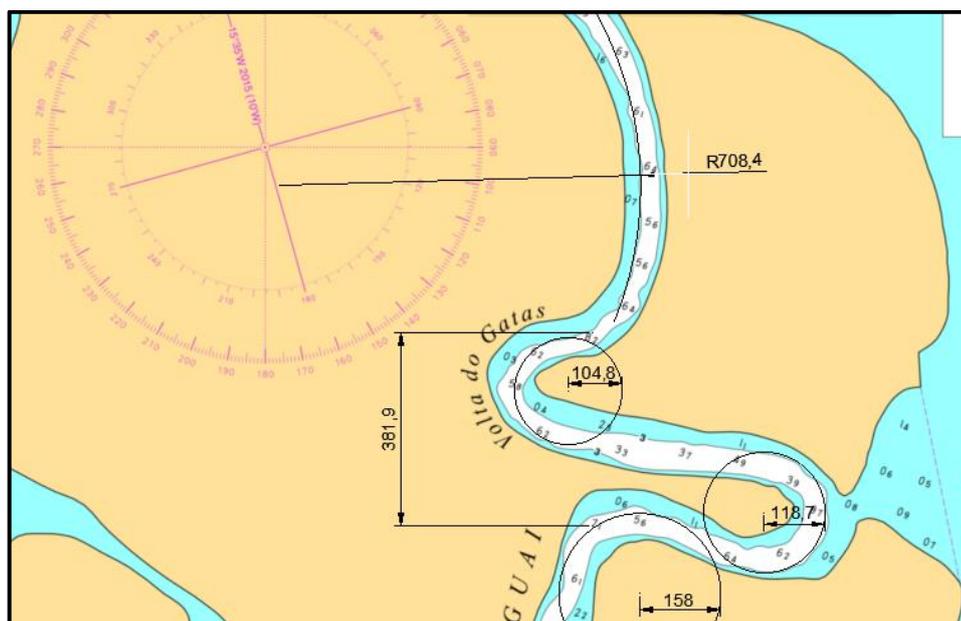
**Figura 14** - Colocação à escala das cartas batimétricas e levantamento – método gráfico



Nota: Digitalizado no software Autocad

Fonte: Elaborado pelo autor, Hidroweb – Agência Nacional de Águas – ANA, 2017.

**Figura 15** - Raio de giro maior e menor por carta batimétrica – método gráfico (Em metro).



Nota: Digitalizado no software Autocad

Fonte: Elaborado pelo autor, Hidroweb – Agência Nacional de Águas – ANA, 2017.

Feito isso, com a utilização do software Excel, construiu-se a matriz de seleção dos trechos da hidrovia; a mesma que foi analisada verificando o passo dos comboios projetados por cada Carta Náutica ou trecho menor. Consequentemente, estabeleceu-se o critério de escolha dos trechos maiores ao longo da hidrovia. Desta forma, as dimensões que passem o critério de subdivisão dos trechos navegáveis serão a base da formação dos comboios padrão

ou comboio tipo para cada trecho, tentando escolher aquilo de maior benefício em termos de carga deslocada.

Esta matriz permite otimizar o uso das embarcações e configurações dos comboios disponíveis atualmente e também define o novo protótipo de arranjo de comboios de acordo as medidas máximas para cada trecho. Note-se também que, para alguns trechos com profundidades menores, simplesmente os comboios terão a restrição na carga de mercadorias; limitando assim o calado.

Então, nos resultados foram resumidas as informações da subdivisão dos trechos, onde constam os tipos de comboios mais ótimos de cada parte ou também chamados “comboios tipo”; visando obter a guia metodologia para seleção de embarcação padrão geral para hidrovias.

Logo, para complementar o estudo, a análise da otimização de custo foi necessária validando o método de seleção de embarcações tipo.

### 3.6 OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS DE DESLOCAMENTO DE CARGAS

Na Otimização de custo, foram tomadas como base da análise os seguintes dados: a quantidade de carga movimentada e o custo por tonelada por tipo de carga, de acordo com a restrição da hidrovia correspondente com a subdivisão. Os dados de carga foram pesquisados dos relatórios econômicos disponíveis na internet segundo cada hidrovia. Assim, na Tabela 11 encontra-se o exemplo das informações de interesse.

**Tabela 11** – Quantidade de carga da hidrovia. (Exemplo)

		<b>Produtos (Toneladas)</b>		
<b>Ano</b>	<b>Pais</b>	<b>Importações</b>	<b>Exportação</b>	<b>Total</b>
2016 /	BOL	2.477.509,64	21.879.570,52	24.357.080,16
	PAR	3.136.127,83	13.858.080,00	16.994.207,83
2017	ARG	30.200.000,00	80.600.000,00	110.800.000,00
	BRA	15.644.000,00	38.639.000,00	54.283.000,00

Fonte: ANTAQ (2017).

#### 3.6.1 Simulador de custo EPL

Para determinar o custo por tonelada utilizou-se o simulador da Empresa de Planejamento e Logística – EPL, disponível no site “www.epl.gov.br” (Figura 16). No referido simulador, tem-se que informando o modo de transporte a ser utilizado, o grupo de

mercadorias e a distância a ser percorrida, obtém-se o valor do custo médio para o trajeto em reais por tonelada ou reais por metro cúbico. (EPL, 2019).

**Figura 16 - Simulador de Custos de Transporte**

Fonte: EPL (2019)

Assim, com os inputs de tonelagem, distância do percurso por trecho e a restrição do trecho, foi possível simular o custo médio hidroviário para cada trecho. As informações foram preenchidas e expressadas numa tabela como a seguinte Tabela 12.

**Tabela 12 - Custo médio hidroviário por tipo de carga.**

Tipo de carga	Tipo de restrição	Custo médio por tonelada por km por trecho. (USD)
Granel Sólido Agrícola	Trecho X	2,03
Granel Sólido não Agrícola		1,91
Granel Líquido		2,84
Carga geral		4,57
Carga geral em contêiner		4,52

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir dos dados da EPL (2019).

Ratificando o que já fora denotado, se gerou *inputs* de dados necessários para composição dos critérios de escolha do comboio padrão por trecho ou seção. Nesse sentido, foi utilizado o software de geo-referenciamento TransCAD GIS 2002 para visualizar e relacionar os dados obtidos da análise prévio. Além do complemento de software Excel, o “Solver” para a resolução do modelo matemático de otimização de custo.

### 3.6.2 Software de Visualização TransCad

O TransCad é a ferramenta de modelagem de demanda de transporte por viagens desde um ou vários pontos até seu destino. Serve de planejador de cargas, previsão de viagens

e a visualização do fluxo das cargas ou viagens. Nesta pesquisa foi utilizado para a análise do número absoluto de viagens por trecho para estimar a capacidade da hidrovia em termos de carga e visualizar gargalos e oportunidades comerciais regionais. A Figura 17 mostra o exemplo de modelagem do software.

**Figura 17** – TransCad - exemplo de modelação.



Fonte: CALIPER (2019) Adaptado do site [www.caliper.com](http://www.caliper.com). Acessado em dezembro (2019)

### 3.6.3 Ferramenta de cálculo Solver - Excel

Em sequência, utilizou-se a ferramenta do software Excel, “Solver”, para estabelecer a função objetivo “Menor Custo”, as restrições e variáveis de desenho. Portanto, o software (solver) foi preenchido da seguinte forma, ilustrado na Figura 18.

**Figura 18** – Solver - Preenchimento dos dados da otimização.

**Objetivo**

**Restrições**

**Restrições por trecho**

Trecho	Qtde	Custo	Total Ex
1	401700	4	106886
2	728000	4	329864
3	748800	7	540000
10			20

Legenda:

Trecho 1	Função Objetivo
Trecho 2	Variáveis
Trecho 3	Restrições

Fonte: Autor (2019)

A função objetivo procura minimizar o custo do modelo matemático. As variáveis são as quantidades de carga para cada tipo de comboio; tendo a conta o custo por tonelada por quilômetro percorrido para o cálculo geral. As restrições são todas as possíveis que o pesquisador precise; nesta pesquisa foram: o número mínimo de comboios e o mínimo e máximo de cada tipo de comboio para cada trecho.

Na Tabela 13 mostram-se os resultados do modelo matemático criado com as variáveis e restrições visando obter o menor custo de transporte de cargas.

**Tabela 13** – Esquema do Modelo Matemático de Otimização de Custo.

**QUANTIFICAÇÃO DE COMBOIOS**

<b>Trecho</b>	1	
<b>Comprimento do trecho (KM)</b>	664,57	
<b>Comboio Tipo Preliminar</b>	1x1	2x1
<b>Capacidades em Toneladas do Comboio</b>	1300	2600
<b>Carga Deslocada por trecho (T)</b>	401069	
<b>Mínimo de comboios tipo</b>	10	
<b>Máximo de comboios tipo</b>	25	
<b>Quantidade de Comboios por trecho</b>	13	23
<b>Custo por Tonelada por Quilômetro (USD)</b>	22,39	
<b>Custo por viagem do Comboio</b>	29101,8	58203,6
<b>Menor Custo Total (USD)</b>	<b>"Valor"</b>	

Nota: Exemplo do modelo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Finalmente, os dados lançados do modelo matemático foram inseridos no software TransCad para visualizar a utilização da hidrovia e concluir, em termos de uso e menor custo, as vantagens da padronização de embarcações para hidrovias com a análise SWOT validando a metodologia.

#### 3.6.4 Análise SWOT

Ainda no contexto da otimização dos custos de deslocamento de cargas, realizou-se uma análise SWOT como forma de evidenciar a simplicidade da aplicação do modelo proposto. No que tange ao referido método de análise denominado SWOT, tem-se que, segundo Kotler (2000), a avaliação global das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças é denominada análise SWOT (dos termos em inglês strengths, weaknesses, opportunities, threats.). A SWOT serve para posicionar ou verificar a situação e a posição estratégica da empresa no ambiente em que atua (MCCREADIE, 2008).

A análise SWOT foi feita visando posicionar a estratégia da implementação desta metodologia criada. Propõe que o leitor consiga ter uma visão clara e objetiva sobre quais são as vantagens competitivas e atender as novas exigências do mercado na transportaçã de mercadorias.

#### 4 MODELO PARA DETERMINAÇÃO DA EMBARCAÇÃO PADRÃO PARA HIDROVIA

No presente capítulo explicam-se os critérios para a determinação dos tipos comboios e arranjos dos mesmos para cada trecho da hidrovia. Assim como, a comparação das variáveis físicas compiladas e os dados e fórmulas previamente utilizadas e explicadas.

Desse modo, com o auxílio da matriz criada em Excel para as análises de dados batimétricos nas referidas Cartas Náuticas, apresentam a compilação de nível da água, profundidade expressa em metro, larguras expressadas em metro; considerando a seca para o trabalho com os mínimos.

As utilizações desses dados ou *inputs* foram essenciais para determinar aquelas variáveis para o critério de escolha dos trechos e no relacionamento com a embarcação padrão de hidrovias. Corroborando com esse contexto, os dados de velocidade máxima permitida foram relacionados com a profundidade mínima de cada Carta Náutica. O cálculo da Velocidade mínima por segmento utilizou a Fórmula 1 do Capítulo 3; considerando o número de Froude de 0,7 (Figura 19).

O exemplo de cálculo da carta náutica - Foto 9, seria da seguinte forma:

$$F_{nh} = 0,7; g = 9,8 \text{ m/s}^2; h = 1,6 \text{ m. } \mathbf{V = 2,77 \text{ m/s}}$$

Figura 19 – Dados batimétricos de entrada.

Porto associado - Referência	Nível da água permanência	REF carta náutica	Profundidade	Largura	Velocidad máxima permitida según la profundidad minima
		numero	Mínimo	Mínimo	V (m/s) mimina
Foto 9	80%	foto 9	1,6	183	2,77
Foto 10	80%	foto 10	2,1	288	3,18
Foto 11	80%	foto 11	2,7	184	3,60
Foto 12	80%	foto 12	3	283	3,80
Confluencia - Paso de la Patria	80%	Lámina 60	1,4	332	2,59
Puerto Barranqueras - Corrientes	80%	Lámina 59	2,1	318	3,18
Isla de la Palomera	80%	Lámina 58	2,4	361	3,39
Barranca del Sombrero	80%	Lámina 57	2,7	509	3,60
Isla El Chivo	80%	Lámina 56	1,8	711	2,94

Fonte: Elaborado pelo autor. Extrato para visualização

Tendo como base as informações de Velocidade Máxima permitida para cada Carta Náutica, adotaram-se nesse cenário de análise os critérios de desenho de canais navegáveis de PIANC (2014) para determinar o Tipo de Manobrabilidade da Hidrovia e os comprimentos

adicionais de largura em função da boca da embarcação padrão, conforme discriminado no extrato da tabela de dados na Figura 20 e 21.

