

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DA FORÇA LATERAL SOLICITANTE
DEVIDO À COLISÕES COM EMBARCAÇÕES NOS
PILARES DAS PONTES DA HIDROVIA PARANÁ**

FELIPE DE BRITO PETIT

ORIENTADOR: MARCOS HONORATO DE OLIVEIRA

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
CIVIL**

BRASÍLIA / DF
JUNHO / 2016

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA FORÇA LATERAL SOLICITANTE
DEVIDO À COLISÕES COM EMBARCAÇÕES NOS
PILARES DAS PONTES DA HIDROVIA PARANÁ**

FELIPE DE BRITO PETIT

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

APROVADA POR:

**Marcos Honorato de Oliveira, D.Sc (ENC/FT/UnB)
(Orientador)**

**Michelle Andrade, D.Sc (ENC/FT/UnB)
(Examinador Interno)**

**Marcus Alexandre Noronha de Brito, M.Sc (IFB)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 29 de julho 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA

PETIT, Felipe de Brito

Avaliação da força lateral solicitante devido à colisões com embarcações nos pilares das pontes da hidrovia Paraná.

[Distrito Federal] 2016.

x, 72 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2016)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Pontes navegáveis 2. Proteção de pilares

3. pilares colisão embarcação 3. Força de Impacto

I. ENC/FT/UnB

II. Bacharel em Engenharia Civil (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PETIT, FELIPE B., (2016), *Avaliação da força lateral solicitante devido à colisões com embarcações nos pilares das pontes da hidrovia Paraná*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Felipe de Brito Petit

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: *Avaliação da força lateral solicitante devido à colisões com embarcações nos pilares das pontes da hidrovia Paraná* .

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2016

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

Felipe de Brito Petit

Endereço SQN 309 bloco E apto 101

RESUMO

Com o incremento do tráfego fluvial as pontes brasileiras passaram a receber um fluxo grande de embarcações, muitas das pontes sendo antigas, uma delas datando da data de 1927. Essa mudança de tráfego fluvial pode implicar uma maior vulnerabilidade da ponte, devido ao fluxo extra de embarcações, um colisão com algum dos pilares expostos da ponte se torna mais provável. Dessa forma, esse trabalho visa analisar as pontes existentes na hidrovia do Paraná baseado na força lateral requerida no pilar da ponte para que ela se mantenha segura.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	GENERALIDADES	1
1.2	HIDROVIA PARANÁ.....	2
1.3	OBJETIVOS	5
1.4	JUSTIFICATIVA.....	5
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	6
2.	REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS	7
2.1	ESTIMATIVA DA FORÇA DE IMPACTO	7
2.2	MÉTODO I	11
2.3	MÉTODO II.....	12
2.4.	MÉTODO III.....	13
2.4.1	AVALIACAO DO RISCO ACEITÁVEL PARA O COLAPSO	13
2.4.2	CÁLCULO DE PROBABILIDADES	14
2.5	REGRAS DE NAVEGAÇÃO	21
2.6	PONTES ANALISADAS	29
2.6.1	Tramo Sul:.....	31
2.6.2	Tramo Norte	34
2.7.	ANÁLISE DA NAVEGABILIDADE DA HIDROVIA.....	37
3	METODOLOGIA.....	40
3.1	Carga total que cruza o vão da ponte	40
3.2	Tamanho das embarcações que cruzam o vão da ponte.....	41
3.3	Número das embarcações que cruzam o vão da ponte.....	41
4	RESULTADOS	44
4.1	Tramo norte.....	45
4.2	Tramo sul	46
4.3	Cálculo do número e carga das chatas que passam sob o vão das pontes.....	48
4.3.1	Cenário I.....	49
4.3.2	Cenário II.....	50
4.4	Método III	56
4.5	Cálculo da força lateral solicitante	60
4.5.1	Ponte Porto Alencastro.....	61
4.5.2	Ponte Ponte Rogério Rollenberg.....	61
4.5.3	Ponte Ayrton Senna	61
4.5.4	Ponte Francisco Sá.....	62
5	DISCUSSÕES	63
5.1	Melhoria do valor da distribuicao* normal.....	63
5.2	Acidentes com chatas vazias em pontes	63
6	CONCLUÇÕES	66
7	BIBLIOGRAFIA	69

Lista de Tabelas

Tabela 1- Caracterização gráfica do risco. Fonte: Padovezi (2003, apud UCG 2000)	14
Tabela 2 - Probabilidade que o navio perca o controle para algumas pontes. Fonte : AASHTO (1991)	16
Tabela 3 - Dimensões do comboio tipo Tiete. Fonte AHRANA (2012)	23
Tabela 4 - Dimensões do comboio tipo Tiete-Duplo Fonte AHRANA (2012)	23
Tabela 5 - Dimensões do comboio tipo Paraná Fonte AHRANA (2012)	24
Tabela 6 - Comprimento máximo dos comboios: Reservatório Barra Bonita . Fonte AHRANA (2012)	24
Tabela 7 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório Bariri Fonte AHRANA (2012)	25
Tabela 8 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório do Ibitinga Fonte AHRANA (2012).....	25
Tabela 9 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório Promissão Fonte AHRANA (2012)	26
Tabela 10 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório nova Avanhandava Fonte AHRANA (2012)	26
Tabela 11 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório Ilha Solteira Fonte AHRANA (2012)	27
Tabela 12 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório Jupia Fonte AHRANA (2012)	27
Tabela 13 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório Porto Primavera Fonte AHRANA (2012)	27
Tabela 14 - Comprimento máximo dos comboios - trecho de corrente livre Fonte AHRANA (2012)	28
Tabela 15 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório Itaipu Fonte AHRANA (2012)	28
Tabela 16 - Velocidades máximas	30
Tabela 17 - Ponte Ayrton Senna (Fonte :DNIT 2016)	33
Tabela 18 - Ponte Porto Camargo (Fonte :DNIT 2016)	33
Tabela 19 - Ponte Maurício Joppert (Fonte :DNIT 2016)	34
Tabela 20 - Ponte Paulicéia (Fonte :DNIT 2016)	34
Tabela 21 - Ponte Francisco Sá (Fonte :DNIT 2016)	35
Tabela 22 - Ponte Roberto Rollenberg (Fonte :DNIT 2016)	36
Tabela 23 - Ponte Porto Alencastro (Fonte :DNIT 2016)	36
Tabela 24 - Cargas Movimentadas na hidrovia do Paraná. Fonte AHRANA (2014)	46
Tabela 25 - Cargas sob os vãos	47
Tabela 26 - Comboios permitidos por ponte	48
Tabela 27 - Cenário I - Tramo Norte, quantidade de chatas segundo o Cenário I	49
Tabela 28 - Rotas e quantidade de chatas para o tramo norte segundo o Cenário I.....	49
Tabela 29 - Quantidade de chatas na rota 6 segundo o Cenário I	50
Tabela 30 - Quantidade de chatas e cargas na para a ponte Ayrton Sena segundo o Cenário I..	50
Tabela 31 - Quantidade de Chatas na rota 4 segundo o Cenário I	50
Tabela 32 - Quantidade de chatas para a ponte Francisco Sá segundo o Cenário I	50
Tabela 33 - Rotas e Cargas avaliadas segundo o Cenário II do Tramo Norte.....	51
Tabela 34 - Chatas e cargas por ponte avaliadas segundo o Cenário II do tramo norte.....	51
Tabela 35 - Quantidade de chatas e carga da rota 6 do tramo sul segundo o Cenário II.....	52

Tabela 36 - Quantidade de chatas trafegantes sob a ponte Ayrton Senna sul segundo o Cenário II 52

Tabela 37 - Quantidade de chatas da rota 4 do tramo sul segundo o Cenário II.....	52
Tabela 38 - Quantidade de chatas trafegantes da Ponte Francisco Sá segundo o Cenário II.....	52
Tabela 39 - Grandezas de dimensionamento para a ponte Porto Alencastro	53
Tabela 40 - Grandezas para dimensionamento para a ponte Roberto Rollenberg	53
Tabela 41 - Grandezas para dimensionamento para a ponte Francisco Sá	54
Tabela 42 - Grandezas para dimensionamento da ponte Ayrton Senna.....	55
Tabela 43 -Aplicação dos métodos I e II valendo-se do Cenário I (chatas á carga de 1500t, recomendado)	55
Tabela 44 - Aplicação dos métodos I e II para o Cenário II-a	56
Tabela 45 - Aplicação dos métodos I e II valendo-se do Cenário II-b.....	56
Tabela 46 - Valores de corrente fluvial. Fonte; Marinha do Brasil (2016)	56
Tabela 47 - Larguras dos pilares/bloco.	56
Tabela 48 - Valor de Probabilidade de que a embarcação perca o controle.....	57
Tabela 49 - Valor da probabilidade geométrica	58
Tabela 50 - Valor da Probabilidade que o Navio perca o controle de Navegação.....	58
Tabela 51 - Valor da Probabilidade geométrica.....	58
Tabela 52 -Probabilidade de perda do controle de navegação	59
Tabela 53 - Probabilidade Geométrica	59
Tabela 54 - Probabilidade que o navio perca o controle	59
Tabela 55 - Probabilidade geométrica.....	59
Tabela 56 - Valor da força lateral solicitante para o cenário Crítico e para a ponte Porto Alencastro	60
Tabela 57 - Valor da força lateral solicitante para cenário não Crítico e para a ponte Porto Alencastro	60
Tabela 58 - Valor da força lateral solicitante para cenário Crítico e para a ponte RR.....	60
Tabela 59 - Valor da força lateral solicitante para cenário não Crítico e para a ponte Roberto Rollenberg.....	60
Tabela 60 - Valor da força lateral solicitante para cenário não Crítico e para a ponte Ayrton Senna.....	60
Tabela 61 - Valor da força lateral solicitante para cenário não Crítico e para a ponte Ayrton Senna	61
Tabela 62 - Valor da força lateral solicitante para cenário Crítico e para a ponte ferroviária Francisco Sá.....	61
Tabela 63 - Valor da força lateral solicitante para cenário não Crítico e para a ponte Francisco Sá	61
Tabela 64 - Acidentes nas pontes da hidrovia Tietê-Paraná 1994-1998. Fonte Padovezi (2003). 64	

Lista de figuras

Figura 1 – Acidente no Rio Mojú. Fonte: www.diarionline.com	1
Figura 2 – Mapa da hidrovia Tietê-Paraná. Fonte: AHRANA (2012)	3
Figura 3 – Acidente no pilar da ponte da SP-225. Fonte: Departamento Hidroviário de SP 2003.....	4
Figura 4 - Acidente no pilar da ponte da BR-153. Fonte: Departamento Hidroviário de SP (2013)	4
Figura 5 - Colisão da ponte New Port. Fonte : Svenssoon (2003)	8
Figura 6 - Experiência de Woissin. Fonte: Svensson, 2003	9
Figura 7 - Distribuição normal do cálculo da probabilidade geométrica. Fonte AASHTO (1991)	18
Figura 8 - Empurrador. Fonte: ANTAQ (2010)	22
Figura 9 - Chata. Fonte: ANTAQ (2010)	22
Figura 10 - Esquema da Hidrovia contendo as restrições de comboio. (Fonte: AHRANA 2014)	29
Figura 11 - Localização das pontes	31
Figura 13 - Ponte Ayrton Senna. Fonte www.wikipédia.com	32
Figura 14 - Ponte Porto Camargo. Fonte www.panoramio.com	32
Figura 15 - Ponte Porto Camargo colapsada. (Fonte : www.g1.com)	33
Figura 16 - Ponte Professor Maurício Joppert. (Fonte: http://www.dnit.gov.br)	33
Figura 17 - Ponte Paulicéia. (Fonte: http://bastidoresdanoticiadracena.blogspot.com.br)	34
Figura 18 - Ponte Francisco Sá. (Fonte: http://maestro.xp3.biz)	35
Figura 19 - Ponte Roberto Rollenberg. (Fonte: www.panoramio.com)	35
Figura 20 - Ponte Porto Alencastro. Fonte: www.wikimapia.org	36
Figura 21 - Obstáculos para navegação. Fonte: AHRANA (2012)	37
Figura 22 - Percepção dos condutores sobre a hidrovia .Fonte: Ferreira (2009)	38
Figura 23 - Percepção dos condutores quanto a sinalização .Fonte: Ferreira (2009)	39
Figura 24 - Avaliação da governabilidade.(Fonte: Ferreira (2009)	39
Figura 25 - Acidentes e condições climáticas. (Fonte: Ferreira (2009))	40
Figura 26 - Rota 1.....	47
Figura 27 - Rota 2.....	47
Figura 28 - Rota 3.....	47
Figura 29 - Rota 4.....	47
Figura 30 - Rota 5.....	47
Figura 31 - Rota 6.....	48
Figura 32 - Rota 7.....	48
Figura 33 - Rota 8.....	48
Figura 34 - Rota 9.....	48
Figura 35 - Rota 10.....	48
Figura 36 - Rota 11.....	48
Figura 37 -Rota 12.....	48
Figura 38- Blocos da ponte Porto Alencastro. Fonte www.paranapio.com	58
Figura 39- Ábaco da hidrovia Paraná cenário Não Crítico.....	66
Figura 40- Ábaco da hidrovia Paraná cenário Crítico	67

Lista de Siglas

AASHTO: American Association of state Highway and Transportation Officials

AHRANA: Administração da Hidrovia Tietê-Paraná

ANTAQ: Agência Nacional de Transportes aquaviários

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura em transportes

DWT: Deadweight Tonnage

UHE: Usina Hidroelétrica

1 INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

O Brasil apresenta um grande potencial para utilização da modalidade de transporte hidroviário, rios navegáveis de grande extensão aliados a uma localização geográfica favorável propiciam o uso desta modalidade. Além disso, o país possui uma grande participação de produtos agrícolas, de extrativismo mineral e vegetal em suas exportações, e o transporte hidroviário pode representar, em alguns casos a melhor forma de movimentar essa produção.

Essa grande relevância do transporte hidroviário faz com que esse setor necessite de obras, investimentos e estudo, de modo a ampliar a capacidade das hidrovias brasileiras e aumentar a segurança das mesmas, a segurança nas hidrovias é um fator determinante para que a hidrovia ganhe eficiência e reduza alguns de seus custos operacionais. Segundo Ferreira (2000) os acidentes nas hidrovias brasileiras são bastante comuns, ocorrem acidentes tanto em áreas onde não ocorre tráfego; como colisões de embarcações entre si em áreas portuárias e a avaria de cascos de embarcações por material indesejável flutuando; quanto ocorre acidentes em áreas onde ocorre o trânsito de embarcações, como a embarcação colidindo com pilares de pontes.