**Figura 20** – Quadro de Manobrabilidade de cada Carta Náutica.

Velocidade máxima permitida segundo a profundidade mínima	Velocidade máxima permitida segundo a profundidade mínima	Relação de Velocidade MINIMA	TIPO DE MANOBRABILIDADE
V (m/s) mínima	V (nós) mínima		
3,98	7,74	Baixa	MODERADA
3,86	7,50	Baixa	MODERADA
4,44	8,63	Moderada	MODERADA
3,80	7,38	Baixa	MODERADA
4,16	8,08	Moderada	MODERADA
3,80	7,38	Baixa	MODERADA
3,98	7,74	Baixa	MODERADA
3,86	7,50	Baixa	MODERADA

Fonte: Elaborado pelo autor. Extrato para visualização

As Larguras adicionais  $W_i$  para seções retilíneas do canal foram calculadas segundo as seguintes variáveis:

- Velocidade do Navio
- Velocidade do vento pelo través:
- Velocidade da Correnteza pelo través e longitudinal:
- Altura de Onda:
- Auxílios à Navegação:
- Tipo de Fundo:
- Profundidade da Hidrovia
- Nível de Periculosidade da Carga;

Discriminado na Figura 21, o extrato mostrando os valores adicionais de acordo com dados de cada uma das variáveis, estão relacionados com informações tomadas das cartas náuticas disponíveis, assim como do CHM e históricos disponíveis no site [www.navionics.com](http://www.navionics.com). Como exemplo pelo tipo de fundo na hidrovia (irregular e duro) corresponde o valor de 0,2B (bocas).

**Figura 21** – Comprimentos adicionais segundo os critérios da PIANC (2014).

COMPRIMENTOS ADICIONAIS RELAÇÃO VELOCIDADE MÍNIMA (XB)			OUTROS COMPRIMENTOS ADICIONAIS			
PELA VELO	PELO VENTO	PELA CORRENTE longitudinal	Auxílios à navegação	Tipo de fundo	profundidade da hidrovia	perigosidade da carga
0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,4	0
0	0,5	0,2	0,2	0,2	0	0
0	0,5	0,2	0,2	0,2	0	0
0	0,5	0,2	0,2	0,2	0	0
0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,4	0
0	0,5	0,2	0,2	0,2	0	0
0	0,5	0,2	0,2	0,2	0	0
0	0,5	0,2	0,2	0,2	0	0
0	0,5	0,2	0,2	0,2	0	0
0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0

Fonte: Elaborado pelo autor. Extrato para visualização

Em continuidade ao modelo de seleção, o extrato da Figura 22 apresenta a somatória dos comprimentos adicionais ( $W_i$ ) para cada Carta Náutica; a mesma, permitiu calcular a Boca Máxima de cada seção, o qual neste caso faculto discriminar o número de chatas para cada.

**Figura 22** – Somatória de  $W_i$ , Cálculo de Boca Máxima e Número de Chatas

TOTAL ADICIONAIS	BOCA COMBOIO MÁXIMA NO TRECHO	COMBOIO C (Caladomax)	RELAÇÃO DO CALADO	NUMERO DE CHATAS
<b>XB</b>				
1,5	73,20	1,14	1,40	6,86
1,1	137,14	1,50	1,40	12,85
1,1	87,62	1,93	1,40	8,21
1,1	134,76	2,14	1,40	12,63
1,5	132,80	1,00	1,40	12,45
1,1	151,43	1,50	1,40	14,19
1,1	171,90	1,71	1,40	16,11
1,1	242,38	1,93	1,40	22,72
1,3	309,13	1,29	1,40	28,97

Fonte: Elaborado pelo autor. Extrato para visualização

O cálculo do número de chatas foi feito pela divisão da boca máxima do trecho e a boca da embarcação preliminar escolhida; e aproximado ao número inteiro. Assim:

$$N_{CHATAS} = \frac{73,20}{10,67} = 6,86 \approx 6$$

Desse modo, o Calado Máximo para cada Carta Náutica foi calculado a partir do fator de Froude na Fórmula 1, a partir da relação profundidade/calado (W/B) igual a 1,40 recomendado no trabalho de Caprace (2013) de desenho de embarcações.

Conforme já mencionado, o número de chatas por cada “seção de carta náutica” foi determinado, tomando como referência uma embarcação aleatória de boca e comprimento conhecidos; Figura 23. Desse modo, os parâmetros geométricos adotados relacionam também os critérios de desenho “W/B” e “R/Lpp” da PIANC (2014) de modo que o resultado obtido apresenta vários cenários segundo o fator de segurança para o cálculo do Raio de Giro da embarcação ou arranjo.

**Figura 23** – Número de Chatas e Fator de Raio de Giro

NUMERO DE CHATAS	FACTOR RAO DE GIRO PIANC	W/B	R/Lpp
	XCOMPRIMENTO		
6,86	1	1,67	3,77
12,85	1	1,67	3,77
8,21	1	1,67	3,77

Fonte: Elaborado pelo autor. Extrato para visualização

As medidas aleatórias de configuração da embarcação (empurrador + chata) tomadas da rede de armadores fluviais na Tabela 14, complementam o cálculo de seleção dos arranjos para facilitar a seleção dos trechos na matriz de duas variáveis.

**Tabela 14** – Parâmetros da embarcação variáveis

CHATA	
BOCA	10,67
COMPRIMENTO	60,96
EMPURRADOR	
COMPRIMENTO	40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação aos os parâmetros de boca e comprimento conforme mostrado na Tabela 14, ajudaram a estabelecer arranjos ou configurações de barcaças, de tal forma que obtivesse

vários raios de giro para testar a matriz. Na Tabela 15 descrevem-se algumas configurações do estudo.

**Tabela 15** – Configurações de Comboio para o Estudo

<b>COMBOIOS BxC</b>	<b>1x1</b>	<b>2x1</b>	<b>2x2</b>	<b>2x3</b>	<b>3x1</b>	<b>3xX...</b>
<b>BOCA</b>	10,67	21,34	21,34	21,34	32,01	32,01
<b>COMPRIMENTO</b>	100,96	100,96	161,92	222,88	100,96	344,8
<b>CALADO</b>	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste sentido, foram calculados os Raios de Giro para cada configuração ou comboio e comparados com os dados inseridos de cada Carta Náutica no pior cenário ou cenário crítico, que corresponde aos valores mínimos em cada caso.

Corroborando com as informações mencionadas anteriormente e para fins metodológicos e de melhor visualização da análise, na composição do modelo de duas variáveis, adotou-se o condicional simples de escolha; sendo que, o termo “SIM” representa que a embarcação PASSA pelo canal navegável nessa Carta Náutica e o termo “NÃO” refere-se à limitante de tráfego ou NÃO PASSA.

Mediante a isso, no extrato da planilha na Figura 24, foram divididos os trechos segundo esse critério e visando o melhor local avaliando variáveis de locação e facilidades nos portos ao longo da hidrovia, assim como determinou-se que tipos de comboios são os mais ótimos.

Em outras palavras, os trechos foram divididos de acordo com o limite de passo dos comboios na planilha; se o Raio de Giro da configuração fosse maior que o Raio de Giro menor tomado de cada uma das Cartas Náuticas, então o comboio Boca x Comprimento (BxC) não é adequado para trafegar nesse ponto portanto deve-se escolher até a configuração anterior.

REF carta náutica	RAIO DE GIRO TRECHO RETO				RAIO DE GIRO TRECHO CURVO					
	Numero	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	RX
	<b>100,96</b>	<b>100,96</b>	<b>161,92</b>	<b>222,88</b>	<b>380,62</b>	<b>380,62</b>	<b>610,44</b>	<b>840,26</b>	<b>1299,90</b>	
3431	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO
3430	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO
3429	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
3428	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO
3427	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO
3426	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO
3425	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3424	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3423	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3422	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3421	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO

Nota: As siglas R1 até RX representam Raios de Giro das configurações a partir do cálculo matemático baseado na PIANC (2014).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse cenário proposto assumiu-se uma embarcação específica para determinar as configurações de comboio; no entanto, o modelo pode ser preenchido com valores diferentes dependendo da hidrovia de estudo ou das restrições nas hidrovias como eclusas ou pontes.

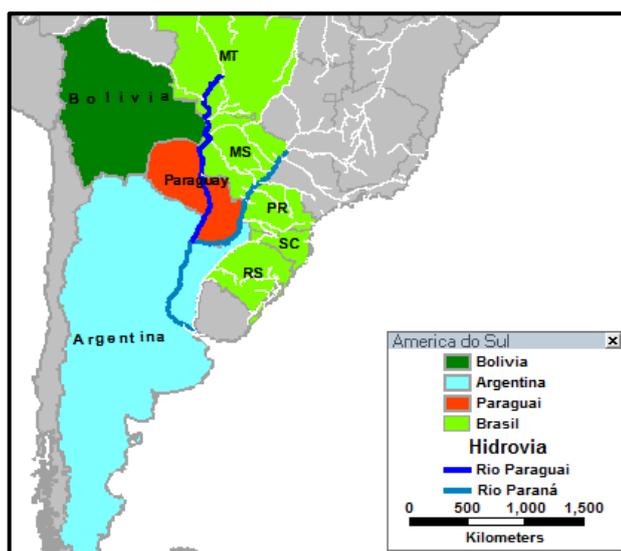
## 5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ESTUDO DE CASO HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ

Como forma de validar o modelo apresentado anteriormente, no presente capítulo destaca-se um estudo de caso para a hidrovia Paraná-Paraguai, escolhida devido a sua importância nos quatro países do percurso selecionado e seu papel na região em que a mesma está localizada. Nesse sentido, apresenta-se em seguida o detalhamento metodológico para este estudo.

O BID (2018) detalha que a Hidrovia Paraguai-Paraná se configura como uma das principais artérias fluviais da América do Sul, um dos mais extensos e importantes eixos de integração política, social e econômica da região. A Hidrovia Paraguai-Paraná no sentido montante-jusante, inicia-se no município brasileiro de Cáceres, no estado do Mato Grosso, e se estende até a cidade portuária de Nueva Palmira, no Uruguai. Percorre cinco países - Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai - apresentando uma extensão navegável de aproximadamente 4.122 km.

No entanto, na Argentina, o Brasil e a Bolívia foram selecionados os estados ou províncias diretamente relacionadas com a hidrovia Paraguai – Paraná. Assim, os dados de exportação e importação escolhidos correspondem respectivamente. Em relação à distribuição dos 4.122 km de Hidrovia, a Argentina concentra 30% da extensão inteiramente em seu território, o Brasil 22%, 14% está em território paraguaio e, adicionalmente, sob jurisdição compartilhada entre os países, uma extensão aproximada de 34%. Na Figura 25 ressalta-se a zona de influência da hidrovia e a legenda descreve os países envolvidos.

**Figura 25** - Hidrovia Paraguai - Paraná e sua área de localização geográfica.



Fonte: Elaborado pelo autor e adaptado do Software Transcad versão estudantil

## 5.1 ANÁLISE DE LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO DA HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ

A análise batimétrica da hidrovia Paraguai-Paraná do Norte a sul, foi dividida da seguinte forma:

As cartas náuticas do rio Paraguai desde a 3442 km no porto de Carne Seca em Cáceres - Brasil até a 3300 km porto de Assunção, Paraguai; foram obtidas dos sites da Marinha do Brasil. Porém, a carta 3380 e a 3318 não estiveram disponíveis, portanto, foram assumidos os dados necessários mediando das outras junto à estas.

Adicionalmente, para a porção restante do rio Paraguai foi preciso para este estudo tirar fotografias da batimetria no formato similar de Carta náutica do software on-line “Navionics” no tempo real; assim, teve-se no formato digital desde o porto de Assunção, Paraguai no km 364 até o km 13 no passo da pátria na união do rio Paraguai com o rio Paraná. Estas cartas foram digitalizadas a escala padrão das primeiras para que as medidas sejam concordantes umas às outras.

Finalmente, na parte Argentina correspondente ao rio Paraná foi documentada com as cartas náuticas desde a lâmina 60 no Passo da Pátria, Confluência - Argentina até a AR530040 no porto de Conchillas no rio De La Plata, exceto a lâmina H-1034; tomadas do site do Serviço Hidrográfico Naval da Argentina (2019).

Assim, a primeira parte da análise foi tirar os dados máximos e mínimos de largura, profundidade, nível da permanência da água, inclinação média e raio de curvatura de cada porção do estudo. Também se determinou as obras de arte existentes e as alturas mínimas na hidrovia e os passos ruins dos trechos. Na Tabela 16 são resumidas as informações analisadas das diferentes fontes.

**Tabela 16** - Resumo de informações das cartas náuticas digitalizadas.

NUMERO DE REFÊNCIA DA FONTE	PORTO ASSOCIADO / NOME DA CARTA	PORÇÃO DO RIO	FONTE	INFORMAÇÕES TIRADAS	CARACT. DO RIO
Carta Náutica desde a 3442 até a A263300	Desde Cáceres - Brasil (porto de Carne Seca) até Assunção - Paraguai (Baía de Assunção, Banco Morais)	PARAGUAI	Marinha do Brasil	Dados máximos e mínimos de largura, profundidade, nível da permanência da	Porção de rio muito sinuosa, trechos curvos curtos e agudos; 25 cartas com passos ruins identificados.

Desde a Foto Digital 1 até a Foto Digital 12	Desde a Baía de Assunção - Paraguai (Km 364) até o Passo da Pátria no Km 13 (confluência com o rio Paraná)	PARAGUAI	Site www.navionics.com	água, inclinação média e raio de curvatura. Obras de arte existentes, as alturas mínimas	Porção do rio com maior largura e menor sinuosidade. Curvas largas, nenhum passo ruim identificado.
Desde a Lâmina 60 até a Lâmina AR530040 (exceto a lâmina H-1034)	Desde Confluência - Argentina (no Paso de la Pátria) até Rio De La Plata (Porto de Conchillas)	PARANÁ	Serviço Hidrográfico Naval da Argentina	na hidrovia e os passos ruins dos trechos	Porção de rio: médio e foz da bacia, trecho largo e rápido.

Fonte: Elaborado pelo Autor. Baseado nas cartas náuticas digitalizadas.

## 5.2 DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS DAS EMBARCAÇÕES TIPO EXISTENTES DA HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ

Existem vários tipos de embarcações na navegação interior; porém, neste estudo a embarcação selecionada foi a chata, portanto as informações de boca, comprimento, calado e capacidade de carga tiveram relação com aquelas que atualmente percorrem à hidrovia como primeira referência de cálculo.

Nesse sentido, foram selecionadas as embarcações de acordo a sua capacidade de carga total, tomou-se para a análise dois tipos A e B; expressados na Tabela 17.

**Tabela 17** - Embarcações tipo escolhidas para o estudo.

PARÂMETRO	EMBARCAÇÃO / CHATA	
	TIPO A:	TIPO B:
<b>Capacidade de carga:</b>	1.300 tons.	620 tons.
<b>Calado:</b>	2,5 m.	2,0 m
<b>Boca:</b>	10,67 m.	11,40 m
<b>Comprimento:</b>	59,44 m.	41,50 m
<b>Pontal:</b>	6,6 m.	3,0 m

Fonte: Rio Maguari (estaleiro). Entrada no site o 20 de julho 2019.

### 5.3 PARÂMETROS NORMATIVOS ADOTADOS NA IDENTIFICAÇÃO DOS TRECHOS DA HIDROVIA PARAGUAI-PARANÁ

A definição de cada trecho numa hidrovia vai de acordo com as características físicas e batimétricas das bacias, portanto a hidrovia Paraguai-Paraná tem trechos com vários tipos de restrições (alta, média e baixa). Em termos de fluxo constante é importante conhecer as restrições para estabelecer frequências, conformação de comboios, armazenagem temporal, zonas francas, entre outros tipos de serviços relacionados. A subdivisão por trechos na hidrovia permite identificar faltantes e planejar os investimentos futuros.

Os dados físicos por carta náutica avaliados, a parte batimétrica, as fórmulas descritas anteriormente junto com as recomendações da PIANC e as tabelas das dimensões adicionais, conformam os critérios necessários para estabelecer a subdivisão por trechos da hidrovia; na seguinte parte vão-se apresentar cada análise e os resultados obtidos:

#### 5.3.1 Cálculo de Larguras Adicionais

Baseado em PIANC (2014), determinou-se os valores para as larguras adicionais (Tabela 18); avaliando a hidrovia de forma geral e de acordo ao comportamento dos rios Paraguai e Paraná ao longo do tempo. De fato, existem dados históricos que permitem fazer suposições baseados no critério técnico. Assim:

- **Pela velocidade do comboio:** Baixa ao longo do percurso em águas restritas, o valor correspondente de acordo com a tabela 3 é de zero vezes a boca total da embarcação (B).
- **Pela velocidade do vento ao través:** Sabendo que a velocidade do comboio é baixa, não há informações sobre ventos e sobre o comportamento dos comboios nessas condições. Escolheu-se valores médios, o correspondente valor de 0,5B.
- **Pela velocidade da corrente pelo través e a velocidade baixa do comboio:** O valor é 0,0B já que se considera desprezível comparado com a velocidade de corrente longitudinal. Portanto, o regime de correntes longitudinais indica valores médios, correspondente aos valores de 0,4B e 0,5B segundo o trecho.
- **Pelos auxílios na navegação:** Foram escolhidos valores médios em virtude da dificuldade de balizar o não. Sabendo também que existem vários trechos sinalizados e outros em espera do orçamento estadual. Adição de 0,2B.
- **Pelo tipo de fundo:** O valor de 0,2B. Rios com fundo de pedra na maior parte do percurso, senão na totalidade.

- **Pela profundidade:** O valor de 0,0B, 0,2B e 0,4B de acordo com cada carta náutica garantindo 68,78% com um mínimo de 1,5m na hidrovia. Porém, neste estudo tomou-se a restrição do calado de comboio máximo permitido para estabelecer os valores adicionais para cada carta náutica.
- **Pela periculosidade das cargas:** As cargas serão ao granel sólido para efeitos de estudo, portanto assume-se baixa periculosidade, valor de 0,0B.

**Tabela 18** - Resumo do Critério de Larguras Adicionais

COMPRIMENTOS ADICIONAIS RELAÇÃO VELOCIDADE MÍNIMA (XB)			OUTROS COMPRIMENTOS ADICIONAIS			
Velocidade do Comboio	Velocidade do Vento ao través	Velocidade Corrente longitudinal	Auxílios na navegação	Tipo de fundo	Profundidade da hidrovia	Periculosidade da carga
0	0,5	0,4/0,2	0,2	0,2	0/0,2/0,4	0

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Larguras adicionais para as ultrapassagens e a distância de margens foram consideradas tanto para trecho curvo como para trecho reto. Os valores estão na Tabela 19.

**Tabela 19** - Larguras Adicionais para margens e ultrapassagens.

Fator WBM trecho reto	Fator WBM trecho curvo	Largura distância de margens	Largura para distância de passagem
1,5	5	0,3	1/1,4

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 5.3.2 Cálculo de Boca Máxima do Comboio

A boca máxima do comboio foi calculada com a medida da largura mínima do canal navegável de cada carta náutica dividido para a medida total das larguras adicionais mais uma boca em termos gerais. Portanto, obteve-se como resultado o número de chatas máximas por cada trecho de carta náutica, de acordo com a medida de boca padrão das embarcações escolhidas (10,67m e 11,40m).

### 5.3.3 Cálculo de Calado Máximo

As embarcações devem percorrer numa velocidade certa aproximada. Portanto, as velocidades máximas permitidas foram calculadas com a fórmula (1) do capítulo 3. Assumiu-se o número de Froude (Fnh) máximo é de 0,7 no processo de cálculo contrário em cada uma das cartas náuticas. Assim, a relação de calado-do-comboio/profundidade segundo o critério

da PIANC para o leme de 30° é de 1,40; em relação com a profundidade do canal por cada carta náutica, resultarem nos dados de calado máximo dos comboios por cada uma delas.

Também se comprovou que a largura do canal satisfaz a boca do comboio projetado a través da relação recomendada de 1,40; relacionando a boca com o resultado da curva em questão, obtendo por interpolação quadrática o número 1,67 no eixo das abcissas  $Wc/B$  mostrado na figura 11 no capítulo 3. Portanto a boca para cada arranjo de comboio foi comparada com a largura máxima calculada.

O dado de calado máximo permitido do comboio, é determinante na seleção e subdivisão dos trechos da hidrovia Paraguai-Paraná.

#### 5.3.4 Determinação do Raio de Giro

Pela configuração de comboios, o critério do raio de giro aplicou-se da seguinte forma:

A primeira parte foi pegar os dados (raio maior, médio e menor) de cada carta náutica sinalando três pontos em cada curva para determinar a circunferência e obter o raio dela.

Descrito no capítulo 3, na Figura 15, mostra-se exatamente um exemplo da toma de medidas a escala dos raios de giro.

Conseqüentemente, a partir das medidas padrão das embarcações escolhidas para este estudo, o comprimento foi utilizado junto com a diretriz de PIANC (2014) recomendada para raios de giro em zonas restritas ou hidrovias; o fator de 2 a 2,5 foi utilizado em concordância à relação de profundidade/calado de 1,40 (critério de calado máximo). Tabela 20.

**Tabela 20** - Raios de giro segundo as embarcações preliminares de estudo.

Arranjo de Comboios B x C	1X1	2X1	2X2	2X3	3X1	3X2	3X3
<b>Boca (B)</b>	10,67	21,34	21,34	21,34	32,01	32,01	32,01
<b>Comprimento (C)</b>	100,96	100,96	161,92	222,88	100,96	161,92	222,88
<b>Calado</b>	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74
<b>Deslocamento (m3)</b>	2140,9	3787,1	7202,3	10618	5433,3	10556	15679
<b>RAIO DE GIRO TRECHO RETO (m)</b>				<b>RAIO DE GIRO TRECHO CURVO (m)</b>			
<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>
100,96	100,96	161,92	222,88	380,62	380,62	610,44	840,26

Nota: R1 correspondente ao comboio 1X1, R2 ao 2X1, R3 ao 2X2 e R4 ao 2X3.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Assim, na seleção dos trechos o raio de giro é comparado com a medida menor a escala das cartas náuticas, resultando em uma matriz binária para estabelecer quais embarcações com raios de giro conhecidos, passam pelas sinuosidades da hidrovia Paraguai-Paraná. Porém, na subdivisão de trechos foi possível identificar várias porções do rio que

precisam obras de melhoramento hidroviário ou simplesmente configurar o arranjo diferente; dependendo das restrições particulares da hidrovia.

Foi escolhida a medida menor de raio de giro de cada carta para obter a máxima restrição; no entanto, pode-se utilizar as outras (média ou maior) de acordo com a manobrabilidade dos comboios. Neste caso trata-se de barçaça-empurrador, quando pode-se utilizar empurrador-barçaça-rebocador; facilitando o giro do comboio.

### 5.3.5 Subdivisão dos Trechos (Critério de escolha)

Finalmente, depois dos análises anteriores teve-se a subdivisão dos trechos como resultado da análise do modelo (resumido) de escolha mostrado na Tabela 21 e 22. A tabela completa se encontra no Anexo 1.