As colisões com pilares de pontes podem ser altamente danosas como o exemplo da ponte do Rio Mojú, no estado do Pará, localizada a 120 km de Belém (PA). No dia 23 de março de 2014, uma balsa que transportava óleo colidiu com a estrutura da ponte e destruiu um dos pilares da ponte ocasionando uma falha do pilar, e um trecho de 60 metros da ponte veio a baixo, ficando pendurada parte do tabuleiro da ponte, a Figura 1 mostra uma imagem desta ponte após o acidente.



Figura 1 - Acidente no Rio Mojú. Fonte: www.diarionline.com

De acordo com o jornal Diário Online, a cada final de semana 1.480 veículos e 1.720

pedestres estão tendo que fazer a travessia do rio por meio de balsas, tendo em vista que a Restauração da ponte, até a presente data, ainda não foi concluída.

Esse tipo de acidente pode causar prejuízos incalculáveis do ponto de vista ambiental e, segundo Ferreira (2000), podem vir a prejudicar diretamente a população de cidades ribeirinhas, em caso, por exemplo, do acidente ter sido próximo ao local de captação de água para abastecimento, ou mesmo vir a prejudicar famílias de pescadores que sobrevivam da pesca no local.

Devido á esses fatores deve-se evitar ao máximo a possibilidade de ocorrência desses acidentes, estudos quantitativos sobre os esforços que levam a uma ponte colapsar devido a colisão com embarcações devem ser realizados tendo em vista que os esforços que solicitam a estrutura em uma colisão são essenciais para o dimensionamento de uma estrutura segura. Após a determinação dos esforços solicitantes o projetista da ponte deverá analisar uma forma de combatê-los utilizando um sistema de proteção de pilares, um acréscimo na força resistente lateral dos pilares ou mesmo uma combinação desses dois fatores.

E é nesse sentido que este trabalho se insere, esse trabalho se presta á estimar e calcular a força lateral solicitante devido á colisões nas pontes da hidrovia Paraná

1.2 HIDROVIA PARANÁ

A Hidrovia Paraná é uma via de navegação situada entre as regiões sul, sudeste e centro-oeste, que, em 2013, foi trajeto da movimentação de quase 5 milhões de toneladas de carga ANTAQ (2014). A maior parte dessa carga é relativa á produção agrícola dos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais.

A implantação e a manutenção da hidrovia são administradas pela Administração das Hidrovias do Paraná AHRANA (órgão da sociedade de economia mista federal vinculada ao Ministério dos Transportes, Companhia Docas do Estado de São Paulo - CODESP.)

A hidrovia possui 1020km de extensão navegável, sendo o segundo maior rio das américas, tendo subdivisões em 4 trechos, também sendo subdividida em relação ao sistema pertencente da hidrovia Tietê-Paraná tendo 3 tramos distintos, interligados entre si, Segundo a AHRANA são eles:

- Tramo Tietê, que se inicia no município de Santa Maria da Serra - SP, no rio

Piracicaba, e o município de Conchas – SP, no Tietê, até o canal de Pereira Barreto.

- Tramo Sul do rio Paraná, estendendo-se desde o município de Foz de Iguaçu – PR – Brasil e Ciudad del Leste – Paraguai no rio Paraná, até o canal de Pereira Barreto.
- Tramo Norte do rio Paraná, que vai do município de São Simão - GO, no rio Paranaíba e Iturama – MG, no rio Grande, até a entrada do canal de Pereira Barreto, no reservatório de Três Irmãos.

A hidrovia Paraná cobre uma macrorregião de aproximadamente 76 milhões de hectares, onde vivem 50 milhões de pessoas, responsáveis por cerca de 50% do produto interno bruto (PIB) do país, segundo (ANTAQ, 2014). Na Figura 2 abaixo é apresentado um mapa onde são indicados a localização do rio Paraná, suas subdivisões em trechos e os rios adjacentes que também fazem parte do sistema. Como o rio Tietê e o Rio Paranapanema.

A principal movimentação de cargas vem da movimentação de soja e milho advinda dos estados de Mato Grosso e Goiás, essas cargas (saídas do estado de Goiás) percorrem a hidrovia até São Paulo, onde ora são transferidas para o modal ferroviário ora são transferidas para o modal rodoviário.



Figura 2 - Mapa da hidrovia Tietê-Paraná. Fonte: AHRANA (2012)

Algumas pontes da hidrovia estão sujeitas a um intenso tráfego fluvial em seus vãos, essa manobra requer cuidados especiais, sejam por características naturais, como ventos, ondas, pouca visibilidade, seja pela baixa qualidade de manobra das embarcações e até pelo mal

dimensionamento da hidrovia. Dessa forma, colisões de embarcações com os pilares das pontes não são muito raros; como mostram a Figura 3 e Figura 4 que são exemplos de acidentes devidos á colisões, o primeiro na ponte da rodovia SP-225 e o segundo na ponte da rodovia BR-153.



Figura 3 - Acidente no pilar da ponte da SP-225. Fonte: DH-SP (2013)



Figura 4 - Acidente no pilar da ponte da BR-153. Fonte: DH-SP (2013)

Dessa forma, dada a importância econômica dessa hidrovia, o trabalho visa analisar as forças envolvidas nessas colisões. Essa análise será útil para o projeto tanto de um sistema de proteção de pilares quanto pra o projeto de reforço nos pilares das pontes.

1.3 OBJETIVOS

O Objetivo desse trabalho é calcular o valor da força horizontal solicitante necessária para que a ponte tenha baixo risco ao colapso devido á uma colisão dos pilares com embarcações.

As pontes analisadas são pertencentes á hidrovia do Paraná, a saber:

- Ponte Rodoviária Ayrton Senna
- Ponte Rodoviária Porto Camargo
- Ponte Rodoviária Professor Maurício Joppert
- Ponte Rodoviária Paulicéia
- Ponte Ferroviária Francisco de Sá
- Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg
- Ponte Rodoviária Porto Alencastro

Para se calcular a força lateral solicitante foram utilizados três metodologias: a metodologia do código de regulações nórdicas, a metodologia do método de regulações nórdicas modificada pela AASHTO (2012) e a metodologia probabilística apresentada pela AASHTO (2012).

Ao se propor um sistema de proteção de pilares para uma determinada ponte, deve-se considerar também cenários futuros de tráfego sob essa estrutura, deve ser feito o projeto considerando um horizonte de tempo em que os sistemas protetivos ainda estejam operacionais. Esse trabalho não fará análise de tráfego futuro mas ressalta ela é muito importante para o dimensionamento do sistema de proteção.

1.4 JUSTIFICATIVA

Pontes são estruturas que requerem uma grande quantidade de investimento inicial e esse investimento pode ser inutilizado para o caso de um colapso, além disso um colapso de uma ponte não apenas é uma questão financeira, pode resultar em perda de vidas, nos Estados Unidos , entre os anos de 1970 e 1990, 64 pessoas perderam a vida nesse tipo de acidente.

A análise proposta nesse trabalho se torna relevante pois fornece valores finais dos esforços solicitantes nas pontes, que podem ser comparados com os já existentes para concluir sobre a segurança ao colapso dessas pontes e, por consequência, propor melhorias que mitiguem esse tipo de problema. Além disso esse trabalho ilustra a aplicação de metodologias ainda pouco conhecidas no Brasil, que servirão de base para análises de outros cenários.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por 7 capítulos, em que o primeiro se trata da introdução. E os próximos serão detalhados a seguir:

No segundo capítulo são apresentadas revisões bibliográficas úteis para o estudo que são, regulações de navegação elaboradas pela Marinha do Brasil e pela AHRANA, são apresentadas essas regulações no que tange a navegação sobre pontes na hidrovia do Paraná. Além disso são apresentadas as bibliografias relativas aos métodos de cálculo da força lateral solicitante, bem como formas de se calcular uma força pontual equivalente ao conjunto de forças que estão envolvidas na colisão; e, por fim, as pontes que serão analisadas, bem como características físicas relevantes para a aplicação da metodologia.

O Capítulo 3 traz a metodologia. Primeiro é apresentado o cálculo do tráfego fluvial sob cada uma das pontes serão apresentados as formas de aplicação da metodologia de cálculo da força solicitante .

No Capítulo 4 são apresentados os resultados de dados, serão aplicadas as considerações da metodologia para concluir o tráfego fluvial presente e futuro, e força solicitante de cálculo para cada ponte nos anos citados.

No Capítulo 5 são apresentadas discursões sobre temas pertinentes, e no capítulo 6 apresentam-se as conclusões do estudo, e no sétimo capítulo são apresentadas as bibliografias do estudo.

2. REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS

Na fase de projeto de uma ponte o projetista tem o controle sobre determinadas variáveis que são relevantes no âmbito de proteger uma ponte ao colapso ocasionado por colisões fluviais, como exemplo, o projetista pode dimensionar o vão entre os pilares de modo a tornar a ponte mais segura, pode criar pontes com redundância em pilares e pilares mais fortes.

Existem situações de pontes já construídas em que alterar o vão da ponte é uma solução muito custosa, e, por tanto, o projetista deverá alterar outras grandezas, como a força horizontal resistente causada por colisões fluviais por meio da adoção de um sistema de proteção de pilares, a fim de tornar a ponte mais segura. Para essa avaliação o projetista deverá contabilizar qual será o esforço a ser vencido. Nesta seção serão apresentadas metodologias de se estimar esse esforço.

Dessa forma, as metodologias apresentadas serão:

- Método I: É um método determinístico, elaborado pelo Comitê de Regulações Nórdicas
- Método II: É um método determinístico e consiste no método I após sofrer uma modificação feita pela AASHTO.
- Método III: Foi apresentado pela AASHTO pela primeira vez no ano de 1991 esse método difere dos demais tanto pela base de dados requerida quanto pela forma de aplicação, sendo este um método probabilístico.

Essas diferenças entre os métodos levam à necessidade do projetista de avaliar a situação da hidrovia e a confiabilidade e qualidade dos dados que dispõe para decidir qual método aplicar.

Além das metodologias de avaliação serão apresentadas também considerações sobre os dados que serão utilizados ao longo do trabalho. Para a execução desse trabalho, foram feitas estimativas tendo em vista a pouca disponibilidade de dados, por isso, em alguns casos, serão elaboradas hipóteses que gerarão cenários de análises.

Em primeira instância, todos os três métodos precisam quantificar os esforços envolvidos em uma colisão, tema que será exposto a seguir.

2.1 ESTIMATIVA DA FORÇA DE IMPACTO

O objetivo desta seção é definir uma força pontual que seja equivalente às complexas forças envolvidas quando uma embarcação colide com um pilar ou com um sistema de

proteção. Para essa determinação muitas variáveis e hipóteses devem ser levadas em consideração, como por exemplo, se as partes colidentes são deformáveis, a geometria da colisão e a forma do casco da embarcação.

Abaixo serão apresentadas algumas formulações todas empíricas que foram originadas de estudos de cientistas europeus, americanos e japoneses. Segundo Svensson (2009) esta ainda é uma questão que está sendo melhor estudada e apresenta modificações constantes. Uma outra forma de se estimar as forças envolvidas na colisão de forma mais precisa do que as apresentadas aqui seria através da modelagem da colisão em algum software de análise de elementos finitos. Nesse trabalho serão apresentadas algumas das maneiras de uso dos ferramentais empíricos de estimação bem como um breve histórico dessas teorias.

A primeira fonte de estudos foi Minorsky (1976) que estudava colisões de submarinos nucleares e concluiu que existe uma relação linear entre o volume de aço deformado nas embarcações que colidiram e a energia absorvida.

Contudo, esse modelo descreve colisões de embarcações entre si e não parecia muito coerente para a aplicação entre as colisões entre uma embarcação e um pilar, tendo em vista que o pilar se assemelha mais a um corpo rígido do que um corpo deformável, conforme mostra a Figura 5, que ilustra uma colisão ocorrida na ponte *New Port* nos Estados Unidos, em que o dano ao pilar ilustra um comportamento de corpo rígido em que houve uma avaria na estrutura sem grandes deformações, enquanto o casco do navio ficou arruinado.

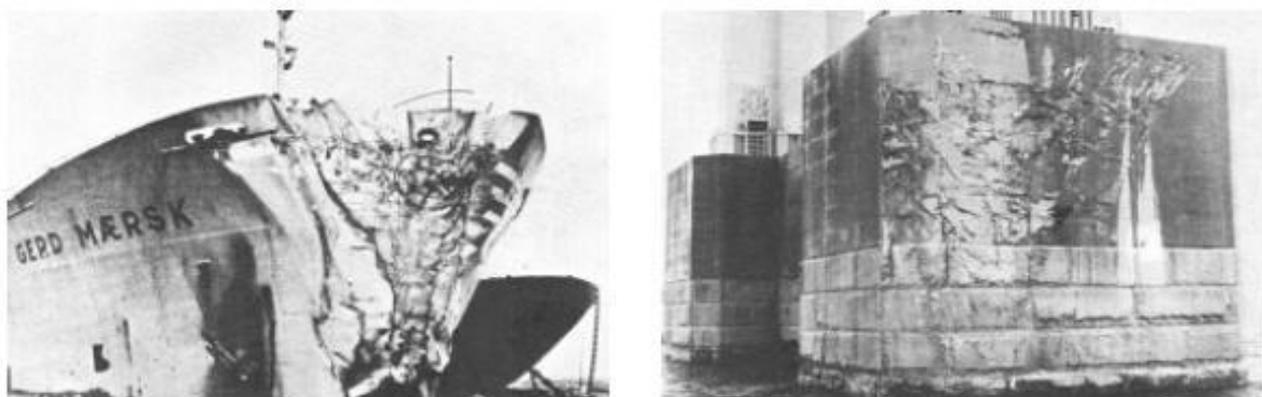


Figura 5 - Colisão da ponte *New Port*. Fonte : Svensson (2009)

Dessa forma, esse modelo foi aperfeiçoado por Woissin (1974), que construiu um modelo de casco de navio em laboratório. Esse modelo tentava simular condições reais de navegação, sendo acelerado por um sistema de trilhos, na tentativa de simular os efeitos de propulsão do navio essa experiência é ilustrada na Figura 6 onde é apresentada uma foto de Woissin (1976) e o modelo construído.