**Tabela 21** – Planilha Resumida de Análise de Trechos.

REF carta náutica	RAIO DE GIRO TRECHO RETO				RAIO DE GIRO TRECHO CURVO				
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	RX
	100,96	100,96	161,92	222,88	380,62	380,62	610,44	840,26	1299,90
3442	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3441... 3364	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3365	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO
3364	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
3363... foto 11	...	...	...	...	...	...	...	...	...
foto 12	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Lâmina 60	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Lâmina 59... AR530070	...	...	...	...	...	...	...	...	...
AR530060	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Legenda:

Trecho 1	SIM = Passa
Trecho 2	NÃO = Não Passa
Trecho 3	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em concordância ao anterior, dividiu-se em três trechos maiores:

**Trecho 1:** Desde Cáceres – porto de Carne Seca, até o porto de Corumbá - no Brasil. São 78 cartas náuticas, o canal possui uma largura mínima de 30m, e a média de 95,5m. Altamente sinuoso, com restrições de calado e boca dos comboios; de acordo as cartas batimétricas mantem o mesmo nível no canal navegável o 90% do tempo ao ano. Porém no

70% do tempo a profundidade média desce até 1,80m, impondo a restrição de carga nos comboios. O 30% do tempo a profundidade é de 1,50m, especialmente pelos bancos de areia nas proximidades das cidades como Cáceres.

Neste trecho de 717,6 km de comprimento (21,99% da hidrovia), se identificou 67 passos ruins como meandros estreitos e profundidades menores as mínimas; a maioria estão entre as cartas náuticas de Castelo-Mutuca (3423) até Argolão-Carandá Grande (3397), quase todas as obras sinaladas dentro das referenciadas são dragagens e correções de curso.

A velocidade média calculada para este trecho foi de 6 nós, baixa. Tomada como dado para a assinatura nas tabelas da PIANC para as larguras adicionais. Em média é 1.3B. Assim, o dado da largura resulta na obtenção do número de chatas ou boca máxima por carta; até 3 chatas de 11m podem passar pelo trecho, mas para a operação dos comboios a restrição será de 2 chatas para permitir a ultrapassagem no caso necessário.

O comprimento máximo do comboio calculado de 162m permite que o raio de giro do comboio não apresente perigo e seja considerado com manobrabilidade baixa/media e não pobre; a média para este trecho é de 630,65 m. Utilizou-se o fator de 2,5 vezes o comprimento projetado. Então os comboios calculados para este trecho são de 2x1, 2x2 e 2x3.

**Trecho 2:** Representa o 45,33% da hidrovia. Canal de sinuosidade moderada desde o Porto de Corumbá no Brasil até a confluência com o rio Paraná no Passo de La Pátria. São 64 cartas náuticas e 12 fotografias estudadas com 1479,45 km de comprimento cujo canal apresenta o calado de 3,0m o 80% do tempo; a média mínima de 2,71m o resto do ano. O canal tem a largura mínima de 75m e a média de 140,5m; mas existe um ponto no porto Sastre (carta náutica 3334) que tem 50m de largura; porém, não representa nenhuma complicação aos comboios projetados neste trecho.

Portanto, considera 6 chatas de 11m na operação dos comboios, mas a restrição será de 4 chatas para permitir a ultrapassagem dos outros comboios. As larguras adicionais calculadas foram de 1.0B mais e o raio de giro em média é de 2082,96m.

A velocidade de navegação permitida é de 7 nós e o raio de giro aplicado neste trecho de 2,5C (comprimentos), dentro do modelo de seleção dos trechos no Anexo 1, sinala o comprimento máximo calculado de 220m. Portanto, os arranjos para comboio são: 4x2, 4x3, 4x4 e 4x5.

**Trecho 3:** Desde a confluência com o rio Paraná no Passo de La Pátria, até o Rio De La Plata no Argentina/Uruguai; 1066,77 km de comprimento ou 32,68% da hidrovia; o trecho relativamente com restrição baixa, mantém o nível de profundidade mínima média de 2,45m o 90% do tempo. Portanto, os comboios que percorrem são da ordem de 5X5 e maiores.

Porém, o cálculo de número de chatas permitidas de acordo à largura da hidrovia é na média de 20 (boca entre 10 e 12m). Então a restrição imediata seria a capacidade do empurrador ou rebocador. A largura média do canal é de 473,5 m e o raio de giro de 3757,5 m. na determinação das larguras adicionais, calculou-se  $1,25B$  em média para este trecho. De acordo à configuração do comboio, existem partes do trecho que precisam uma muda de configuração de comboio para assegurar o passo. Por exemplo, no percurso em que a embarcação passa por baixo de pontes.

**Tabela 22** - Resumo da definição de trechos da hidrovia Paraguai-Paraná.

<b>IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO</b>	<b>DESCRIÇÃO DO TRECHO</b>	<b>CONFIGURAÇÃO DO COMBOIO (COLUNAS X FILAS)</b>	<b>DIMENSÕES DA CHATA (METROS)</b>
Trecho 1. Desde Cáceres até o Porto de Corumbá - Brasil:	O canal possui 30m de largura mínima, a média de 95,5m e 2,45m de profundidade mínima média. Tendo um calado efetivo de 1,80m durante 70% do ano. Nos outros 30% o calado se reduz para 1,50m devido a formação de bancos de areia no trecho (exemplo: 150 km próximo a cidade de Cáceres). Canal altamente sinuoso.	Trafegam comboios 2x1, 2x2 e 2x3. Limitados pela largura do canal e os passos ruins na hidrovia. Comboio máximo de 162m no comprimento.	Chata padrão de: Comprimento: 40m a 60m +- 2% Boca: 11m +- 5% Calado: de 1,50m a 1,80m Capacidade: de 600 até 1000 toneladas cada chata.
Trecho 2. Desde Porto de Corumbá - Brasil, até o Paso de la Pátria no rio Paraná:	Tendo um calado médio de 3,0m (10 pés) durante 80% do ano e 2,71m na média o resto do ano. Canal de sinuosidade moderada.	Onde trafegam comboios 4x2, 4x3, 4x4 e 5x4. Limitado pelo comprimento e raio de giro em 220m.	Chata padrão de: Comprimento: 40m a 60m +- 2% Boca: 11m +- 5% Calado: de 2,00m a 2,74m Capacidade: de 650 até 1500 toneladas cada chata.
Trecho 3. Desde o Paso de la Pátria - confluência com o rio Paraná até o Porto de Conchillas - Uruguai no rio De La Plata:	Canal navegável largo, 90% do tempo assegura 2,45m de profundidade mínima e 16,0m na média de profundidade máxima o 80% do tempo. Serviços portuários na ribeira ao longo do percurso. Restrição baixa no canal.	Comboios 3x8, 4x5, 5x5, até 5x8; limitado em alguns casos pelas pontes sobre a hidrovia. Recomenda-se a troca de configuração.	Chata padrão de: Comprimento: 60m +- 2% Boca: 11m +- 5% Calado: de 2,74m a 3,2m ou mais Capacidade: de 1500, 1800 toneladas ou mais cada chata.

Nota: Inclui as dimensões máximas permitidas segundo a metodologia aplicada.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

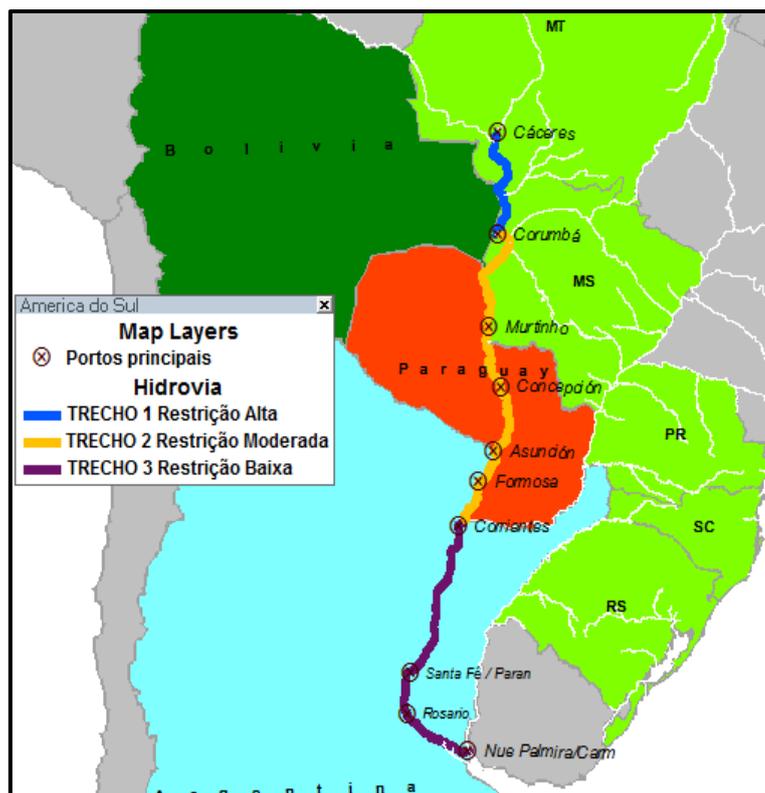
Estes trechos ilustrados na Figura 26 e definidos como: altamente sinuoso e restritivo, estreito com sinuosidade moderada e baixa-mente restrito (trechos 1 ao 3 respetivamente), limitam o passo dos comboios maiores na seca. Assim, as medidas máximas para a embarcação padrão por trecho detalham-se na Tabela 23.

**Tabela 23** – Medidas máximas das embarcações por trecho.

<b>IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO</b>	<b>MEDIDAS MÁXIMAS DA EMBARCAÇÃO TIPO</b>
Trecho 1. Desde Cáceres até o Porto de Corumbá - Brasil:	Boca x Comprimento de 30 x 162 m sem folga para ultrapassagem. Calado Máximo de 1,5 m.
Trecho 2. Desde Porto de Corumbá - Brasil, até o Paso de la Pátria no rio Paraná:	Boca x Comprimento de 60,5 x 220 m sem folga para ultrapassagem. Calado Máximo de 3,0 m.
Trecho 3. Desde o Paso de la Pátria - confluência com o rio Paraná até o Porto de Conchillas - Uruguai no rio De La Plata:	Boca x Comprimento de 190 x 560 m com folga para ultrapassagem. Neste caso, o limite depende das restrições físicas da hidrovia e a potência dos navios ou empurradores. Calado Máximo de 16 m.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

**Figura 26** - Divisão por trechos da hidrovia de acordo com a metodologia.



Fonte: Elaborado pelo Autor – Software TransCad versão estudantil.

#### 5.4 OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS SEGUNDO A EMBARCAÇÃO TIPO

Procedeu-se de modo a realizar uma otimização de custos para o transporte de cargas dos comboios segundo a embarcação tipo que navega na hidrovia Paraguai-Paraná. No início os dados de entrada do modelo matemático necessários como referência para a visualização no software TransCad são:

- Portos ou pontos de localização das cargas na hidrovia.
- Quantidade e tipo de cargas dos centros produtores.
- Custo de deslocamento das cargas.
- Restrição por trechos.
- Tamanho dos comboios.

##### 5.4.1 Seleção de Portos ou Centros de Armazenagem

Segundo PIANC (2014) uma das considerações importantes na classificação das hidrovias é a seleção dos pontos de atracação ou centros portuários. Nesse sentido, a Hidrovia

Paraguai-Paraná ao longo do percurso aloca uma serie de portos e terminais multimodal para facilitar o deslocamento de cargas e otimizar o transporte.