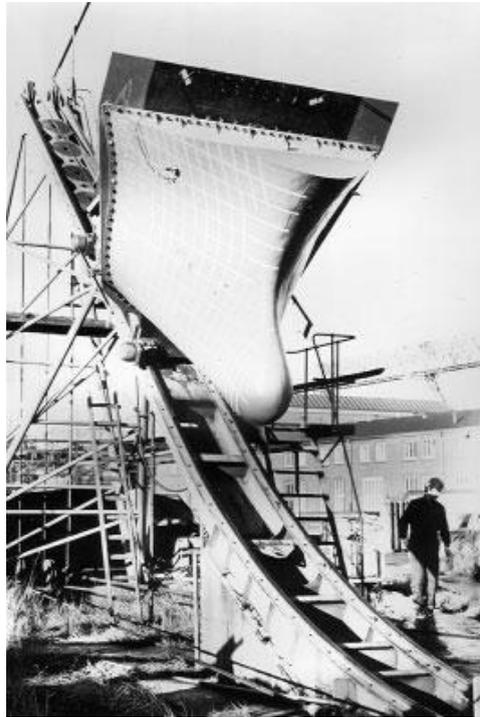


Figura 6 - Experiência de Woissin. Fonte: Svensson (2009)

Suas conclusões foram que a força de impacto, atinge um valor máximo de valor igual ao dobro da força de impacto média no tempo entre 0,1 a 0,2 segundos de início da colisão, conforme ilustra o Gráfico 1.

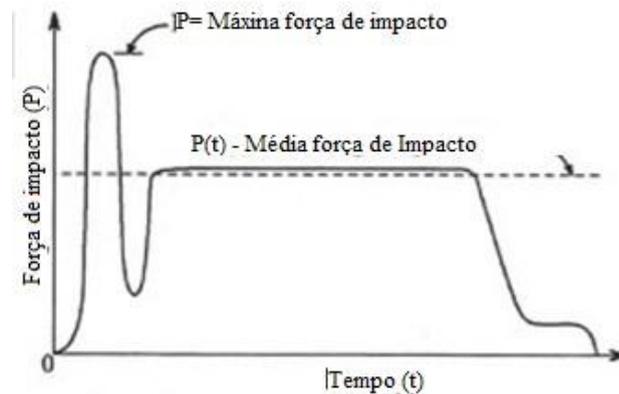


Gráfico 1- Tempo da força de impacto máxima. Fonte: Svensson (2009)

A evolução dessa formulação foi continuada por Svensson (1981), ele concluiu que a colisão de uma embarcação com uma parede rígida era proporcional à raiz quadrada do *Dead Weight Tonnage* (DWT), que é a soma de todos os pesos variáveis que um navio é capaz de embarcar em segurança. É constituído pelo somatório dos pesos do combustível, água, mantimentos, consumíveis, tripulantes, passageiros, bagagens e carga embarcados. A formulação proposta de forças equivalentes é:

$$P = 0,88 \times (DWT)^{0,5} \pm 50\% \quad (2.1)$$

Onde:

P é a força pontual e horizontal equivalente,

DWT é a soma de pesos embarcados no navio em toneladas.

Essa margem de 50% provém do efeito que as diferentes formas de casco e as diferentes velocidades assumidas pelos navios interferem na força da colisão conforme ilustra o Gráfico 2 que representa um gráfico dos valores de força aplicada ao pilar e a grandeza de tamanho da embarcação, DWT.

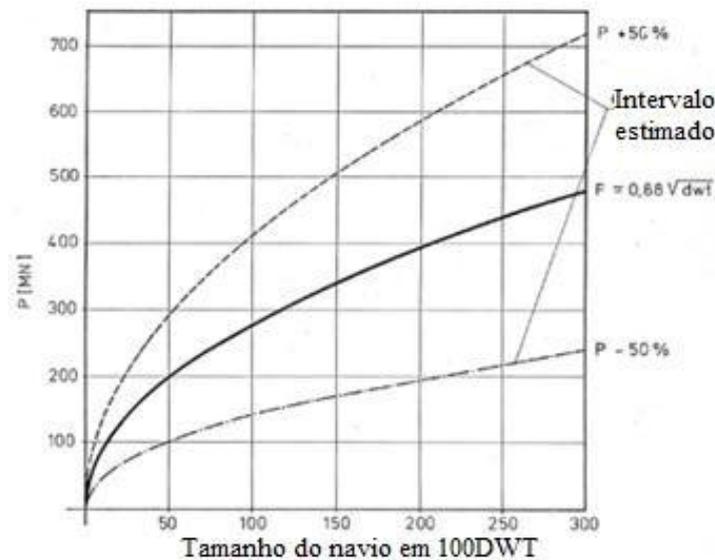


Gráfico 2 - Relação do DWT com a força P. Fonte: Svensson (2009)

Assim, um dos grandes problemas dessa formulação era a elevada margem de erro necessária para ponderar os valores de velocidades. Esse cenário foi mais bem estudado na ocasião do ano de 1980, em que uma embarcação colidiu com um dos pilares da ponte Sunshine Skyway no estado Americano da Florida, onde, devido á colisão de uma embarcação com um pilar, uma viga de 400 metros desabou matando 38 pessoas . Como resultado desse acidente o órgão federal chamado *American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO* compôs uma equipe de engenheiros chefiados por Michael Knott que elaboraram o *Guide Specification And Comentary For Vessel Colision Design Of Hightway Bridges* (1991) que será bastante utilizado nesse trabalho. Esse guia realizou estudos estatísticos que tornaram possível a simplificação da fórmula de Svensson (1983) através da inclusão de um termo de velocidades, de acordo com a formula:

$$P = 0,122 \times v \times (DWT)^{0,5} \quad (2.2)$$

Onde:

P é a força pontual equivalente em mega newtons,

DWT é a soma de todos os pesos embarcados em toneladas,

v é a velocidade da embarcação em metros por segundo.

Essa equação será utilizada neste estudo, ela é considerada por muitos como sendo uma boa aproximação dos esforços reais se for aplicada para embarcações de transporte de carga, sendo inclusive utilizada pela AASHTO (1991) na aplicação dos métodos de avaliação da força lateral no pilar.

É válido ressaltar que essa equação não leva em conta os efeitos da massa da embarcação no cálculo dos esforços, mesmo assim, de acordo com a AASHO (1991), ela ainda representa uma boa estimativa tendo em vista a justificativa publicada por esse órgão, que versa que um aumento na massa da embarcação tende, na prática, a representar embarcações que operam com um calado (profundidade da embarcação a contar da linha d'água) maior, o que aumentaria o efeito de amortecimento da água ao redor do navio, de forma que esses efeitos de massa e amortecimento de água sejam compensatórios.

2.2 MÉTODO I

O método em questão consiste em um método semi determinístico, portanto possui a vantagem de não necessitar a grande quantidade de dados que os outros normalmente métodos requerem, a aplicação desse método fornece uma estimativa conservadora e simplificada de estimar as forças de impacto no pilar.

Foi proposto pela comissão nórdica de regulações em 1980 e continua em vigor até hoje em países escandinavos. Esse método fornece para determinadas características das embarcações um valor de resistência lateral que o pilar deverá resistir com a finalidade de tornar a ponte segura com relação aos colapsos, como ele não leva em consideração características do tráfego, apenas de uma embarcação de projeto, esse método é considerado por muitos um método mais conservador, pois ele resulta em maiores dimensionamentos.

Para a aplicação dessa metodologia, o projetista deve ponderar sobre as condições de navegabilidade daquela hidrovia, classificando-a como de difícil navegação ou em de fácil navegação, esse critério é um critério empírico, deverão ser entrevistados comandantes de embarcações que navegam pelo trecho em questão com frequência. Também devem ser

levados em consideração critérios como correnteza, obstáculos à navegação, situação climática da hidrovia bem como em critérios subjetivos, como entrevista aos locais, histórico de acidentes ,etc.

Essa classificação das condições da hidrovia servirá como critério para a definição de uma embarcação de projeto, e é baseado nessa embarcação que a avaliação da vulnerabilidade da ponte será elaborada. Dessa forma se estabelecem os critérios para definição do navio de projeto, a saber:

- Situações críticas: Para situações de navegação consideradas difíceis, o navio de projeto deve ter um tamanho em DWT tal que apenas 10% dos outros navios daquela hidrovia o superem em tamanho
- Situações não críticas- O navio de projeto deve ter um tamanho tal que apenas 20% dos navios trafegastes daquela hidrovia ultrapassem o seu tamanho

Além desse critério o navio de projeto não tem que atender a seguinte condição:

$$DWT_{\text{PROJETO}} = 0,05 \times DWT_{\text{VIA}} \quad (2.3)$$

Onde:

DWT_{PROJETO} é o valor de DWT selecionado do navio de projeto em toneladas,

DWT_{VIA} é o valor de DWT do maior navio trafegaste na hidrovia em toneladas.

Dessa forma, é possível determinar uma embarcação de projeto, e essa embarcação será suposta colidindo com um dos pilares da ponte em uma determinada velocidade. Através do DWT da embarcação e da velocidade de colisão pode-se determinar a força lateral solicitante no pilar, através da equação 2.2 apresentada anteriormente.

Dessa forma, de acordo com esse método, espera-se que os pilares ou o pilar e o sistema de proteção de pilares da ponte em questão, tenham uma força lateral resistente superior á aquela calculada.

2.3 MÉTODO II

O método II consiste em uma modificação do método I, foi proposto pela AASHTO e altera apenas os critérios de seleção de um navio de projeto, a saber:

- Situações críticas: Para situações de navegação consideradas difíceis, o navio de projeto

deve ter um tamanho em DWT tal que apenas 5% dos outros navios daquela hidrovia o superem em tamanho.

- Situações não críticas- O navio de projeto deve ter um tamanho tal que apenas 10% dos navios trafegantes daquela hidrovia ultrapassem o seu tamanho.

Ademais, as outras considerações permanecem iguais ao Método I.

2.4. MÉTODO III

O método três é um método probabilístico de análise de riscos elaborados pela AASHTO em 1991, esse método é um dos mais utilizados por representar de maneira mais fiel a situação de tráfego fluvial, ele consiste em comparar um nível de risco aceitável para o colapso da ponte com a probabilidade de ocorrência do evento indesejado: o colapso da ponte ocasionado por uma colisão com uma embarcação.

2.4.1 AVALIAÇÃO DO RISCO ACEITÁVEL PARA O COLAPSO

O risco pode ser definido como a realização de uma consequência indesejada relativa a ocorrência de um evento, isso implica que a probabilidade de ocorrência do evento magnitude da consequência desse evento deverão ser controlados de modo que se chegue a um valor aceitável para o risco. Assim, determinar um valor aceitável para o risco é um critério bastante subjetivo.

A Tabela 1 abaixo foi retirada de Padovezi (2003) e ilustra essa questão, o risco é uma combinação de critérios de gravidade e frequência de acidentes, o colapso de uma ponte é considerado como sendo um evento de alta gravidade, pois até vidas humanas podem ser perdidas, assim, a frequência deverá ser dimensionada para que seja um evento pouco frequente.

Dessa forma, nesse método, é importante a especificação de um valor de risco que possa ser considerado aceitável, várias formas podem ser utilizadas para essa determinação, sendo que não existe uma metodologia que seja absoluta em fornecer um parâmetro, assim a metodologia escolhida para a escolha do risco considerado aceitável foi um valor obtido por comparação relativa a outras situações que envolvam consequências semelhantes (como por exemplo, perdas de vida e vultosas perdas financeiras)

Tabela 1- Caracterização gráfica do risco. Fonte: Padovezi (2003, apud UCG 2000)

Gravidade Frequência	Baixa	Média gravidade	Alta gravidade
Muito raro	Baixo risco	Médio	Médio risco
Raro	Baixo risco	Médio	Alto risco
Ocasional	Baixo risco	Médio	Alto risco
Frequente	Médio risco	Alto risco	Alto risco
Muito frequente	Médio risco	Alto risco	Alto risco

Por isso, baseados nesses critérios de comparação, a AASHTO concluiu que uma ponte em uma situação de hidrovía crítica deverá ser dimensionada para ter uma frequência anual esperada de colapso de 0,0001 e, para situações não críticas esse valor da frequência anual de colapso deverá ser de 0,001.

A título de comparação, esse critério de aceitação para pontes críticas de valor 0,0001 é equivalente ao risco aceitável nos Estados Unidos para de falha de barragens. E o valor do critério para regiões não críticas é semelhante ao valor aceito na América do norte para falha de fundações.

A definição do valor esperado de colapsos esperados de acordo com a característica do trecho de ponte (crítico ou não crítico) é tido como resultado para a multiplicação das probabilidades condicionais por um valor determinado de frequência de embarcações.

2.4.2 CÁLCULO DE PROBABILIDADES

O cálculo de probabilidade do colapso consiste na avaliação de uma cadeia de eventos indesejados que, quando ocorrem sequencialmente, podem culminar no colapso da ponte. De acordo com a AASHTO o colapso ocorre quando os seguintes eventos ocorrem: perda do controle de navegação da embarcação, colisão com o pilar e o colapso da ponte devido á essa colisão. Dessa forma, a avaliação das probabilidades condicionais de ocorrência desses três eventos, leva á conclusão de quão vulnerável uma ponte é ao colapso.

Portanto, avaliar quão segura ao colapso uma ponte é em relação ao tráfego de

embarcações implica em calcular os valores de cada uma das três probabilidades e, multiplicando-as, obter uma frequência esperada de colapso anual que deve ser menor que os valores computados como frequência esperada de colapso.

Dessa forma, os valores de frequência anual esperada de colapsos deverá ser comparada com a multiplicação de cada uma das probabilidades condicionais, que serão ilustradas abaixo:

2.4.2.1 Probabilidade de que o navio perca o controle de navegação (P.A.)

A primeira etapa dos eventos que levam ao colapso da ponte é que o navio perca controle de navegação, fator esse que leva o navio a se desviar da trajetória inicial de forma significativa.

Essa probabilidade é computada como sendo um risco, risco que a embarcação se desvie acidentalmente do seu curso. Inúmeros fatores podem contribuir para a ocorrência desse cenário, dentre os quais:

- Falhas humanas: Falta de atenção na condução da embarcação, falta de resposta a uma condição em tempo apropriado, erros de comunicação entre a tripulação, falta de conhecimento das condições da via, interpretação errada das condições.
- Falhas mecânicas: Falhas de equipamentos de navegação, comunicação, integridade estrutural do casco.
- Condições ambientais adversas: Baixa visibilidade, alta densidade de navios, mudanças no fundo do rio.

Um estudo das estatísticas de acidentes conduzida pela AASHTO (1991) nos Estados Unidos implicou que os erros humanos são maioria nas causas de acidentes nas hidrovias americanas.

Dessa forma, a maneira mais precisa de determinar a P.A. é através de um estudo histórico das vezes em que foi verificada a perda do controle da embarcação na ponte da hidrovia em questão, um exemplo desse estudo é a Tabela 2 abaixo produzida pela AASHTO (1991).

Tabela 2 -Probabilidade que o navio perca o controle para algumas pontes. Fonte : AASHTO

(1991)

Localidade	Tipo de Dado	Probabilidade de Ocorrência (x 10 ⁻⁴)
Estreito de Dover - Colisões	Estatístico	5 a 7
Estreito de Dover – Encalhamentos	Estatístico	1,4 a 1,6
Estreitos Japoneses - Encalhamentos	Estatístico	0,7 a 6,7
Estreitos Japoneses - Colisões	Estatístico	1,3
Todo o mundo	Estatístico	0,5
Ponte Tasmânia - Austrália	Estimativa	0,6 a 1,0
Ponte Great Belt – Dinamarca	Estimativa	0,4
Ponte Sunshine Skyway - Flórida	Estatístico (ambos)	Navios 1,3
		Balsas 2,0
Ponte Ilha Annacis - Canadá	Estimativa	3,6
Ponte Ilha Francis Scott e Ponte Preston Lanes - Maryland	Estatística (ambos)	Navios 1,0
		Balsas 2,0
Ponte Dames Point - Flórida	Estatística (ambos)	Navios 1,3
		Bargaças 4,1
Ponte Laviolette - Canadá	Estatística	0,5
Ponte Centenial - Canadá	Estatística	5,0
Vias navegáveis da Lousiania	Estatística (ambos)	Navios 0,8 a 1,9
		Balsas 1,5 a 3,0
Estreito de Gilbratar Encalhagens - Marrocos	Estatística	2,2
Estreito de Gilbratar Colisão - Marrocos	Estatística	1,2

Como na maioria dos casos essa probabilidade não pode ser computada, por não haverem estudos ou mesmo por que a hidrovia ser recente em anos de operação, a AASHTO (1991) recomenda uma forma de se calcular a probabilidade de que o navio perca o controle de navegação, essa probabilidade pode ser estimada de acordo com a forma:

$$P.A. = BR \times R_B \times R_C \times R_{XC} \times R_D \quad (2.4)$$

Onde:

$P.A.$ é a probabilidade de que o navio perca o controle,

BR é a taxa base de navios que perdem o controle,

R_b é o fator de correção de acordo com a localização da ponte,

R_c é o fator de correção devido á corrente aquática que é paralela á trajetória da embarcação,

R_{xc} é o fator de correção para correntes aquáticas agindo perpendicularmente á trajetória da embarcação,

R_d é o fator de correção para a densidade de tráfego de embarcações.

O valor de BR é estimado baseado em estudos estatísticos feitos pela AASHTO (1991), sob a forma:

- Para navios: $BR = 0,6 \times 10^{-4}$
- Para balsas: $BR = 1,2 \times 10^{-4}$

R_b tem valor de modo a corrigir a sinuosidade do curso d'água, para situações em que o curso é uma reta, $R_b = 1$. Se a ponte está situada em uma região de curvas, notadamente no início ou no final da curva:

$$R_b = [1 + \theta / 90^\circ] \quad (2.5)$$

Onde:

θ é o ângulo da curva e graus.

Para pontes localizadas em pontos intermediários da região de curva:

$$R_b = [1 + \theta / 45^\circ] \quad (2.6)$$

Onde:

θ é o ângulo da curva e graus.

R_C é o fator de correção relativo à ação de correntes paralelas ao eixo da embarcação, tendo como valor de:

$$R_C = [1 + V_c/5,144] \quad (2.7)$$

Onde :

V_c é a velocidade de corrente em m/s;

R_{XC} é a correção para velocidades de correntes perpendiculares ao eixo da embarcação e tem valor:

$$R_{XC} = (1 + V_{XC} / 0,5144) \quad (2.8)$$

Onde:

V_{XC} é a velocidade de corrente perpendicular ao eixo da embarcação, em m/s;

R_D é a correção em função da densidade do tráfego sendo que, $R_D = 1$ para tráfego pouco intenso, $R_D = 1,3$ para tráfego de média intensidade e $R_D = 1,6$ para tráfego intenso.

2.4.2.2 PROBABILIDADE GEOMÉTRICA (P.G.)

Dando continuidade a sequencia de eventos que devem acontecer para que a colisão

ocorra, deve-se estipular a probabilidade geométrica, que consiste na probabilidade condicional de que a embarcação colida com a estrutura da ponte dado que perdeu o controle de navegação.

Vários fatores estão envolvidos nessa questão, entre eles:

- geometria da via
- profundidades da hidrovia;
- localização do pilar da ponte
- características e tamanho da embarcação

Para se chegar a um valor de probabilidade geométrica, AASHTO (2012) recomenda o uso da distribuição normal dos acidentes sobre o centro do vão, conforme mostra a Figura 7. Os parâmetros recomendados para a distribuição normal em questão são média igual a zero ($\mu = 0$) e desvio padrão igual ao comprimento da embarcação ($\sigma = LOA$).

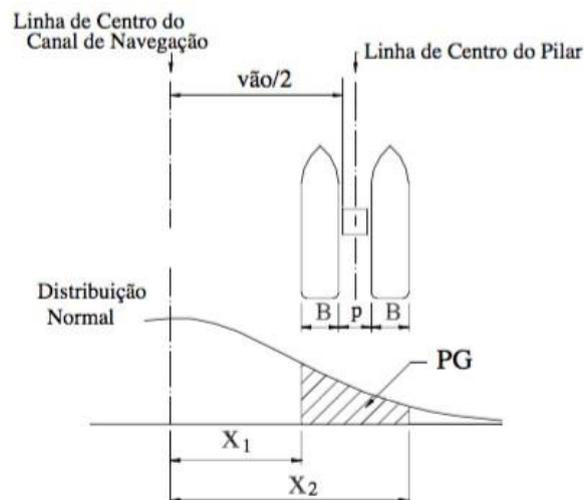


Figura 7 - Distribuição normal do cálculo da probabilidade geométrica. Fonte: AASHTO (1991)

Por definição, 68,3% das colisões ocorrem entre o valor de centro do vão e a distancia equivalente ao comprimento da embarcação (LOA) do centro, 95,5% ocorrem entre o centro do vão e duas vezes o comprimento da embarcação e 99,7 % das colisões ocorrem entre o centro do vão e três vezes o comprimento do comboio tipo. Por isso para pilares que estejam afastados de mais de 3 vezes o comprimento do comboio tipo, pode se considerar a probabilidade de colapso igual a zero.

A função de distribuição de probabilidade normal aplicada ao cálculo da probabilidade geométrica é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\cdot\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.9)$$

Onde:

σ é o parâmetro comprimento da embarcação

μ é tomado zero

Dessa forma a probabilidade geométrica será computada pela indicação de dois pontos no eixo X que correspondem à possível localização centro de massa da embarcação relativo ao eixo da distância entre os pilares. Assim a probabilidade geométrica é a probabilidade de que a embarcação esteja localizada entre os pontos um e dois que são calculados por:

$$X_1 = \frac{x - \frac{B_P + B_M}{2}}{LOA} \quad (2.10)$$

$$X_2 = \frac{x + \frac{B_P + B_M}{2}}{LOA} \quad (2.11)$$

Onde:

x é o tamanho de metade do vão da ponte,

X_1 é a fronteira inferior da localização da embarcação que pode colidir com o pilar,

X_2 é a fronteira superior da localização da embarcação que pode colidir com o pilar,

B_P é a largura do pilar,

B_M é a largura da embarcação,

LOA é o comprimento da embarcação.

Assim, a probabilidade geométrica é calculada por:

$$P.G. = \Phi(X_1) - \Phi(X_2) \quad (2.12)$$

Onde:

PG é o valor da probabilidade geométrica,

$\Phi(X_i)$ É o valor da função de probabilidades normal cumulativa avaliada no ponto X_i .

2.4.2.3 PROBABILIDADE DE COLAPSO (P.C.)

E por fim, deve-se analisar a probabilidade de que uma colisão seja significativamente

danosa para a ponte, que seja responsável pelo colapso da mesma. Essa probabilidade é computada tendo em conta que uma embarcação tenha perdido o controle e atingiu um pilar.

Diversas variáveis são considerados tais como:

- Configuração da embarcação
- Velocidade
- Direção de impacto
- Carga (DWT)

A rigidez do pilar da ponte e a natureza da superestrutura também influencia a probabilidade do colapso da ponte. Assim, a probabilidade de colapso é calculada tendo com base a proporção da força lateral resistente e solicitante para o caso de uma colisão. As equações que regem a probabilidade de colapso têm a forma:

Para $0,0 \leq \frac{H}{P} < 0,1$

$$PC = 0,1 + 9 \cdot \left(0,1 - \frac{H}{P} \right) \quad (2.13)$$

Para $0,1 \leq \frac{H}{P} < 1$

$$PC = \frac{1}{9} \cdot \left(1 - \frac{H}{P} \right) \quad (2.14)$$

Para $\frac{H}{P} \leq 1$

$$PC = 0 \quad (2.15)$$

Onde:

P.C. é a Probabilidade de colapso

H é a força lateral resistente

P é a força de impacto da lateral solicitante devido á colisões.

2.4.2.4 Frequência anual de colapsos esperados(A.F.)

Após o cálculo de todas essas probabilidades, deve-se determinar a frequência anual de colapso calculada para cada tipo de embarcações e depois somar todos esses valores. Com isso chega-se á conclusão de se o projeto da ponte é seguro ou não em relação ao colapso por colisões de embarcações. Essa frequência particular de colapso para cada um dos tipos de embarcações e pilares é calculada de acordo com a fórmula:

$$AF=(N)\cdot(PA)\cdot(PG)\cdot(PC) \quad (2.16)$$

Onde:

AF é a frequência anual de colapsos esperados do pilar

N é o número anual de navios

P.A. é a probabilidade de que o navio do tipo I perca o controle de navegação

P.G. é a probabilidade geométrica associada com a embarcação do tipo *i* e o pilar *j*

P.C. é a probabilidade esperada de colapso do pilar *j* em relação à embarcação tipo *i*.

Essa equação computa cenários de colisão específicos para cada pilar e embarcação trafegantes, por tanto, para fins de projeto deve-se somar cada um dos cenários de colisão para se chegar a frequência de colapso total esperada. Como indica a formula:

Assim, os valores de frequência anual de colapso deverão ser menores que 0,0001 para situações críticas e 0,001 para situações não críticas.

2.4 REGRAS DE NAVEGAÇÃO

Na publicação “Normas de navegação da Hidrovia Tietê-Paraná” são apresentadas inúmeras normas, algumas delas de extrema relevância para este trabalho.

Nesta seção serão apresentadas algumas dessas normatizações.

- Tamanho máximo de comboio.

O tráfego fluvial na Hidrovia do Paraná é composto, quase em totalidade, por comboios que são embarcações constituídas de um empurrador com propulsão e chatas, que acomodam a carga. As Figuras 8 e 9 abaixo ilustram esses dois constituintes do comboio.



Figura 8 - Empurrador. Fonte: ANTAQ (2010)



Figura 9 - Chata. Fonte: ANTAQ (2010)

Segundo Padovezi (2003), a partir do ano 2000 foram normatizadas dimensões máximas para o comboio, e que isso, na prática, implicou que, atualmente, os comboios navegam com dimensões muito próximas às máximas, isso se deve até à um fator economicidade, uma redução de custos associada. Assim, as dimensões do comboio acabam por estar definidas de acordo com o número de chatas que integram o comboio.

No capítulo III desta publicação normativa são definidos os tamanhos de comboios máximos, abaixo, são apresentadas as dimensões dos comboios máximas, essas dimensões são válidas de acordo com o que a Tabela 6 recomenda. Abaixo, as Tabelas 3, 4 e 5 mostram as dimensões máximas.

- Comboio Tipo Tietê: formado por duas chatas em linha mais um empurrador

Tabela 3 - Dimensões do comboio tipo Tiete. Fonte: AHRANA (2012)

Comprimento Total	137m
Boca	11,00m
Calado	2,70m
Pé de Piloto	0,30m

- Comboio Tipo Tietê-Duplo: formado por duas chatas em linha, e duas chatas lado a lado mais um empurrador.

Tabela 4 -Dimensões do comboio tipo Tietê-Duplo Fonte AHRANA (2012)

Comprimento Total	137m
Boca	11,00m
Calado	2,70m
Pé de Piloto	0,30m

- Comboio Tipo Paraná: formado por três chatas de chatas em linha, e duas lado a lado mais um empurrador.

Tabela 5 - Dimensões do comboio tipo Paraná Fonte AHRANA (2012)

Comprimento Total	200,50m
Boca	22,00m
Calado	3,70m
Pé de Piloto	0,30m

Essas dimensões máximas que foram apresentadas se referem aos trechos livres da hidrovia, em alguns trechos existem restrições á navegação, essas restrições geram a necessidade de uma operação chamada desmembramento.

Em eclusas e em áreas de ponte a embarcação, por questões de segurança, não pode trafegar com a sua formação original de comboio, ela deverá ancorar parte do número de chatas à montante, o empurrador levará um número de chatas à jusante e irá ancorá-las para repetir a operação, até que o todas as chatas estejam à jusante. Essa operação que é chamada de desmembramento.

Dessa forma, o número de chatas permitido variará de acordo com trecho a ser navegado. A determinação do comboio máximo é determinada através das Tabelas 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e Tabela 15 e a Figura 10 ilustram os comprimentos permitidos pela Marinha do Brasil (2010) e AHRANA (2014).