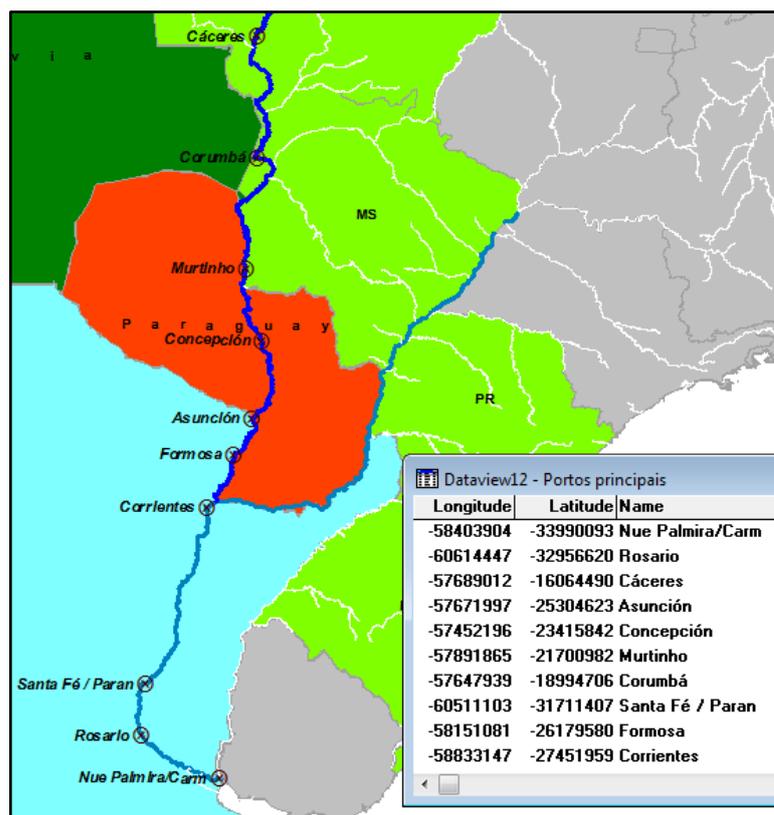
Porém, apesar da quantidade disponível, deve-se selecionar aqueles com maior interesse para o planejamento da hidrovia. No caso da Hidrovia Paraguai-Paraná, foram discriminados os destacados na Tabela 24 e na Figura 27.

**Tabela 24** - Seleção de portos ao longo da hidrovia Paraguai-Paraná

<b>PORTO</b>	<b>RIO</b>	<b>TRECHO</b>
Cáceres - Carne Seca	<b>Paraguai</b>	<b>Trecho 1</b>
Corumbá		
Murtinho		<b>Trecho 2</b>
Concepção		
Asunción		
Formosa		
Corrientes	<b>Paraná</b>	<b>Trecho 3</b>
Santa Fé		
Rosário		
Nueva Palmira		

Fonte: Elaborado pelo Autor; a partir dos dados prévios.

**Figura 27** - Principais portos escolhidos para o escoamento de cargas



Fonte: Própria a partir dos dados de carga e custo. Própria – Software Transcad versão estudantil

#### 5.4.2 Fluxo das cargas na Hidrovia Paraguai-Paraná

De acordo aos portos sinalados previamente na hidrovia, avaliou-se as estatísticas gerais do fluxo comercial das cargas e barcaças dos anos 2016 e 2017. Segundo o CIH (Comité Intergovernamental Hidrovia Paraguai-Paraná) o fluxo das cargas nos trechos do alto e baixo do rio Paraguai dos últimos anos está descrito na Tabela 25.

**Tabela 25** - Fluxo das cargas nos trechos 1 e 2 (alto e baixo Paraguai) em 2016 e 2017

FLUXO COMERCIAL MONTANTE					Trechos 1 e 2
Mercadorias	2016 (Ton)	%	2017 (Ton)	%	
Carga Geral	998.664,00	21,25	893.702,00	20,38	
Combustível	2.937.350,07	62,49	2.286.097,60	52,12	
Outros	764.377,59	16,26	1.206.423,68	27,50	
<b>Total</b>	<b>4.700.391,66</b>	<b>100</b>	<b>4.386.223,28</b>	<b>100</b>	
FLUXO COMERCIAL JUSANTE					Trechos 1 e 2
Mercadorias	2016 (Ton)	%	2017 (Ton)	%	
Soja e Derivados	9.668.812,00	64,25	8.951.395,00	67,23	
Mineral Ferro	3.829.229,60	25,45	2.743.241,00	20,60	
Outros	1.550.881,14	10,31	1.620.189,00	12,17	

<b>Total</b>	15.048.922,74	100	13.314.825,00	100	
--------------	---------------	-----	---------------	-----	--

Fonte: CIH (2017).

Na Tabela 25, nota-se que a tendência da transportação de cargas é negativa; tanto para o ingresso como para a saída das mercadorias. Porém, a demanda continua acrescentando-se nos povos da ribeira e a necessidade de escoamento dos produtos nas zonas produtoras continua sendo pelas rodovias e outros modais mais custosos. Adicionalmente, cargas ao granel sólido consolidam-se como as principais commodities regionais de exportação, e as cargas ao granel líquido são as demandadas como importação.

Os dados de importações e exportações do ano 2016 – 2017 segundo a ANTAQ (2017), assegura que a região movimentou 184 milhões de toneladas nesse período; e somente na zona da hidrovia do Paraguai-Paraná movimentou-se mais de 54 milhões de toneladas.

As zonas de produção tomadas nas proximidades da hidrovia respectivamente são: para a Bolívia três: Santa Cruz, Tarija e Chuquisaca; todo o Paraguai devido a hidrovia passa pelo centro do país; ao Brasil correspondem a Região Centro Oeste e para a Argentina dois: Nordeste (NEA) e Pampeana (PAM).

O deslocamento na zona da hidrovia Paraguai-Paraná, tem a tendência a exportar desde os centros produtores mais que a importar cargas; além disso, nem todos os produtos são movimentados pela hidrovia. Assim, as rodovias e ferrovias são utilizadas para chegar aos portos de armazenagem no litoral respectivamente.

O resumo de importações e exportações da zona de interesse da hidrovia Paraguai-Paraná, estão descritas nas Tabelas 26 e 27.

**Tabela 26** - Importações e Exportações na zona de influência por trecho.

			Produtos (Toneladas)			
Ano	País	Zona de produção	Importações	Exportação	Total	Trecho
2016 / 2017	BOL	3 Regiões (Santa Cruz, Tarija, Chuquisaca)	2.477.509,64	21.879.570,52	24.357.080,16	1
	PAR	Global	3.136.127,83	13.858.080,00	16.994.207,83	2
	ARG (10-90%)	Regiões NEA-PAM	30.200.000,00	80.600.000,00	110.800.000,00	3
	BRA	Região Centro Oeste	15.644.000,00	38.639.000,00	54.283.000,00	1,2,3

Fonte: ANTAQ (2017).

No entanto, os valores monetários são muito similares em importação e exportação devido basicamente aos produtos terminados com valor agregado que ingressam as zonas antes mencionadas. Tem a ver também o custo do transporte relacionado.

**Tabela 27** - Custo de produtos movimentados na zona de influência por trecho.

Ano	País	Zona de produção	Valor (milhões de dólares)			Trecho
			Importações	Exportação	Total	
2016/	BOL	3 Regiões (Santa Cruz, Tarija, Chuquisaca)	4.575,41	3.550,81	8.126,22	1
2017	PAR (20-80%)	Global	9.753,00	8.501,00	18.254,00	2
	ARG (10-90%)	Regiões NEA-PAM	55.610,00	57.733,00	113.343,00	3
	BRA	Reg. Centro Oeste	4.554,00	13.609,00	18.163,00	1,2,3

Fonte: ANTAQ (2017).

#### 5.4.3 Custo da Tonelada Movimentada

O cálculo do custo médio hidroviário foi feito no site web da EPL (2019), tem disponível o simulador dos custos por tonelada movimentada de acordo ao modal de transporte e o tipo de carga; inclusive com o tipo de restrição segundo a hidrovia. Assim, foi possível simular os custos para cada trecho de acordo as variáveis disponíveis; expressadas na Tabela 28.

No trecho 1, sendo de alta restrição pela sinuosidade do rio e os estreitamentos, gargalos, passo ruins, obras de arte, bancos de areia, etc.; o custo por quilômetro é alto. O simulador leva em consideração parâmetros do modo de transporte a ser utilizado, o grupo de mercadorias e a distância a ser percorrida, obtendo-se o valor do custo médio para o trajeto em reais por tonelada ou reais por metro cúbico; o qual foi transformado a dólares americanos para os cálculos respectivos. O valor nos trechos 2 e 3 serão similares devido à variável do tipo de restrição do trecho.

**Tabela 28** - Custos de escoamento de cargas na hidrovia Paraguai-Paraná.

Custo Médio Hidroviário						
Tipo de carga	Tipo de restrição	Custo médio por tonelada por km trecho 1. (USD)	Tipo de restrição	Custo médio por tonelada por km trecho 2. (USD)	Tipo de restrição	Custo médio por tonelada por km trecho 3. (USD)
Granel Sólido Agrícola	Trecho 1 - Alta	2,03	Trecho 2 - Média	1,47	Trecho 3 - Baixa	1,05
Granel Sólido não Agrícola		1,91		1,42		1,01
Granel Líquido		2,84		2,45		2,44
Carga geral		4,57		3,74		3,74
Carga geral em contêiner		4,52		3,69		3,69

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir dos dados da EPL (2019).

Nota-se que os custos por quilômetro e por tonelada nos trechos 2 e 3 de baixa e média restrição são muito parecidos. Porém, no trecho 1 de alta restrição praticamente são 50% maior. Também, os custos por tonelada vão diminuir se as distâncias percorridas são maiores; ou seja, que o custo será ainda mais favorável em função da distância deslocada.

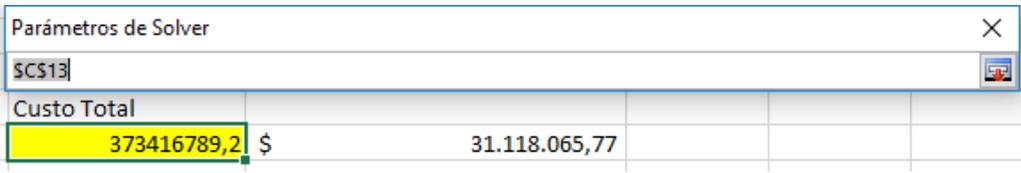
Adicionalmente, da mesma plataforma de simulação o custo por tonelada movimentada por quilômetro para as rodovias é de 4,01 USD; 100% maior que no trecho mais restrito.

#### 5.4.4 Visualização da Otimização do Modelo Matemático (TransCad)

Com os arranjos ideais de comboios para cada trecho, pode-se estabelecer um modelo matemático de 3 variáveis com 7 restrições cujo objetivo seja otimizar o custo total de transporte nos trechos. Assim, foi possível utilizar o software estudantil livre TransCad para visualizar o uso da hidrovia de acordo com os valores para cada tipo de comboio (número de comboios) em cada trecho.

A função objetivo do modelo de otimização se mostra na Figura 28.

**Figura 28** – Solver - Função Objetivo.



Parâmetros de Solver	
Objetivo	\$C\$13
Por	Grande
Valor	373416789,2
Alterar células	\$B\$13:\$D\$13
Restrições	\$B\$13:\$D\$13 >= 0
Método	GRG Não Linear

Fonte: Elaborado pelo Autor

Expressados na Tabela 29, As variáveis e restrições são:

- Menor custo total.
- Número menor de Arranjos ou Comboios por trecho.
- Carga Transportada por trecho.

As restrições particulares para o modelo foram as seguintes:

- A carga para transportar deve ser maior ou igual a capacidade de carga disponível por trecho.
- O custo total otimizado é função da carga de transporte e o número de comboios por trecho.
- O custo por trecho e por quilômetro se estabelece com o simulador de custos disponível na empresa de planejamento e logística S.A do Brasil.

- A carga de transporte disponível por trecho é sempre maior que a carga a transportar.
- Limitar o número máximo de cada arranjo de comboio, assim relacionar com as viagens por trecho.
- Estabelecer o número mínimo de arranjos por trecho.
- Os números de comboios por trecho são pertencentes ao grupo dos inteiros.