Tabela 6 -Comprimento máximo dos comboios: Reservatório Barra Bonita . Fonte AHRANA (2012)

1. RESERVATÓRIO BARRA BONITA		
Trecho Navegação	Formação máxima	Tipo de
Do km 89 ao PE Mont. Ponte SP-147	Tipo Duplo-Tietê	Trecho Restrito
Do PE Mont. SP-147 ao PE Jus. Ponte SP-147	Comprimento máx: 79,00 m e Boca: 11,00 m	Trecho de Ponte
Do PE Jusante SP-147 ao km 84	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 84 ao km 82	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 82 ao km.81	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 81 ao km 77	Tipo Duplo-Tietê	Trecho crítico
Do km 77 ao km 76	Tipo Duplo-Tietê	Sem observação
Do km 76 ao km 74	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 74 ao km 69	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 69 ao PE Mont. Ponte SP-191	Tipo Duplo-Tietê	Trecho crítico
Do PE Mont. ao PE Jus. Ponte SP-191	Tipo Tietê	Trecho de Ponte
Do PE Jus. Ponte SP-191 ao Km 45	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do Km 45 ao km 40	Tipo Duplo-Tietê	Trecho crítico

Do km 40 ao km 34	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 34 ao Km 24	Tipo Duplo-Tietê	Trecho crítico
Do km 24 ao PPO Mont. eclusa B.Bonita	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do PPO Mont. eclusa B.Bonita a eclusa	Tipo Tietê	Área de Segurança
Do km 50 rio Piracicaba a foz rio Piracicaba	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações

Tabela 7 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório Bariri Fonte AHRANA (2012)

2. RESERVATÓRIO BARIRI		
Trecho Navegação	Formação máxima	Tipo de
Da eclusa B.Bonita ao PPO Jus. Eclusa B. Bonita	Tipo Tietê	Área de Segurança
Do PPO Jus. Eclusa B. Bonita ao PE Jus. Ponte SP-255	Comprimento máx: 79,00 m e Boca: 11,00 m	Trecho de Ponte
Do PE Jus. Ponte SP-255 ao PE Jus. Canal Igarauçu	Tipo Tietê	Trecho de Ponte
Do PE Jus. Canal Igarauçu ao Km 52	Tipo Duplo-Tietê	Trecho crítico
Do km 52 ao km 49	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 49 ao km 48	Tipo Duplo-Tietê	Trecho crítico
Do km 48 ao km 44	Tipo Duplo-Tietê	Sem observação
Do km 44 ao km 40	Tipo Duplo-Tietê	Trecho crítico
Do km 40 ao km 36	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 36 ao PE Mont. Ponte Ferroban	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do PE Mont. Ponte Ferroban ao PE Jus. Ponte Ferroban	Tipo Tietê	Trecho de Ponte
Do PE Jus. Ponte Ferroban ao PE Mont. Ponte SP-225	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do PE Mont. Ponte SP-225 ao PE Jus. Ponte SP-225	Tipo Duplo-Tietê	Trecho de Ponte
Do PE Jus. Ponte SP-225 ao km 23	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 23 ao km 20	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 20 ao km 14	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 14 ao km 08	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 08 ao km 06	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 06 ao km 04	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 04 ao PPO Mont. Eclusa Bariri	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do PPO Mont. eclusa Bariri a Eclusa	Tipo Tietê	Área de Segurança

Tabela 8 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório do Ibitinga Fonte AHRANA (2012)

3. RESERVATÓRIO IBITINGA		
Trecho Navegação	Formação máxima	Tipo de
Da eclusa Bariri ao P.E. km 68	Tipo Tietê	Área de Segurança / Trecho restrito
Do km 68 ao km 62	Tipo Duplo-Tietê	Trecho crítico
Do km 62 ao km 56	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 56 ao km 50	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 50 ao km 40	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 40 ao km 36	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 36 ao km 34	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 34 ao km 32	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 32 ao km 28	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações

Do km 28 ao km 24	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 24 ao km 21	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 21 ao km 19	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 19 ao km 13	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 13 ao km 08	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do km 08 ao PPO Mont. Eclusa Ibitinga	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do PPO Mont. Eclusa Ibitinga a eclusa	Tipo Tietê	Área de Segurança

Tabela 9 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório Promissão Fonte AHRANA (2012)

4. RESERVATÓRIO PROMISSÃO		
Trecho Navegação	Formação máxima	Tipo de
Da eclusa Ibitinga ao PPO Jus. Eclusa Ibitinga	Tipo Tietê	Área de Segurança
Do PPO Jus. Eclusa Ibitinga ao PE Mont. Ponte SP-333	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do PE Mont. Ponte SP-333 ao PE Jus. Ponte SP-333	Tipo Tietê	Trecho de Ponte
Do PE Jus. Ponte SP-333 ao PPO Mont. eclusa Promissão	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do PPO Mont. eclusa Promissão a eclusa	Tipo Tietê	Área de Segurança

Tabela 10 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório nova Avanhandava Fonte AHRANA (2012)

5. RESERVATÓRIO NOVA AVANHANDAVA		
Trecho Navegação	Formação máxima	Tipo de
Da eclusa Promissão ao PPO Jus. Eclusa Promissão	Tipo Tietê	Área de Segurança
Do PPO Jus. Eclusa Promissão ao km 44	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do km 44 ao km 39	Tipo Duplo-Tietê	Trecho restrito
Do 39 ao PE Mont. ponte SP-425	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do PE Mont. ponte SP-425 ao PE Jus. Ponte SP-425	Tipo Tietê	Trecho de ponte
Do PE Jus. Ponte SP-425 ao PPO Mont. N. Avanhandava	Tipo Duplo-Tietê	Sem observações
Do PPO Mont. eclusa N.Avanhandava a eclusa	Tipo Tietê	Área de Segurança
Do km 33 ao km 35	Tipo Duplo-Tietê	Trecho crítico

Tabela 11 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório três irmãos Fonte AHRANA (2012)

6. RESERVATÓRIO TRÊS IRMÃOS		
Trecho Navegação	Formação máxima	Tipo de
Da eclusa N.Avanhadava ao PPO Jus. N.Avanhandava	Tipo Tietê	Área de
Do PPO Jus. Eclusa N.Avanhandava ao km 132	Tipo Duplo-	Trecho crítico
Do km 132 ao PE Mont. Ponte SP-463	Tipo Duplo-	Sem observações
Do PE Mont. Ponte SP-463 ao PE Jus. Ponte SP-463	Tipo Duplo-	Trecho de ponte
Do PE Jus. Ponte SP-463 ao PE Mont. Pilares Jacaré	Tipo Duplo-Tietê Ou Tipo	Trecho de ponte
Do PE Mont. Pilares Jacaré ao PE Jus. Pilares Jacaré	Tipo Duplo-Tietê Ou Tipo	Trecho de ponte

Do PE Jus. Pilares Jacaré ao PPO Mont. Canal P.Barreto	Tipo Duplo-Tietê Ou Tipo	Sem observações
Do PPO Mont. Canal P.Barreto ao PPO Jus. C.P.Barreto	Tipo Duplo-Tietê Ou Tipo	Área de Segurança
Do PPO Mont. Canal P. Barreto ao PE Mont. SP-563	Tipo Duplo-Tietê Ou Tipo	Sem observações
Do PE mont. SP-563 ao PE Jus. SP-563	Tipo Tietê	Trecho de ponte
Do PE Jus. SP-563 ao PPO de Mont. eclusa de Três Irmãos	Tipo Duplo-Tietê Ou Tipo	Sem observações
Do PPO Mont. Eclusa Três Irmãos a eclusa de Três Irmãos	Tipo Tietê	Área de Segurança

Tabela 12 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório Ilha Solteira Fonte AHRANA (2012)

7. RESERVATÓRIO ILHA SOLTEIRA		
Trecho Navegação	Formação máxima	Tipo de
Do PPO Jus. C.P.Barreto ao PE Jus. Ponte SP-595 – Rio S. José dos Dourados	Tipo Tietê ou Tipo Paraná	Sem observações
Do PE Jus. Ponte SP-595 ao PE Mont. Ponte SP-595	Tipo Duplo-Tietê Ou Tipo	Sem observações
Do PE Mont. Ponte SP-595 ao terminal São Simão/GO	Tipo Duplo-Tietê Ou Tipo	Sem observações

Tabela 13 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório Jupuí Fonte AHRANA (2012)

8. RESERVATÓRIO JUPIÁ		
Trecho Navegação	Formação máxima	Tipo de
Da eclusa Três Irmãos ao PE Jusante Três Irmãos	Tipo Tietê	Área de Segurança
Do PE Jus. da eclusa Três Irmãos ao PE Mont. Ponte SP- 595 (Barrageiros)	Tipo Tietê ou Tipo Paraná	Sem observações
Do PE Mont. Ponte SP-595 (Barrageiros) ao PE Jusante da Ponte SP-595 (Barrageiros), conforme abaixo:		Trecho de ponte
a) Comboio carregado -	Comprimento máx: 79,00 m e Boca: 11,00 m	
b) Comboio vazio -	Comprimento máx: 79,00 m e Boca: 11,00 m	
Do PE Jusante da Ponte SP-595 (Barrageiros) ao PE montante da eclusa de Jupuí	Tipo Duplo-Tietê ou Tipo	Sem observações
Do PPO Mont. da eclusa de Jupuí a eclusa de Jupuí	Tipo Tietê ou Tipo	Área de Segurança

Tabela 14 - Comprimento máximo dos comboios - Reservatório Porto Primavera Fonte AHRANA(2012)

9. RESERVATÓRIO PORTO PRIMAVERA		
Trecho Navegação	Formação máxima	Tipo de
Da eclusa de Jupiaí ao PPO de jusante (ponta do dique)	Tipo Duplo-Tietê ou Tipo	Sem observações
Do PPO Jus. Eclusa Jupiaí (ponta do dique) ao PE a Mont. da Ponte Paulicéia	Boca: 22 m Comprimento: 257,50 m	Sem observações
Do PE Mont. da Ponte Paulicéia (SP-294) ao PE Jus. da Ponte Paulicéia (SP-294).	Boca: 22 m Comprimento: 257,50 m	Largura limite do canal 181,60m Trecho de Ponte
Do PE Jus. da Ponte Paulicéia (SP-294) ao PE Mont. da Ponte Maurício Joppert (BR-267).	Boca: 22 m Comprimento: 257,50 m	Sem observações
Do PE Mont. da Ponte Maurício Joppert (BR-267) ao PE Jus. da Ponte Maurício Joppert (BR-267).	Compr.: 257,50 m Boca: 11,00 m	Trecho de ponte
Do PE Jus. da Ponte Maurício Joppert (BR-267) ao PPO Mont. Eclusa Porto Primavera.	Boca: 22 m Comprimento: 257,50 m	Sem observações
Do PPO Mont. ao PPO Jus. Eclusa Porto Primavera	Boca: 16 m, Comprimento: 200,50 m	Área de Segurança

Tabela 15 - Comprimento máximo dos comboios - trecho de corrente livre Fonte AHRANA (2012)

10. TRECHO CORRENTE LIVRE (Guaíra a UHE Porto Primavera)		
Trecho Navegação	Formação máxima	Tipo de
Do PPO Jus. Eclusa Porto Primavera ao PE Mont. da Ponte Porto Camargo (BR-487) (Canal Leste).	Boca: 22 m Comprimento: 257,50 m	Baixios
Do PE Mont. da Ponte Porto Camargo (BR-487) ao PE Jus. do Canal de Transposição da Ponte Porto Camargo (BR 487).	Descendo o rio: 22 m x 97,50 m Subindo o rio: 11 m x 257,50 m	Trecho de ponte
Do PE Jus. da Ponte Porto Camargo (Canal Leste) ao PE Mont. da Ponte Ayrton Senna (BR-163).	Boca: 22 m Comprimento: 257,50 m	Baixios

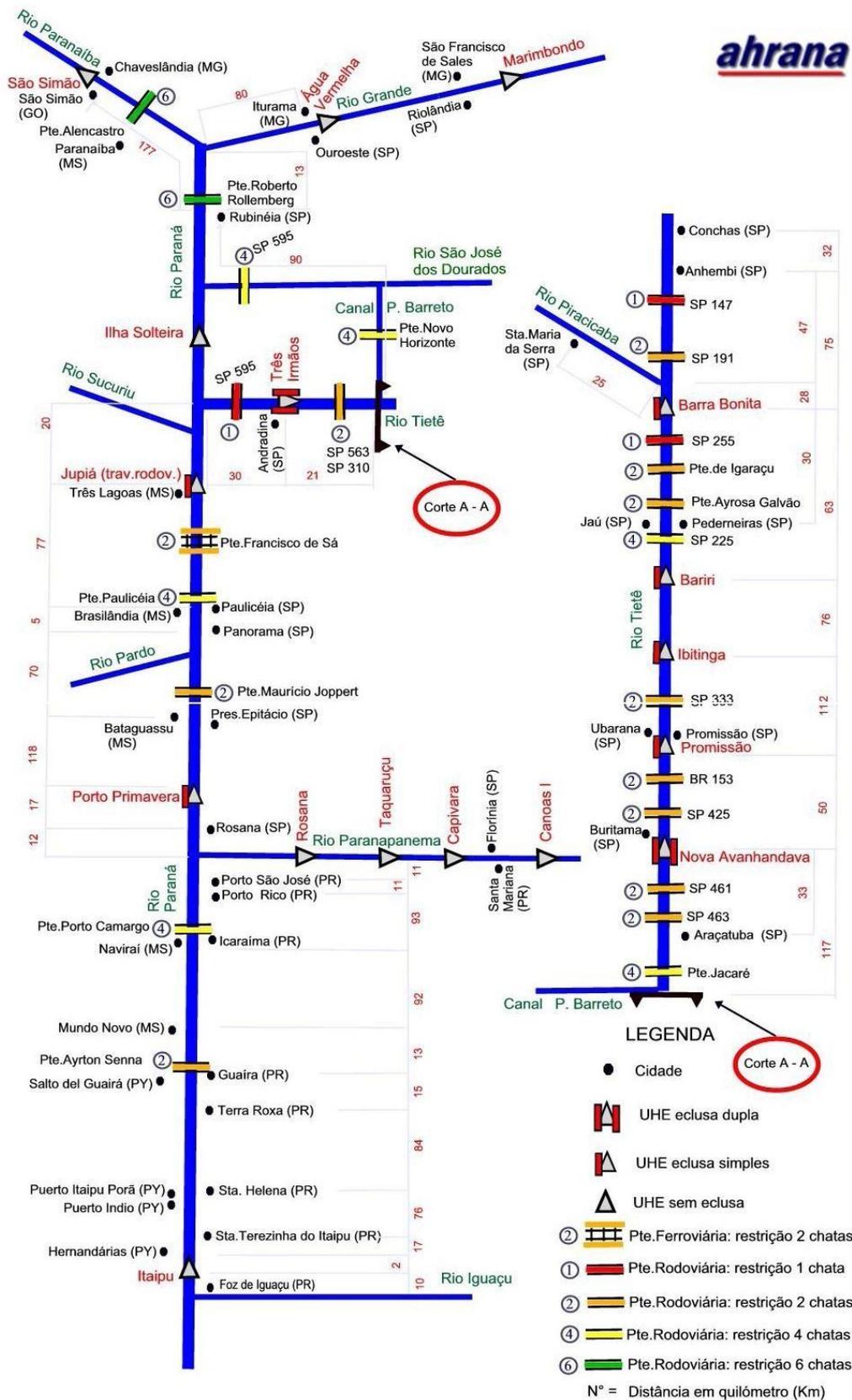


Figura 10 - Esquema da Hidrovia contendo as restrições de comboio. Fonte: AHRANA (2014)

Importante ressaltar que em alguns casos, as duas fontes de informação, tabelas e a figura divergem entre si; provavelmente pelo intervalo de tempo entre as suas publicações, ambos os órgãos estão em sua competência normalizadora; para efeitos desse trabalho foi usada, quando houve divergência, a fonte de informação mais recente.

- Velocidades máximas sob pontes

Outro tema abordado pela publicação normativa é a normatização da velocidade em que os comboios irão trafegar em áreas debaixo de pontes, é apresentada essa tabela:

Tabela 16 - Velocidades máximas

Condição do Comboio	Velocidade máxima em colisão frontal	Velocidade máxima em colisão lateral (incidindo com ângulo de 15 graus sobre
Vazio	1,00	2,00
Carregado	0,80	1,50

- Lei do rio

Por fim. Pode-se citar a chamada lei do rio que prescreve:

“Quem navega a favor da correnteza segue a meio caudal, enquanto quem sobe o rio segue próximo à margem; quem desce o rio tem a preferência”.

Isso, juntamente com a regulação, indica uma das hipóteses do trabalho que não haverá cruzamento de barcos sob o vão da ponte.

2.5 PONTES ANALISADAS

As pontes analisadas nesse estudo são pontes da hidrovia Paraná listadas abaixo:

- Ponte Rodoviária Ayrton Senna
- Ponte Rod. Porto Camargo
- Ponte Rodoviária Prof. Maurício Joppert
- Ponte Rod. Paulicéia
- Ponte Ferroviária Francisco de Sá

- Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg
- Ponte Rodoviária Porto Alencastro

Na Figura 11 é apresentado o rio Paraná com a localização de cada uma das pontes, essa figura foi obtida com auxílio da ferramenta Mapas do site www.google.com, e na Figura 12 ilustra-se a divisão da hidrovia adotada pela Marinha do Brasil e pela AHRANA em tramos norte e sul.

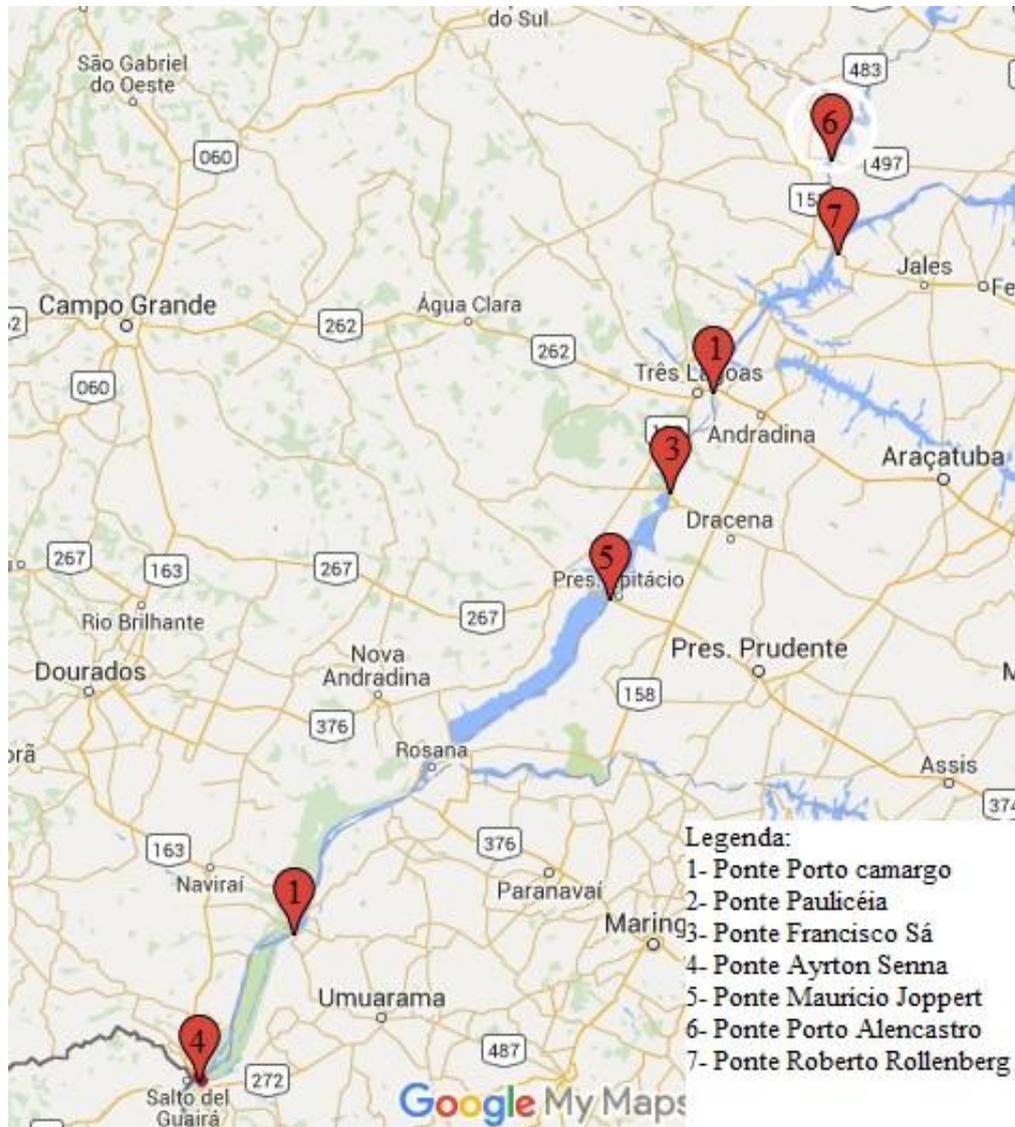


Figura 11 - Localização das pontes



Figura 12 - Divisão da hidrovia em trechos Norte e Sul. (Fonte: AHRANA(2012))

Dessa forma, as pontes Roberto Rollemberg e Porto Alencastro integram o tramo norte da hidrovia Paraná e as demais integram o tramo sul. Abaixo serão apresentadas cada uma das pontes.

2.6.1 Tramo Sul:

- **Ponte Rodoviária Ayrton Senna**



Figura 13 - Ponte Ayrton Senna. Fonte: www.wikipédia.com

A ponte Ayrton Senna (Figura 13) está localizada no trecho I - Reservatório de Itaipú à

Guaíra, liga as cidades de Guaíra (PR) a Mundo Novo (MS) pela BR-163 possui as seguintes características geométricas:

Tabela 17 - Ponte Ayrton Senna. Fonte: DNIT 2016

Vão Navegável	46m
Altura Livre	11,m
Extensão	3.492m

- **Ponte Rodoviária Porto Camargo**



Figura 14 - Ponte Porto Camargo. Fonte www.panoramio.com

A Ponte Rodoviária Porto Camargo (Figura 14) está localizada no trecho II - Guaíra a UHE Engenheiro Sérgio Motta liga as cidades de Vila Alta (PR) a Naviraí (MS) pela BR- 487 possui as seguintes características:

Tabela 18 - Ponte Porto Camargo. Fonte :DNIT 2016

Vão Navegável	80m
Altura Livre	22m
Extensão	2.178m

Infelizmente essa ponte colapsou devido à uma cheia do rio no dia 2 de dezembro de 2015. A Figura 15 ilustra a ponte após o colapso.



Figura 15 - Ponte Porto Camargo colapsada. Fonte: www.g1.com

- **Ponte Rodoviária Professor Maurício Joppert**

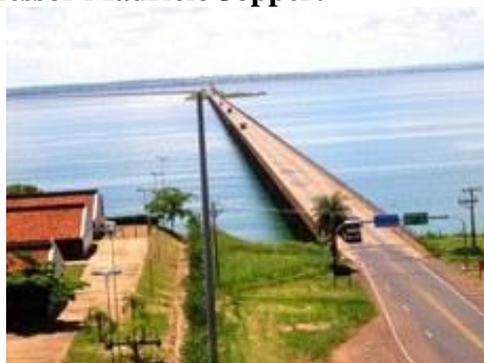


Figura 16 - Ponte Professor Maurício Joppert. Fonte: www.dnit.gov.br

A Ponte Rodoviária Professor Maurício Joppert (Figura 16) está localizada no trecho III - Reservatório UHE Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera), liga as cidades de Bataguassú (MS) a Presidente Epitácio (SP) pela BR-267, possui as seguintes características.

Tabela 19 - Ponte Maurício Joppert. Fonte :DNIT 2016

Vão Navegável	45m
Altura Livre	10m
Extensão	170m

- **Ponte Rodoviária Paulicéia**



Figura 17 - Ponte Paulicéia. Fonte: www.bastidoresdanoticiadracena.blogspot.com.br

A Ponte Rodoviária Paulicéia (Figura 17) está localizada no TRECHO III - reservatório UHE engenheiro Sérgio Motta. Liga as cidades de Paulicéia (SP) a Brasilândia (MS) pela SP-294 e possui as seguintes características geométricas.

Tabela 20 - Ponte Paulicéia Fonte :DNIT 2016

Vão Navegável	180m
Altura Livre	15
Extensão	1.705m

- **Ponte Ferroviária Francisco de Sá**



Figura 18 - Ponte Francisco Sá. Fonte: www.maestro.xp3.biz

A Ponte Ferroviária Francisco de Sá (Figura 18) está localizada no trecho III - Reservatório UHE Engenheiro Sérgio Motta. Liga as cidades de Andradina (SP) a Três Lagoas (MS), possui as seguintes características geométricas.

Tabela 21 - Ponte Francisco Sá. Fonte: DNIT 2016

Vão Navegável	40m
Altura Livre	7m
Extensão	1.200m

2.6.2 Tramo Norte

- **Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg**



Figura 19 - Ponte Roberto Rollenberg. Fonte: www.panoramio.com

A Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg (Figura 19) está localizada no trecho IV- Reservatório UHE Ilha Solteira. Liga as cidades de Santa Fé do Sul (SP) a Aparecida do Taboado (MS) pela SP-320 Possui as seguintes características geométricas:

Tabela 22 -Ponte Roberto Rollenberg. Fonte: DNIT 2016

Vão Navegável	82m
Altura Livre	13m
Extensão	3.800m

- **Ponte Rodoviária Porto Alencastro**



Figura 20 - Ponte Porto Alencastro. Fonte: www.wikimapia.org

A Ponte Rodoviária Porto Alencastro (Figura 20) está localizada no trecho IV - reservatório UHE Ilha Solteira. Liga as cidades de Carneirinho (MG) a Paranaíba (MS) via BR-497/MS-306, possui as seguintes características geométricas.

Tabela 23 - Ponte Porto Alencastro. Fonte :DNIT 2016

Vão Navegável	320m
Altura Livre	13m
Extensão	662m

Além das pontes existem outros obstáculos á navegação livre como por exemplo: obras hidráulicas (UHE's), linhas de transmissão de energia elétrica, Gasoduto Brasil-Bolívia, bem como cabos de fibra ótica submersos. Abaixo, a Figura 21 disponibilizada pela AHRANA ilustra esses obstáculos para navegação.

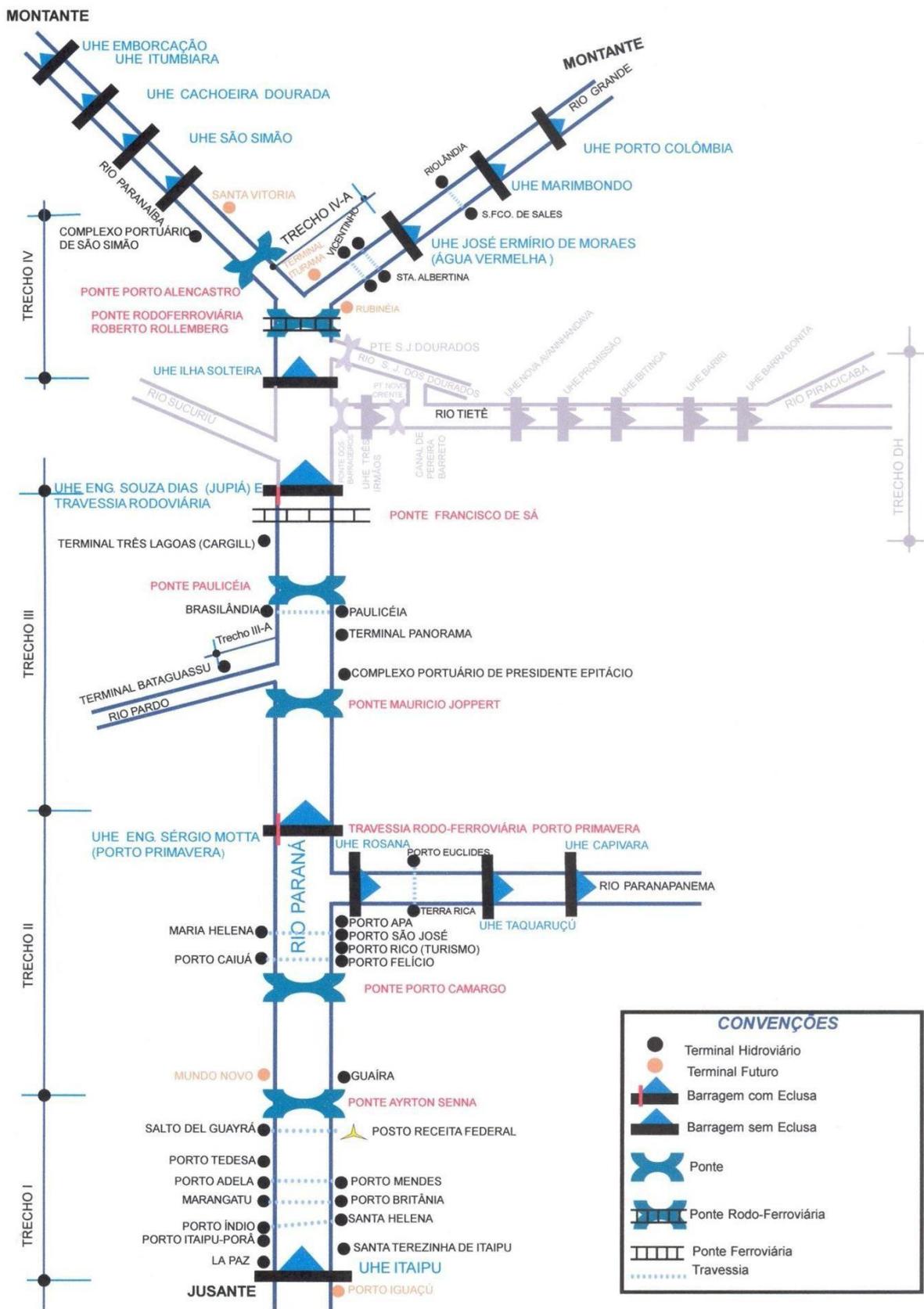


Figura 21 - Obstáculos para navegação. Fonte: AHRANA (2012)

2.7. ANÁLISE DA NAVEGABILIDADE DA HIDROVIA

A consideração sobre a navegabilidade da hidrovia (se pertence ao caso crítico ao caso não crítico) é de extrema importância para a navegação fluvial e para a aplicação dos métodos propostos.