**Tabela 29** – Solver. Simulador de Otimização de Custo.

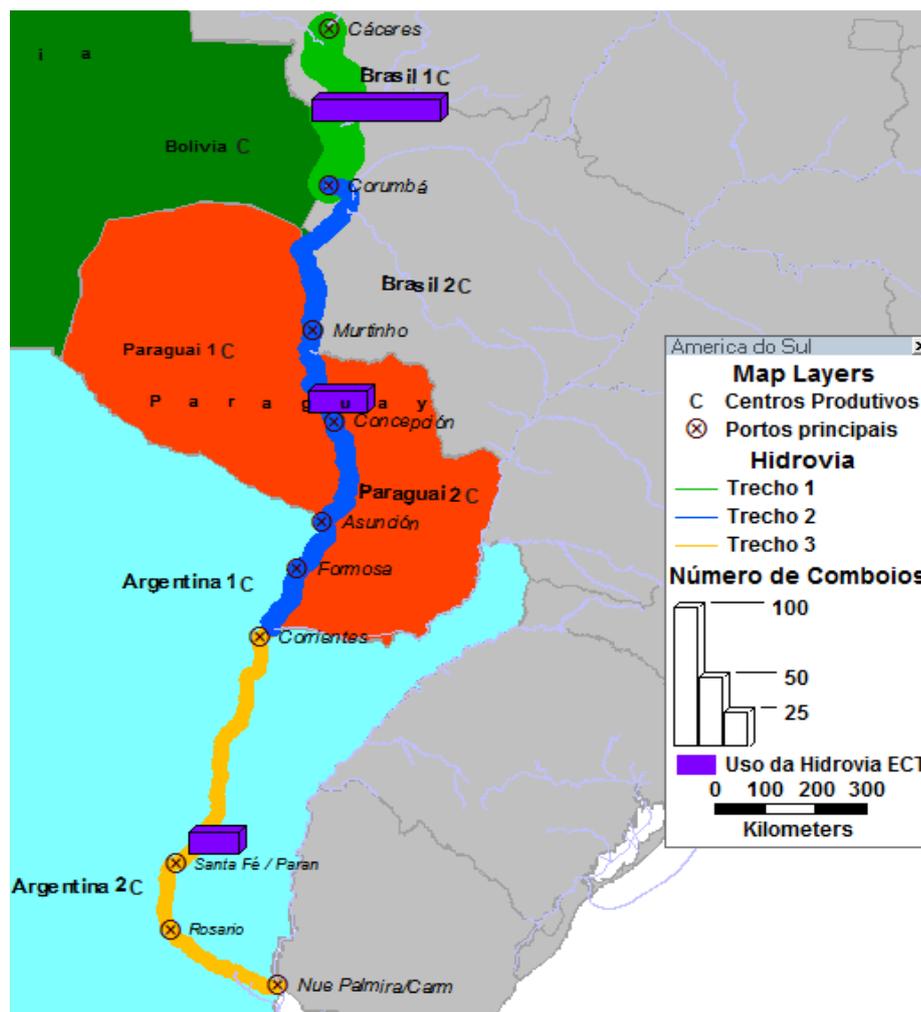
<b>Otimizador de Custo</b>										
<b>Trecho</b>	<b>1</b>				<b>2</b>				<b>3</b>	
<b>Comprimento do trecho (KM)</b>	664,57				1489,6				1066,78	
<b>Comboio Tipo Preliminar</b>	1x1	2x1	2x2	2x3	4x2	4x3	4x4	5x4	3x8	5x8
<b>Capacidades em Toneladas do Comboio</b>	1300	2600	5200	7800	1040	1560	2080	2600	3120	52000
<b>Carga Deslocada por trecho (T)</b>	401069				423299				725400	
<b>Mínimo de comboios tipo</b>	10									
<b>Máximo de comboios tipo</b>	25									
<b>Quantidade de Comboios por trecho</b>	13	23	25	25	10	10	10	10	24	10
<b>Custo por Tonelada por Quilômetro (USD)</b>	22,39				29,23				20,47	
<b>Custo por viagem do Comboio</b>	29101,8	58203,6	116407	174611	303984	455976	607967	759959	638577	1064294
<b>Menor Custo Total (USD)</b>	56.240.097,16									

Fonte: Elaborado pelo autor – Solver/Excel.

Ainda que o simulador otimiza o custo total, nota-se que a variável de custo por tonelada e por quilômetro não é exatamente um valor confiável.

Observasse na Figura 29 a análise do fluxo de cargas com a otimização de custo total de cada trecho de acordo com as variáveis e restrições do modelo matemático explicado anteriormente na metodologia.

**Figura 29** - Mapa de otimização de custo total por trechos da hidrovia Paraguai-Paraná.



Fonte: Elaborado pelo Autor – Software TransCad versão estudantil

No mapa pode-se apreciar que a utilização da hidrovía no trecho 1 a largura apresentada é maior que os trechos 2 e 3; devido a que a capacidade navegável do trecho 1 encontra-se no limite superior.

No trecho 2 o uso da hidrovía ainda continua sendo maior que no trecho 3; devido principalmente à capacidade de carga dos comboios e a quantidade de carga movimentada pelos trechos. Porém, não atingem o máximo da capacidade.

Nota-se na Tabela 30, que a capacidade de transporte de cargas da hidrovía ainda não foi atingida nos trechos maiores. Pode-se apreciar que para o trecho 3 o número de comboios é menor que no trecho 2 e muito menor que no trecho 1; mas a carga transportada é inversamente proporcional.

**Tabela 30** - Número de Arranjos de Comboios.

Trecho	Tipo de Arranjo ou Comboio	Carga Movimentada (T)	Número de Comboios	Comboios Totais Utilizados
1	1x1	401.069	13	<b>86</b>
	2x1		23	
	2x2		25	
	2x3		25	
2	4x2	423.299	10	<b>40</b>
	4x3		10	
	4x4		10	
	5x4		10	
3	3x8	725.400	24	<b>34</b>
	5x8		10	

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do simulador de custo.

O número de comboios nos trechos 2 e 3 é menor devido a que na resolução do modelo matemático unicamente utilizou-se 1% da carga total gerada das zonas ou centros produtores; portanto a capacidade de transporte de carga da hidrovia nestes trechos pode-se acrescentar sem problema. Ainda que o número de arranjos é menor no trecho 2 e 3, a carga movimentada é ao contrário, maior. Deve-se ao tipo de arranjo determinado para cada trecho a partir da guia metodológica.

Finalmente, o modelo permite conhecer os limites de transporte de carga para cada trecho e estabelecer parâmetros de planejamento futuro de transporte de cargas; otimizando ao menor custo. O primeiro passo seria tentar atingir a capacidade máxima de cada trecho.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 EMBARCAÇÕES PADRÃO PARA HIDROVIAS

Conforme discriminado nos capítulos anteriores, o resultado principal do estudo resolve desenvolver uma guia técnica metodológica caracterizando o conjunto de passos para padronizar as embarcações tipo das hidrovias, baseando sua análise na normativa da PIANC (2014). Os passos são os seguintes:

**Passo 1:** Deve-se parametrizar a hidrovia do estudo; avaliar no contexto macro as melhoras que a otimização permite. Portanto, é importante considerar, na pré viabilidade da hidrovia proposta, aspectos como: indicadores econômicos, de transporte de cargas, informações dos centros produtores, portos, serviços associados, povos ribeirinhos e zona de influência. Então pode-se selecionar os rios da zona de estudo, sinalando o princípio e o fim da mesma (normalmente desde a foz até o montante). Avaliar se o alto custo da inversão em estudos batimétricos é de conveniência para a região.

**Passo 2:** Escolhida a hidrovia, o levantamento de dados físicos e batimétricos é preciso. Existem várias fontes de informação respeito as cartas batimétricas; algumas delas são pagas e outras estão disponíveis nos sites da marinha do país onde se encontra a bacia de estudo. Também, para certas medidas físicas, as ferramentas satélites tipo fotografias, podem ser utilizadas com boa aproximação.

Neste sentido, procura-se informações de largura, comprimento, profundidade, raio de giro, inclinação ou câmbios de nível, tanto para o rio como para o canal navegável. Se as cartas batimétricas vêm de fontes diferentes, com certeza o formato e escala não são similares.

Portanto, é conveniente digitalizar cada uma delas e em sequência na mesma escala; tal que, o software permita dimensionar e reconhecer zonas estreitas, passos ruins ou de melhora ao longo do percurso. Esta base de dados criada constitui o eixo central da análise.

No entanto, se algumas cartas ou porções do rio não estivessem disponíveis, é fatível ponderar ou estimar dados importantes baseados nas próximas a elas. Dependendo dos recursos do estudo e a importância dentro da zona de aplicação, o estudo batimétrico completo é justificável.

Adicionalmente, uma questão fora deste estudo, são as sinais e balizas no percurso da hidrovia; estas encontram-se descritas nas cartas náuticas; senão, uma parte importante da padronização seria a homologação das sinais e ajudas para a operação diurna e/ou noturna.

**Passo 3:** As informações seguintes na conformação da base de dados geral são de tipo macroeconômico; no sentido que, estabeleçam-se as zonas de impacto ou influência, centros ou polos produtores, produtos de escoamento, intermodalidade de transportes, serviços

associados, portos públicos e privados, importações e exportações, entre outros de acordo à pesquisa.

É importante fazer uma primeira seleção de portos e serviços ao longo da hidrovia de estudo, a análise de subdivisão em trechos que posteriormente serão utilizados no padrão tipo ou embarcação padrão, para otimizar em termos de menor custo: tempos de transportação, tipos de configurações, e quantidade de carga.

**Passo 4:** Avaliação de variáveis. Conforme ao anterior, deve-se identificar as embarcações ou comboios preliminares que percorrem a hidrovia por toda ela ou por partes. Tal que, no processo de padronização se determine o arranjo mais ótimo para aquela parte de hidrovia. O processo é tomar as medidas do comboio de boca, comprimento, calado, e capacidade de carga; calculando valores máximos dentro do canal navegável (determinado no passo 2). Depois, as aproximações de comprimentos e larguras máximas viram as medidas de avaliação para cada carta náutica da hidrovia. O processo iterativo testando vários arranjos determina o comboio “ideal”.

As fórmulas, tabelas e figuras do capítulo 3 baseadas na normativa da PIANC (2014), foram utilizadas na determinação das medidas máximas. Neste sentido, as normativas internacionais de classes Europeia, Americana, Chinês e do Brasil, foram analisadas e comparadas como referência para a escolha das embarcações preliminares.

Os dados de velocidade máxima permitida por trecho, necessária para a aplicação das tabelas nas larguras adicionais, determinados pela formula 1 “fator de Froude” (Fnh). Sabendo se a velocidade é baixa, moderada ou alta a aplicação das tabelas 3, 4 e 5 resulta nas medidas adicionais no aumento da largura máxima por carta náutica. O exemplo de cálculo seria:

$$Fnh = 0,7; g = 9,8 \text{ m/s}^2; h = 2,1 \text{ m. } \mathbf{V = 3,18 \text{ m/s}}$$

Depois deve-se pegar os dados de velocidade de vento e correnteza e comparar com as tabelas da PIANC (2014) de comprimentos adicionais. No caso da hidrovia Paraguai-Paraná os dados de velocidade foram assumidos já que não se encontrou um estudo particular sem custo adicional. Porém, se no estudo não tiver as informações, pode-se avaliar as referências históricas ou fazer o estudo de amostra.

As larguras adicionais das tabelas da PIANC (2014) são aproximações de acordo as cargas transportadas, serviços e infraestrutura baseados nas informações da pesquisa do passo 3. Nesse sentido, as larguras extra pelo fator de auxílios à navegação, tipo de fundo, profundidade da hidrovia e carga perigosa estão de acordo as circunstâncias particulares da hidrovia.

Então, a largura máxima é calculada por cada carta náutica, sendo possível dividir essa medida pela boca da embarcação ou comboio resultando no número de chatas permitidas por trecho avaliado. Este dado constitui outra variável na determinação dos trechos padrão é a largura máxima do canal e, portanto, o número de chatas permitidas. Os números serão com decimais para avaliar possíveis casos de melhora.

Logo, o calado máximo da embarcação ou comboio será calculado a partir do fator de Froude; sabendo que o valor máximo seria de 0,7 então o fator na relação profundidade/calado ( $W/B$ ) seria igual a 1,40 (interpolação quadrática) recomendado no trabalho de Caprace (2013).

Assim, para cada carta vai-se calcular dividindo a profundidade mínima no canal para o fator recomendado de 1,40; resultando no calado máximo do comboio.

Agora o raio de giro tomado da digitalização das cartas náuticas é comparado com aquele calculado baseado no comprimento dos arranjos simulados. Como cenário crítico, tomou-se os raios de giro menores para cada carta náutica, sendo comparados com os diferentes raios de giro de cada configuração desejada numa matriz de duas variáveis: positiva ou negativa.

A resposta positiva “SIM” assegura o passo daquela embarcação ou comboio e a negativa “NÃO” limita o passo pelo canal desse arranjo. Desta forma, saberemos até que tipo de configuração pode se projetar, desde 1x1 até 5x5 no caso do presente estudo da hidrovia Paraguai-Paraná. Avaliando não somente as dimensões senão o as dimensões do empurrador. Este limite nas configurações é outra variável dentro da seleção dos trechos padrão.