A maneira mais precisa de se definir a navegabilidade da hidrovia é através de entrevistas com os usuários da via, os usuários do sistema devem opinar sobre as tanto as condições adversas quanto sobre os efeitos dela na navegação, baseado nesses fatores, prossegue-se com um estudo, em que são apontadas as condições que são consideradas adversas, e a sua frequência na navegação.

Sob essa ótica será apresentado uma parte da pesquisa realizada por Ferreira (2009) que entrevistou comandantes da hidrovia, bem como avaliou situações em que ocorreram acidentes, essa pesquisa é de alto valor, pois ajudou a definir o que realmente causa problemas na condução dos navios. Além disso Ferreira (2009) também coletou outros tipos de dados, como por exemplo, formação profissional dos condutores de embarcações, localização de cada um dos acidentes e outras informações meteorológicas relevantes para a hidrovia.

O primeiro ponto avaliado foram os aspectos físicos da hidrovia Tiete-Paraná, a percepção dos comandantes é que a hidrovia possui trechos em boas condições de navegação, mas que em certas áreas os obstáculos presentes na hidrovia aliados à condições climáticas adversas, podem oferecer riscos graves à navegação, portanto a avaliação geral da hidrovia ficou em regular. A Figura 22 ilustra o resultado dessa parte da pesquisa.

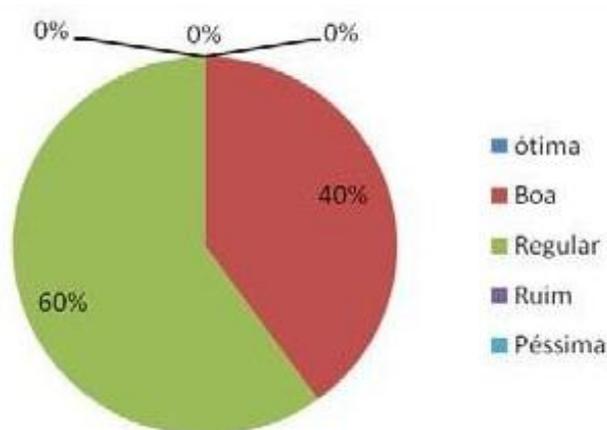


Figura 22 - Percepção dos condutores sobre a hidrovia. Fonte: Ferreira (2009)

O próximo gráfico ilustra a percepção dos comandantes quanto à sinalização, que no geral é uma percepção bastante positiva. Os resultados são apresentados na Figura 23.

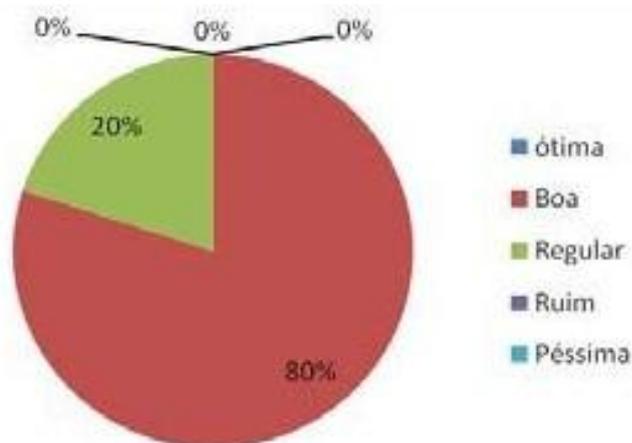


Figura 23 - Percepção dos condutores quanto á sinalização. Fonte: Ferreira (2009)

Também foram pesquisados a sobre governabilidade da embarcação em meio á más condições de tempo, isso implica no grau de adequação da resposta que o comandante fornece em meio á uma condição adversa, essa característica é relevante no âmbito de quanto mais capazes os comandantes forem de responder á adversidades; mais segura é a hidrovia. O resultado da pesquisa foi que os comandantes tem uma visão regular do fato.

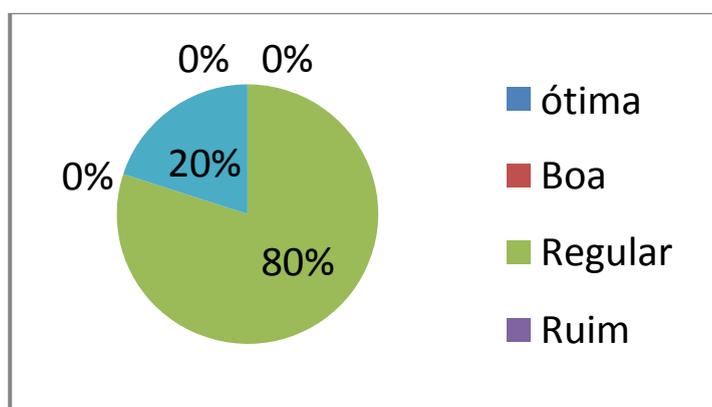


Figura 24 - Avaliação da governabilidade. Fonte: Ferreira (2009)

O autor também avaliou acidentes ocorridos de acordo com as condições meteorológicas. A conclusão foi que os ventos fortes exercem um papel muito negativo, os acidentes tem uma probabilidade muito maior de acontecer se os ventos estiverem em alta velocidade .

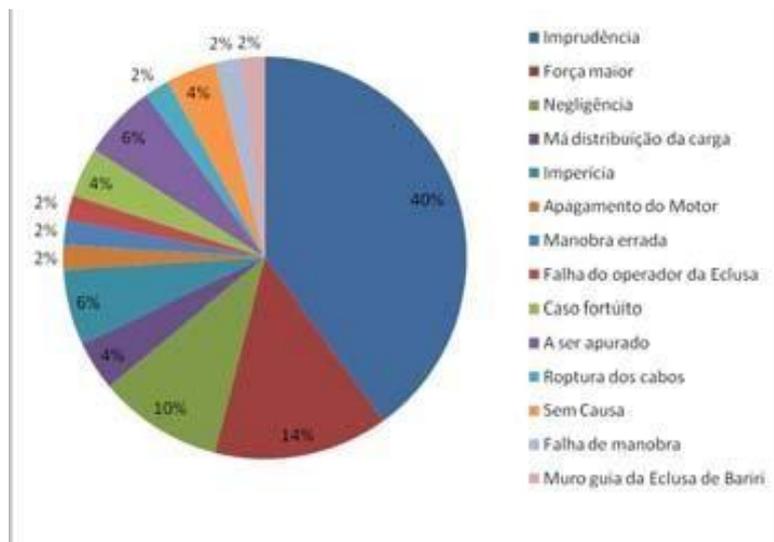


Figura 25 - Acidentes e condições climáticas. Fonte: Ferreira (2009)

Essa referência foi apresentada neste trabalho com vistas á embasar de forma simplificada a decisão quanto á navegabilidade da hidrovia, lembrando que para definir a situação um estudo mais preciso é requerido, mas essa hidrovia, possivelmente seria considerada como não crítica casos os demais dados corroborem nessa direção.

3 METODOLOGIA

Esse trabalho visa avaliar a magnitude da força lateral no pilar para evitar um possível colapso da ponte devido à colisões com embarcações, para realizar isso serão aplicados a cada uma das pontes apresentadas nos itens 2.6.1 e 2.6.2 a metodologia de calculo de tráfego fluvial e subseqüentemente o cálculo dos esforços solicitantes.

Para a aplicação destas metodologias, são requeridos um número considerável de dados e muitos deles não estão disponíveis, por tanto, foram elaboradas formas de se estima-los. Eles são:

- Carga total que cruza o vão da ponte
- Tamanho das embarcações que cruzam o vão da ponte
- Numero das embarcações que cruzam o vão da ponte

Em muitos casos para uma estimativa desses dados foi requerido a elaboração de hipóteses que levaram a cenários de cálculo, esses cenários serviram de base para o cálculo da força. Abaixo serão detalhados a metodologia.

3.1 Carga total que cruza o vão da ponte

A administração da hidrovia do Paraná realiza coleta de dados sobre as cargas que circulam na hidrovia e os publica mensalmente, porém esses dados não são apresentados de modo a registrar a carga que passa por debaixo do vão de uma determinada ponte, esses dados apresentados no documento “Dados Operacionais do ano de 2013” são coletados em estações de transbordo, e apenas são registrados o valor da carga, a origem e o seu destino.

Para estimar a quantidade de carga que cruza uma ponte em um determinado tempo foram elaboradas rotas de carga, baseados nos dados de origem e destino da carga e também no esquema da Figura 21, as rotas foram traçadas no mapa da região a fim de ilustrar o caminho percorrido pela carga, visando mostrar de modo aproximado a trajetória da carga. A finalidade desse procedimento é verificar se uma determinada carga, dado a origem e o destino cruzou o Vão de determinada ponte. Caso essa rota esteja na trajetória de uma ponte, será computada a

Carga dessa rota para efeitos de cálculo da força lateral resistente desta ponte.

Vale assinalar que em, alguns casos, uma ponte não faz parte de nenhuma rota, e em outros casos, a ponte pode fazer parte de duas ou mais rotas, nessas situações as cargas foram somadas.

Outra observação é que os dados utilizados para auferir as cargas trafegantes na hidrovia são relativos ao ano de 2013, a escolha desse ano se deve ao fato que o conjunto de dados mais recente (dos anos de 2014 e 2015) não são muito representativos da hidrovia, tendo em vista que partes da hidrovia foram fechados durante intervalos de tempo destes anos, em 2014 a hidrovia permaneceu fechada quase o ano todo, devido á seca ocorrida nesse período. Como forma de corrigir esse valor, serão apresentados, ao final dessa seção, formas de atualizar o fluxo de tráfego para o tempo futuro.

3.2 Tamanho das embarcações que cruzam o vão da ponte

As embarcações têm tamanhos normatizados. Essa normatização também não torna constantes os comprimentos totais das embarcações ao decorrer da hidrovia, em determinados trechos, o comboio deverá ser desmembrado em suas partes constituintes (chatas e empurrador).

Dessa forma, serão avaliados em cada ponte, o comprimento de comboio permitido para fazer a travessia. Isso irá indicar o comprimento da embarcação trafegando sobre determinado vão.

3.3 Número das embarcações que cruzam o vão da ponte

Uma vez determinados a carga total, o tipo de embarcação, o número de embarcações que cruzam o vão da ponte será estimado considerando duas metodologias chamadas de Cenário I e Cenário II.

No cenário I considera-se que a embarcação estará trafegando em sua capacidade de máxima de carga, essa hipótese é adequada no sentido de determinar a força lateral resistente necessária para o cenário mais desfavorável.

Vale ressaltar que a capacidade de carga das chatas é uma variável dependente do calado (profundidade da chata tendo a linha d'água como referencia) e que o calado permitido varia de acordo com o nível d'água da hidrovia. Dessa forma, foram utilizados valores médios de

Capacidade de carga; o valor utilizado como capacidade de carga para as chatas da hidrovia é de 1500 t, esse valor foi apresentado pela ANTAQ (2012), como valor médio.

No Cenário II será utilizada uma estatística que a AHRANA divulga anualmente, em um documento chamado “Relatório Anual de Carga” nessa estatística são apresentados o número total de viagens que ocorram no tramo norte (essa estatística não é apresentada para o tramo sul) com esse número de viagens é possível estimar uma carga média de cada chata dado que se calculou a carga total.

Para estimar o valor desta variável para o tramo sul, na ausência de dados mais precisos, foram importados os valores de carga media de cada chata do tramo norte.

Com a carga media de cada chata e a carga total é possível concluir uma estimativa para o número de chatas.

Um fator importante na análise foi que ela foi desenvolvida considerando a chata como sendo uma unidade de carga, isso quer dizer que foram estimadas as quantidades de chatas, as viagens das chatas, e as suas cargas, e de acordo com a restrição de desmembramento e foram “montados” os comboios com a quantidade de chatas permitidas.

Outra hipótese importante é que não haverá cruzamento entre embarcações durante a travessia de uma ponte; de acordo com a regulação apresentada no item 2.5.

Outra hipótese considerada é que as embarcações terão uma velocidade de travessia da ponte de 0,8m/s e que o ângulo que a embarcação fara com a horizontal será de 0 graus. A velocidade de 0,8 m/s condiz com a regulação da marinha para comboios carregados e o ângulo foi estimado nulo pela posição das pontes em relação ao rio e ao canal de navegação, as pontes estão em posição reta sendo pouco econômico, mais arriscado e pouco provável que a embarcação navegue inclinada.

Também foi considerado como hipótese a validade da equação 2.2 como forma de se avaliar a força lateral equivalente envolvida na colisão

Uma outra hipótese, também corroborada pelo professor Padovezi (2003), é que as embarcações da hidrovia Paraná não trafegam, em seu caminho de volta com as chatas lastreadas com água. Algumas embarcações de carga, quando vazias, ao realizar a viagem de volta sem a carga, costumam bombear água para o interior do casco, essa água, chamada de água de lastro serve para aumentar o peso total da embarcação e conferir maior estabilidade. Na hidrovia Paraná isso não ocorre tendo em vista que as chatas não estão preparadas estruturalmente para esse procedimento.

Chatas descarregadas não fazem parte do tema deste trabalho, mas elas devem ser consideradas no dimensionamento por isso, nas seções 5 será abordado o tema.

E, por fim, considerou-se que o valor das outras cargas no navio, como pessoas, bagagens, são insignificantes perto da carga total. Pode-se citar que cita um exemplo de uma chata com 4 toneladas de carga móvel sem contar com a de finalidade de transporte, esse valor é insignificante perto da carga total das chatas (1500t – 6000t)

4 RESULTADOS

A AHRANA forneceu os valores de movimentação de carga conforme mostra a tabela 21.

Segundo A AHRANA (2013), estes valores abordam todas as situações de transporte para a hidrovia.