No entanto, para certos casos, alguns valores ou medidas ficaram fora de rango; para os casos isolados a medida em questão deve-se avaliar e determinar a obra da arte necessária. Para os outros valores que geram uma tendência, teria se considerar uma troca de configuração tipo “subdivisão” intermédia ou as melhoras complementarias de cada caso. Para casos isolados obras de dragagem, correção de linhas, portos de atracação, canais, pontes, entre outras.

**Passo 5.** Divisão por trechos e padrão de embarcações para hidrovia do estudo. Na obtenção da matriz geral de duas variáveis, o ponto de quebra para marcar o início ou fim da subdivisão é onde as configurações mudam ou não passam; geram tendências marcadas como as seguintes:

- O número médio de chatas por carta muda, acrescentando consistentemente. Nosso caso, da média de 2 a 6 para o trecho 1; de 6 a 20 para o trecho 3. Aqui avaliou-se larguras, boca máxima, fatores recomendados e tabelas.
- O fator de manobrabilidade do comboio, sendo que a velocidade calculada é baixa, moderada ou alta. Nosso caso, a mesma troca de moderada a boa.

- Na matriz dual, avaliada para os dois tipos de barças ou mais, vai-se notar que a mudança de seção está marcada quando a resposta é positiva ou negativa. Depende do tipo de arranjo utilizado.

Portanto, a união das avaliações anteriores fecha o critério de escolha dos trechos. Em sequência, determina também o comprimento, largura e profundidade máximas para a projeção das embarcações ou comboios mais ótimos para cada trecho chamados padrão. Na Tabela 31, evidencia-se o resumo da metodologia para determinação de embarcações padrão.

**Tabela 31** - Resumo da Metodologia para Determinação de Embarcações Padrão.

<b>PASSOS</b>	<b>ITEM</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Passo 1	Parametrizar a hidrovia do estudo	Indicadores econômicos, de transporte de cargas, informações dos centros produtores, portos, serviços associados, povos ribeirinhos. Sinalando o princípio e o fim da mesma (normalmente desde a foz até o montante)
Passo 2	Levantamento de dados físicos e batimétricos	Larguras, comprimentos, profundidades, raios de giro, inclinação ou câmbios de nível, tanto para o rio como para o canal navegável.
Passo 3	Conformação da base de dados geral	Zonas de impacto ou influência, centros ou polos produtores, produtos de escoamento, intermodalidade de transportes, serviços associados, portos públicos e privados, importações e exportações, entre outros de acordo à pesquisa.
Passo 4	Avaliação de variáveis	Cálculo de medidas do comboio, velocidade máxima permitida por trecho, larguras adicionais do canal, calado máximo da embarcação ou comboio, matriz de comparação do raio de giro.
Passo 5	Embarcação padrão e Divisão por trechos	Número médio de chatas por carta, fator de manobrabilidade do comboio, matriz dual para o critério de escolha, medidas otimizadas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6.2 CONSIDERAÇÕES DAS DIMENSÕES E VARIÁVEIS FÍSICAS

Conforme já mencionado nesse trabalho, as dimensões estão diretamente ligadas às restrições existentes na hidrovia. Eclusas, trechos com limitação de profundidade, curvas fechadas, trechos estreitos, condições do percurso, serviços associados, estocagem, trasbordo, segurança, escoamento de produtos, mudanças climáticas, entre outros; utilizam-se na determinação das maiores dimensões possíveis de um comboio. Ou seja, se apresenta a metodologia de dimensionamento máximo do comboio para trafegar nos trechos sem restrições naquela seção de hidrovia. Portanto na cadeia logística, pode-se calcular os tempos e custos associados.

Para as demais passagens críticas (curvas fechadas, bancos de areia, etc.), o modelo leva em consideração os níveis de risco e de interferência para a determinação da maior formação de comboio. A metodologia seleciona tanto o comprimento como a largura das chatas para otimizar o aproveitamento do espaço no transporte das mercadorias.

Corroborando com essa assertiva, o calado de operação de um comboio fluvial é escolhido por dois motivos: econômicos, para transportar a maior quantidade possível de cargas em uma viagem; e pelas restrições operacionais. Ou seja, tende-se a utilizar comboios do maior calado possível em uma hidrovia. Portanto, o maior custo de investimento no armado de chatas ou comboios de maiores calados e pesos pode não ser eficiente e ao contrário, tornar o projeto de transportação inviável.

#### 6.2.1 Arranjo de Comboios – Embarcação Tipo

Esta avaliação ou proposta desenvolvida, por meio da variação sistemática de combinações de comboios, garante a operação de embarcações projetadas eficientemente para cada trecho duma hidrovia; em relação aos aspectos físicos, de serviços, segurança e de interferência nos trechos da hidrovia.

Portanto, este estudo avalia a metodologia de classificação padrão de embarcações para hidrovias; propõe as configurações dos comboios (navios, empurradores e/ou chatas); especificando para cada trecho da hidrovia subdividida. A desmembração nos pontos críticos é possível também.

A metodologia permite basear os estudos com os navios presentes na zona de pesquisa, e a partir de aí conhecer as medidas máximas de boca, comprimento e calado para projetar comboios eficientes para cada trecho selecionado.

#### 6.2.2 Operação e Custo

As velocidades de operação dependem diretamente das restrições de cada trecho, os tipos de arranjos de comboios e da potência disponível dos motores; assim, baseados na metodologia proposta o uso da mesma diminuiria tempos de trânsito nas sinuosidades e otimizaria os serviços ao longo da hidrovia obtendo menor custo por tonelada transportada; segundo a criação do modelo de otimização de custo.

A proposta relaciona as velocidades máximas permitidas, em média por trecho, de passagem do comboio pela hidrovia com restrições de largura e de profundidade. No entanto, as velocidades nos trechos críticos se forem menores que as velocidades de cruzeiro, a hidrovia pode possuir restrições únicas baseadas na experiência do prático.

### 6.2.3 Metodologia proposta

A metodologia é uma abordagem para subdividir a hidrovia em trechos e otimizar a embarcação do percurso, que chamamos de embarcação padrão, baseado nas condições de navegabilidade independentes para cada porção do rio percorrido. Otimiza o custo em termos de carga transportada, os arranjos de comboios para cada parte selecionada. Nesse sentido, a criação da matriz de escolha para a classificação avaliou-se no caso de estudo, testando a sensibilidade do modelo.

Garante uma subdivisão operacional com características técnicas e serviços associados adequadas para cada trecho; identificando gargalos e restrições no percurso. Assim, pode-se planejar obras de engenharia, infraestrutura na hora de classificar cada porção dos rios. Por último, facilita aos armadores conhecer as dimensões máximas permitidas da hidrovia para futuros projetos de barcaças.

### 6.3 ANÁLISE SWOT DA PROPOSTA

A análise SWOT através de quatro variáveis: Strengths (Forças), Weaknesses (Fraquezas), Oportunities (Oportunidades) e Threats (Ameaças), poderá posicionar os fatores críticos dentro da metodologia visando fortalecer a seleção de embarcações padrão. Assim, melhorando a competitividade do transporte modal aquaviário, satisfazendo as necessidades do mercado de transportação de cargas.

<b>FORÇAS</b>	<b>FRAQUEZAS</b>
Impacto Regional – América Latina	Falta de regulamentações regionais
Acrescentamento da competitividade baixando custos de transporte com medidas máximas dos navios.	Pouca multimodalidade de transportes.
Suporte para projetos e políticas de desenvolvimento económico e social.	Falta especificar Serviços: Aduanas, armazenagem, controle.
Desmonopolizar o transporte de cargas dos outros modais de transporte.	Financiamento ou acesso aos créditos para desenvolver projetos novos e melhorar os existentes.
Deslocamento de grandes quantidades de mercadorias por viagem.	Acesso limitado das informações batimétricas reais ou simplesmente não existe.
Segurança na navegação.	Mudas de configurações dependendo do local. Perda de tempo.
Fornecer a ferramenta de controle e estatística para comboios e navios.	Alguns povos não serão apoiados para seu desenvolvimento.

Mudas de configurações dependendo do local. Presencia de mercados consolidados e emergentes. Identifica o potencial comercial Ampliação para novos mercados.	Retorno no investimento à longo prazo. Geralmente pouca infraestrutura ou privada. Cadeias logísticas fracas Embarcações e comboios atuais sem padrão. Nível da água ou temporalidade.
<b>OPORTUNIDADES</b>	<b>AMEAÇAS</b>
Uso dos recursos naturais existentes Crescimento dos povos e tecnologias Colecção de impostos. Integração regional. Utilização de novas tecnologias para a navegação e carga de mercadorias. Desenvolvimento de projetos navais e desenho de embarcações Fornecer parâmetros regulatórios Navegação noturna Criação de praças de trabalho. Identifica links e obras de engenharia a priorizar ou faltantes.	Projeto, superestimação ou subestimação Desastres naturais. Grande parte dos rios mudam seu percurso. Material vegetal no percurso Risco de encalhe nos trechos pouco profundos.  Falta de controle regulado  Sedimentação Força de trabalho fraca Pirataria  Pouco controle populacional  Preços internacionais desiguais

## 7 CONCLUSÕES

Demostrou-se que a falta de determinação de uma embarcação padrão para hidrovias diminui a competitividade do transporte hidroviário. Limitando ainda mais o desenvolvimento regional na ALC pela falta de informações de planejamento de rotas, pontos de conexão multimodal, tipo e quantidade de carga, custo por quilômetro e tipo de navio mais adequado. A metodologia de padronização de embarcações proposta para a navegação interior, conseguiu avaliar características físicas (comprimento, largura, profundidade e raio de giro) para otimizar as medidas máximas e configurações de comboios que percorrem a hidrovia subdividida em trechos.

Nesse contexto, a nova metodologia com base na comparação de outras classificações internacionais de embarcações testadas e que vem sendo utilizadas no desenvolvimento das nações do primeiro mundo; constitui a ferramenta para criar uma base de dados regional visando o desenvolvimento do transporte de mercadorias. Logo, a metodologia não define

potências ou capacidades dos empurradores ou rebocadores de cada formação de comboios. Sendo que podasse considerar para outro estudo futuro.

Dessa maneira, foi sensibilizado o modelo na hidrovia Paraguai-Paraná; obtiveram-se valores numéricos máximos para cada um dos trechos subdivididos; tendo as medidas destacadas na Tabela 32.

**Tabela 32** – Medidas Máximas da Embarcações Padrão da Hidrovia Paraguai-Paraná.

<b>MEDIDAS MÁXIMAS DA EMBARCAÇÃO TIPO</b>
Boca x Comprimento de 30 x 162 m sem folga para ultrapassagem. Calado Máximo de 1,5 m.
Boca x Comprimento de 60,5 x 220 m sem folga para ultrapassagem. Calado Máximo de 3,0 m.
Boca x Comprimento de 190 x 560 m com folga para ultrapassagem. Neste caso, o limite depende das restrições físicas da hidrovia e a potência dos navios ou empurradores. Calado Máximo de 16 m.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Minorar o custo por tonelada transportada, acrescenta a competitividade e permite a conectividade intermodal dos transportes. A aplicação do método pode-se assegurar uma opção sustentável de transporte competitivo com os mercados mais fortes a nível global. Neste caso de estudo, sabendo que os produtos de exportação das zonas de influência correspondem a 29% para a Bolívia, e 10% para Brasil (Tabela 22); mas somente o 5% utiliza as hidrovias como modal de transporte, 23% vai pelas rodovias e ferrovias. Em termos de tonelagens, para a Bolívia como para o Brasil, correspondem 6,3 e 3,9 milhões de toneladas; dos quais atualmente 510 mil toneladas são transportadas pela hidrovia (5%) e 2,35 milhões de toneladas pelas rodovias e ferrovias. Portanto, pode-se otimizar a movimentação de cargas e diminuir o custo por quilômetro transportado, de 4,01 dólares por km por tonelada nas estradas a 1,52 dólares por km por tonelada em média para a hidrovia Paraguai-Paraná. Outra ideia de economia vem de parte dos investimentos para o transporte, sendo que a vida útil das embarcações é maior que aquela dos caminhões. Até 5 vezes mais.

Na aplicação da normativa de PIANC (2014), o valor de velocidade  $V$  igual manteve-se na faixa correspondente a uma velocidade baixa para os três trechos. Portanto, o parâmetro Squat não foi considerado no estudo.

A sensibilização do modelo provou que no trecho 1 deste estudo, se a hidrovia movimentaria 5% a mais chegando ao 10% a partir do mesmo nível de carga que a zona movimentada atualmente, teria uma economia no transporte de 0,73 bilhões de dólares. Justificando as possíveis obras de engenharia no trecho mais restrito.

Ainda que para os trechos 2 e 3 não atingem a capacidade de tráfego total da hidrovia, segundo o Otimizador de custo, a eficiência do deslocamento de cargas aumenta em 15% se a capacidade de carga simulada aumentasse de 1% a 5% da carga total produzida.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. E & BRIGHETTI, G. **Navegação Interior e Portos Marítimos**. Notas de Aula PHD 523. São Paulo: EPUSP, 1980. 147p.

ANA - Agência Nacional de Águas - ANA. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. Hidroweb. Estudo 2017. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: março de 2019.

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ. **Desempenho do Setor Aquaviário 2017**. Oportunidades e Melhorias portuárias. Indicadores, Carga e Navegação. Anuário Estatístico. Estudo 2017. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/Apresenta%C3%A7%C3%A3o-do-Anu%C3%A1rio-Estat%C3%ADstico-2016.pdf>>. Acesso em: março de 2019.

ANTAQ - BRASIL. ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Boletim Anual de Movimentação de Cargas: Análise da Movimentação de Cargas nos Portos Organizados e Terminais de Uso Privativo**. Brasília: Antaq, 2018. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/PublicacoesTecnicas.asp>>. Acesso em: dezembro de 2019.

BARRASS, C. B. **Ship Squat – A Guide for Masters**, Private report, 2002. Disponível em: [www.shipsquat.com](http://www.shipsquat.com) Acesso em: dezembro de 2019

BAW - Bundesanstalt für Wasserbau - Federal Waterways Engineering and Research Institute. **BAW code of practice – Principles for the design of Bank and Bottom protection for Inland Waterways (GBB)**. 2010. Disponível em: <[https://izw.baw.de/publikationen/merkblaetter/0/BAWCodeofPractice\\_Principles\\_Bank\\_Bottom\\_Protection\\_Inland\\_Waterways\\_GBB\\_2010.pdf](https://izw.baw.de/publikationen/merkblaetter/0/BAWCodeofPractice_Principles_Bank_Bottom_Protection_Inland_Waterways_GBB_2010.pdf)>. Acesso em: Dezembro de 2019.

CAPRACE, J. et al. **A Navigability Metric for Amazon Rivers in the Framework of a Sustainable Ship Transportation Development**. [s.l.], no July, p. 1–13, 2013.

CHM - CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA DO BRASIL, M. Marinha do Brasil. Home page, [s.l.], p. 1–24, 2015.

CHOPRA, S., MEINDL, P. **Gestão da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operações**. Livro (2011). 4. ed. São Paulo: Pearson Education - Brasil, 2011. 536 páginas.

Confederação Nacional dos Transportes – CNT(a). **Pesquisa CNT da Navegação Interior. Estudo (2013)**. Brasília/DF-Brasil: CNT, 2013. 299 páginas: il. color.; gráficos, mapas. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Pesquisa/pesquisa-cnt-navegacao-interior>>.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE. **Reunión de Expertos: Sistemas de Información para la Toma de Decisiones y el Diseño de Políticas Sostenibles sobre el Transporte Fluvial en América del Sul**. CEPAL, 2018.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE. **Inland navigation and a more sustainable use of natural resources: networks, challenges and opportunities for South America**. CEPAL, 2016.

ERYUZLU, N.E., CAO, Y.L., D'AGNOLO, F. **Underkeel Requirements for Large Vessels in Shallow Waterways**. Proceedings 28th International Navigation Congress, PIANC, Paper S II-2, Sevilla, Spain, 17-25, 1994.

GIORDANO, P. **Estimaciones de las tendencias comerciales de América Latina y El Caribe**. Sistema de información sobre integración y comercio, [s.l.], no 1992, p. 34, 2017. ISBN: 9789874532152.

HARLACHER, D. **Assessment Procedure of the Trafficability of Inland Waterways**. Procedia Engineering, 154, 146–153, 2016. 2016.

HUUSKA, O. **On the Evaluation of Underkeel Clearances in Finnish waterways**. Helsinki University of Technology, Ship Hydrodynamics Laboratory, Otaniemi, Report No. 9, 1976.

IMO - INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **The Origins of IMO**. London, 2012. Disponível em: <[http://www.imo.org/blast/mainframe.asp?topic\\_id=1726](http://www.imo.org/blast/mainframe.asp?topic_id=1726)>. Acesso em: 24 de jan. 2018

JAIMURZINA, A. et al. **Joint paper on inland waterways classification for South America**. [s.l.], p. 29, 2017.

KOTLER PHILIP. **Administração de Marketing – 10ª Edição**, 7ª reimpressão – Tradução Bazán Tecnologia e Lingüística; São Paulo, 2000.

KOTSCHWAR, B. **Working Paper 12-6: Transportation and Communication Infrastructure in Latin America: Lessons from Asia**. Americas, Abril, 2012.

KUSSANO, MARILIN RIBEIRO E BATALHA, MÁRIO OTÁVIO. **Custos logísticos agroindustriais: avaliação do escoamento da soja em grão do Mato Grosso para o mercado externo**. Artigo (2012). Grupo de Estudos e Pesquisas Agroindustriais – GEPAI, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. São Carlos/SP. p. 619-632. 2012. 14 páginas. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Mario\\_Batalha/publication/262656564\\_Agribusiness\\_logistics\\_costs\\_Evaluation\\_of\\_Mato\\_Grosso\\_state's\\_soybean\\_export/links/5471c98a0cf2d67fc0345400.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mario_Batalha/publication/262656564_Agribusiness_logistics_costs_Evaluation_of_Mato_Grosso_state's_soybean_export/links/5471c98a0cf2d67fc0345400.pdf)>.

LEIJER, H. **The World Bank. Related to the Intensive Training and Exposure Program for Innovations in Inland Waterways**. Rotterdam, Dezembro 2015.

MCCREADIE KAREN. **A Arte da Guerra SUN TZU: uma interpretação em 52 ideias brilhantes**. 1. ed. São Paulo, 2008.

MOSTACEDO, S. J. **Consideraciones ambientales en las cadenas logísticas agrícolas y mineras de América Latina**. [s.l.], 2018.

Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil – MTPA. Secretaria de Portos da Presidência da República – SEP/PR. **Plano Nacional de Logística Portuária – PNLP, Relatório de Diagnostico**. Estudo (2015). 91 páginas. Disponível em: <<http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/pnpl/plano-nacional-de-logistica-portuaria>>. Acesso em: dezembro de 2019.

MUNIZ, N. **Análise comparativa entre diferentes alternativas de embarcações no transporte de carga geral**. SOBENA - 26º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore. Rio de Janeiro. 2016

NUNES, C; RAMALHO, M; MENDES, A. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**. ISSN 1414-9230 47 Março de 2018. BNDES Setorial 47, p. 45. 2018.

PADOVEZI, CARLOS DAHER. **Conceito de embarcações adaptadas à via aplicado à navegação fluvial no Brasil**. Tese de Doutorado (2003). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. Ed. Rev. São Paulo/SP-Brasil, 2003. 215 páginas. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/316087043\\_Conceito\\_de\\_embarcacoes\\_adaptadas\\_a\\_via\\_aplicado\\_a\\_navegacao\\_fluvial\\_no\\_Brasil\\_Waterway\\_adapted\\_ships\\_concept\\_applied\\_on\\_Brazilian\\_inland\\_navigation](https://www.researchgate.net/publication/316087043_Conceito_de_embarcacoes_adaptadas_a_via_aplicado_a_navegacao_fluvial_no_Brasil_Waterway_adapted_ships_concept_applied_on_Brazilian_inland_navigation)>.

PAULAUSKAS, V., PAULAUSKAS, D. **Evaluating the width of navigational channels**. **Transport**. v. 28:2, p. 166-174, 2012.

Permanent International Association of Navigation Congresses – PIANC. **Harbour Approach Channels Design Guidelines. PIANC Report n° 121 Maritime Navigation Commission**. Report (2014). PIANC Secrétariat Général Boulevard du Roi Albert II 20, B 3 B-1000 Bruxelles Belgique. 320 páginas.

Permanent International Association of Navigation Congresses - PIANC. Design Guidelines for Inland Waterway Dimensions. **PIANC Report n° 141 Maritime Navigation Commission. Report (2019)**. Secrétariat Général Boulevard du Roi Albert II 20, B 3 B-1000 Bruxelles Belgique, 305 páginas, 2019..

POMPERMAYER, F. fevereiro de 2014. **Hidroviás no Brasil**. Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada - IPEA (2014). ISSN: 1415-4765. Rio de Janeiro, 2014. 58p.

PRŠIĆ, MARKO; CAREVIĆ, DALIBOR AND BRCIĆ, DAVOR. **Determining inland waterway parameters with application to the sava river**. Artigo (2011). Traffic Infrastructure. Faculty of Transport and Traffic Sciences Vukelićeva 4, HR-10000 Zagreb, Croatia. Review, 2011. 08 páginas. Disponível em: < <http://hrcak.srce.hr/file/122041> >.

RADMILOVI, Z. **The Inland navigation in europe : basic facts , advantages and.** [s.l.], v. IV, no 1, p. 31–46, 2007.

RATTON, R. **Avaliação dos passos críticos de navegação no trecho brasileiro da Hidrovia do rio Paraguai.** SOBENA - 26º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore. Rio de Janeiro. 2016

SANTANA, WALTER ALOISIO. **Avaliação do Potencial de Transporte da Hidrovia Tietê-Paraná.** São Paulo, SP: EPUSP. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2002. 330 p.

SILVA ANTÔNIO NÉLSON RODRIGUEZ DA. **Portos e Vias navegáveis, Notas de Aula.** Universidade de São Paulo, São Paulo. Notas de Aula. 2013. Disponível em: <[http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/6045/Portos%20e%20Vias%20Naveg%C3%A1veis%20%20Notas%20de%20Aula\\_Ant%C3%B4nio%20N%C3%A9lson.pdf?sequence=1;Portos](http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/6045/Portos%20e%20Vias%20Naveg%C3%A1veis%20%20Notas%20de%20Aula_Ant%C3%B4nio%20N%C3%A9lson.pdf?sequence=1;Portos)>.

TERRAZAS, R. **Hidrovías para el desarrollo y la integración suramericana.** Corporação Andina de Fomento - CAF (2016). ISBN: 978-980-422-043-2 julio de 2016. Bogotá, 2016. 44p.

TUCK, E. O. **Shallow Water Flows Past Slender Bodies.** J. Fluid Mech., 26, 81-95, 1966.

YOSHIMURA, Y. **Mathematical Model for the Manoeuvring Ship Motion in Shallow Water.** Journal of the Kansai Society of Naval Architects, Japan, No. 200.

## ANEXO 1

REF carta náutica	RAIO DE GIRO TRECHO RETO				RAIO DE GIRO TRECHO CURVO					
	Numero	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	RX
	100,96	100,96	161,92	222,88	380,62	380,62	610,44	840,26	1299,90	
3442	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3441	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3440	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3439	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3438	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3437	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3436	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3435	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3434	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3433	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO
3432	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3431	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO
3430	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO
3429	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO
3428	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO
3427	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO
3426	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO
3425	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3424	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3423	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3422	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3421	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3420	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3419	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3418	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3417	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3416	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3415	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3414	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3413	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3412	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3411	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3410	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3409	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3408	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3407	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3406	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3405	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3404	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3403	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3402	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3401	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3400	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
3399	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO







AR4PG124	SIM								
AR530070	SIM								
AR530060	SIM								

Legenda:

Trecho 1	SIM = Passa
Trecho 2	NÃO = Não Passa
Trecho 3	

Fonte: Elaborado pelo Autor.