Tabela 21 - Cargas Movimentadas na hidrovia do Paraná. Fonte: AHRANA (2014)

MOVIMENTAÇÃO DE CARGA ANO 2013						
Tramo	Origem	Destino	Número da rota	Distância (Km)	Produto	Carga Acumulada Anual (t)
Tramo Norte	São Simão (GO)	Santa Maria da Serra (SP)	1	738	Açúcar	0
					Farelo de Soja	0
					Soja	95.666
					Milho	161.858
					TOTAL	257.524
	São Simão (GO)	Pederneiras (SP)	2	655	Farelo de Soja	278.232
					Soja	814.263
					Milho	567.117
					TOTAL	1.659.612
	São Simão (GO)	Anhembi (SP)	3	760	Açúcar	0
					Farelo de Soja	41.941
					Soja	250.785
					Milho	229.188
					TOTAL	521.914
	Total Tramo Norte					
Tramo Sul	Três Lagoas – Porto Cargill (MS)	Anhembi (SP)	4	564	Celulose	410850
					TOTAL	410850
	Pres. Epitácio (SP)-Rio Paraná	Panorama (SP)	8	70	Areia, Cascalho	357.857
					TOTAL	357.857
	São Pedro do Paraná (PR)	Rosana (SP)	5	5	Areia, Cascalho	255.987
					TOTAL	255.987
	Mundo Novo (MS)-Rio Paraná	Terra Roxa (PR)	9	28	Areia	47.300
					TOTAL	47.300
	Mundo Novo (MS)-Rio Paraná	Guaíra (PR)	10	13	Areia	0
					TOTAL	0
TOTAL					38.825	

(continuação)

MOVIMENTAÇÃO DE CARGA ANO 2013							
Tramo	Origem	Destino	Número da rota	Distância (Km)	Produto	Carga Acumulada Anual (t)	
Tramo Sul	Guaíra (PR)	Santa Terezinha de Itaipu (PR)	6	180	Areia	166.960	
					TOTAL	166.960	
	Santa Helena (PR) (exportação)	Puerto Itaipu Porã (PY)	7	30	Calcário, Fertilizante	78.917	
					Pneu, Máquinas, Equipamento.	6.100	
					Sementes	469	
					Outros	5.680	
					TOTAL	91.166	
	Puerto Itaipu - Porã (PY)	Santa Helena (PR) (importação)	12	30	Arroz	0	
					Carvão	0	
					Madeira	0	
					Mandioca	10.872	
					Milho	286.033	
					Soja	21.209	
					Trigo	9.600	
					Polietileno	0	
					Outros	4.156	
	TOTAL	331.870					
	Total Tramo Sul						1.700.815
	Total Hidrovia Paraná (Tramo Norte + Tramo Sul)						4.149.144

Baseado nessas informações de origem e destino da embarcação e na Figura 21, foram elaborados mapas que indicam a trajetória que determinada carga percorreu. Esses mapas constam de 11 rotas e foram elaborados com auxílio do programa Google Maps. As rotas serão apresentadas abaixo:

4.1 Tramo norte

Rota 1: São Simão (GO) – Pedemeiras (SP), Rota 2: São Simão (GO) – Santa Maria da Serra (SP) e Rota 3-Sao Simão (GO) – Anhembí (SP)

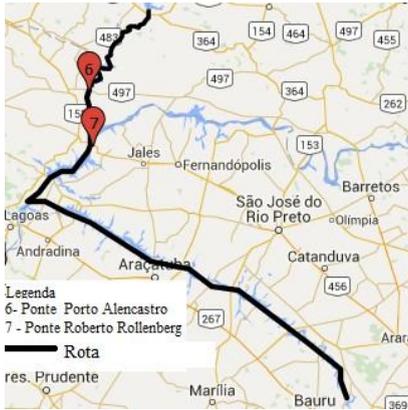


Figura 26 - Rota 1

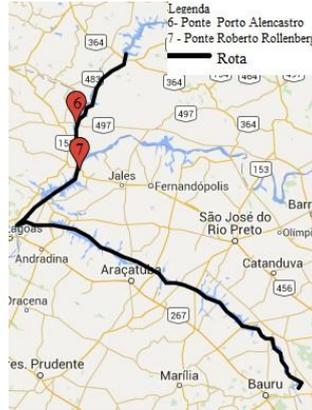


Figura 27 - Rota 2

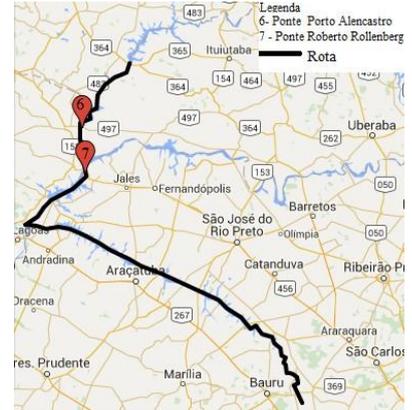


Figura 28 - Rota 3

4.2 Tramo sul

Rota 4: Três Lagoas (SP) – Anhembi (SP) e Rota 5: São Pedro do Paraná (PR) – Rosana (SP)



Figura 29 - Rota 4



Figura 30 - Rota 5

Rota 6 : Guaira (PR) – Santa Terezinha de Itaipu (PR)

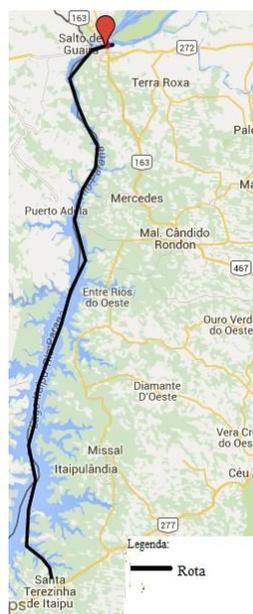


Figura 31 - Rota 6

Rota 7: Santa Helena (PR) – Puerto Itaipu Porã (PY), Rota 8: Presidente Epitácio (SP) – Panorama (SP) e

Rota 9: Mundo Novo (MS) – Terra Roxa (PR)



Figura 32 - Rota 7

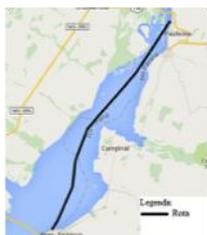


Figura 33 - Rota 8



Figura 34- Rota 9

Rota 10: Mundo Novo (MS) – Guaíra (PR), Rota 11: Altônia (PR)- Terra Roxa (PR), Rota 11, Rota 12: Puerto Itaipu Porã (PY) – Santa Helena (PR)



Figura 35 - Rota 10



Figura 36 - Rota 11



Figura 37 -Rota 12

Dessa forma gera-se a tabela 25 de cargas por vão da ponte .

Tabela 25 - Cargas sob os vãos

Nome da ponte	Rotas que cruzam o vão	Total de cargas
Ponte Rodoviária Porto Camargo	-	-
Ponte Rodoviária Paulicéia	-	-
Ponte Ferroviária Francisco Sá	4	410980t
Ponte Rodoviária Ayrton Senna	6	166960t
Ponte Rodoviária Maurício Joppert	-	-
Ponte Rodoviária Porto Alencastro	1,2,3	2439050t
Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg	1,2,3	2439050t

Este mapa de rotas e essa análise de cargas trafegantes pela hidrovia ilustram uma questão levantada pelo Padovezi (2003), O fato de que o tramo sul da hidrovia Paraná ter valores de comprimentos de comboios máximos menores que o do tramo norte, acaba por restringir as rotas das embarcações para rotas que tenham início e fim no tramo sul. Executando predominantemente o transporte transversal.

Dessa forma, as pontes que serão analisadas à ótica da metodologia apresentada serão apenas as pontes que tenham um fluxo de carga sob seu vão, a saber:

- Ponte Ferroviária Francisco Sá
- Ponte Rodoviária Ayrton Senna
- Ponte Rodoviária Porto Alencastro
- Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg

Assim, foram elaborados para essas pontes, de acordo com as Tabela 6 a Tabela 15 e a Figura 10, a Tabela 26 - Comboios permitidos por ponte que delimita essa tabela o tamanho máximo dos comboios.

Essa tabela define como serão as embarcações ao trafegar pela ponte. O número de chatas será baseado no comprimento, como cada chata possui 60 metros aproximadamente e o empurrador, aproximadamente 19 metros, é possível determinar a quantidade de chatas de forma a determinar as pontes que tem carga trafegando em seus vãos.

Tabela 26 - Comboios permitidos por Ponte

Nome da ponte	Tipo de comboio permitido ao se fazer a travessia
Ponte Ferroviária Francisco Sá	Boca: 11m
	Comprimento: 137m
	Composição: 2 chatas em linha e 1 empurrador
Ponte Rodoviária Ayrton Senna	Boca 11m
	Comprimento 137m
	Composição: 2 chatas em linha e 1 empurrador
Ponte Rodoviária Porto Alencastro	Boca 22 m
	Comprimento 200,5 m
	Composição: 6 chatas e 1 empurrador
Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg	Boca 22 m
	Comprimento 200,5 m
	Composição: 6 chatas e 1 empurrador

4.3 Cálculo do número e carga das chatas que passam sob o vão das pontes

Para a aplicação de todos os métodos apresentados é necessário os valores de carga de cada embarcação e o número de embarcações que trafegam por determinada ponte, o objetivo dessa seção é estimar esses números.

A quantidade de dados disponíveis é muito pequena portanto foram necessárias algumas

estimações, sendo apresentados 2 cenários, de acordo com as hipóteses adotadas. Assim, foi dividida entre o tramo norte e tramo sul da hidrovia Paraná

4.3.1 Cenário I

O Cenário I foi elaborado considerando que cada chata tem a capacidade de transporte de 1500 toneladas. Com a carga total transportada e a capacidade de cada chata, é possível estimar a quantidade de embarcações que trafegaram. Conforme indicam as tabelas 29, 30, 31 e 32.

- **Cenário I – Tramo norte**

De posse dos valores de capacidade de carga foi possível elaborar as Tabelas 27 e 28 abaixo, que relacionam as rotas com a carga e as pontes com a respectiva carga que trafega sob seu vão.

Tabela 27 - Cenário I - Tramo Norte, quantidade de chatas segundo o Cenário I

Rota	Número	Carga Anual Transportada na rota(t)	Carga média transportada por cada chata(t)	Quantidade de chatas por rota
São Simão (GO) - Pedemeiras (SP)	1	1659813	1500	1107
São Simão (GO) - Santa Maria da Serra (SP)	2	261562	1500	175
São Simão (GO) - Anhembi (SP)	3	526952	1500	352
TOTAL		2448327		1634

Tabela 28 - Rotas e quantidade de chatas para o tramo norte segundo o Cenário I

Pontes	Rotas que cruzam a ponte	Quantidade de chatas que cruzam as duas pontes
Ponte Rodoviária Porto Alencastro	1, 2, 3	1634
Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg	1, 2, 3	1634

Dessa forma conclui-se que 1634 chatas cruzaram as duas pontes do tramo norte em 2013

- **Cenário I – Tramo sul**

Foi feito o mesmo procedimento e elaboraram-se as Tabelas 29, 30 e 31.

Tabela 29 - Quantidade de chatas na rota 6 segundo o Cenário I

Rota	Número	Carga Anual Transportada na rota(t)	Carga média transportada por cada chata(t)	Quantidade de chatas por rota
Guaíra (PR) - Santa Terezinha de Itaipú (PR)	6	166960	1500	112

Tabela 30 - Quantidade de chatas e cargas na para a ponte Ayrton Senna segundo o Cenário I

Ponte	Rotas que cruzam a ponte	Quantidade de chatas que cruzam a ponte
Ponte Rodoviária Ayrton Senna	6	112

Tabela 31 - Quantidade de Chatas na rota 4 segundo o Cenário I

Rota	Número	Carga Anual Transportada na rota(t)	Carga média transportada por cada chata(t)	Quantidade de chatas por rota
Três Lagoas (SP) – Anhembi (SP)	4	410980t	1500	274

Tabela 32 - Quantidade de chatas para a ponte Francisco Sá segundo o Cenário I

Ponte	Rotas que cruzam a ponte	Quantidade de chatas que cruzam a ponte
Ponte Ferroviária Francisco Sá	4	274

4.3.2 Cenário II

No documento intitulado “Relatório Anual de Operações do ano de 2013” a AHRANA divulga informações quantitativas sobre as embarcações, viagens e empresas que executaram o transporte de cargas na hidrovia Paraná, consta também nesse relatório uma informação bastante relevante para esse estudo é que no tramo norte, durante o ano de 2013, 1911 chatas fizeram alguma das três rotas possíveis no tramo norte enquanto viajavam carregadas. Como as duas pontes estão no caminho de todas essas três rotas, isso equivale dizer que 1911 chatas carregadas cruzaram as três pontes em um ano (no sentido São Paulo), e depois, retornaram descarregadas (no sentido Goiás).

Com o número de chatas carregadas é possível estimar a quantidade de média de carga que cada chata carregou, em valores médios.

O dado relativo ao número total de viagens, foi fornecido apenas para o tramo norte; para o tramo sul não há informações a respeito, por tanto, a título de informação, foram importados os dados do tramo norte para o tramo sul.

4.3.2.1 Cenário II – Tramo Norte

As Tabelas 33 e 34 ilustram os resultados dos cálculos obtidos para o Cenário II, tramo norte da hidrovia.

Tabela 33 - Rotas e Cargas avaliadas segundo o Cenário II do Tramo Norte

Rota	Número	Carga Anual Transportada na rota(t)
São Simão (GO) – Pedemeiras (SP)	1	1659813
São Simão (GO) – Santa Maria da Serra (SP)	2	261562
São Simão (GO) – Anhembi (SP)	3	526952
TOTAL		2448327

Tabela 34 - Chatas e cargas por ponte avaliadas segundo o Cenário II do tramo norte

Pontes	Rotas que cruzam a ponte	Carga total que cruza a ponte(t)	Número total de chatas que cruzaram a ponte no percurso de sentido São Paulo	Carga média por chata(t)
Ponte Rodoviária Porto Alencastro	1, 2, 3	2448327	1911	1282
Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg	1, 2, 3	2448327	1911	1282

Esse valor caracteriza o cenário II, cada uma das chatas que cruzaram as pontes do tramo norte tinham 1282 t de carga média .

4.3.2.2 Cenário II – Tramo Sul

O tramo sul não conta com as pesquisas realizadas no tramo norte, a AHRANA não realiza levantamento de quantidade de embarcações que fizeram os trajetos do tramo sul. Portanto, os valores de carga media por chata usados no tramo norte, foram importados para o tramo sul, a título de estimativa. Assim foram elaboradas as Tabela 35, 36, 37 e 38:

Tabela 35 - Quantidade de chatas e carga da rota 6 do tramo sul segundo o Cenário II

Rota	Número	Carga Anual Transportada na rota(t)	Carga média transportada por cada chata(t)	Quantidade de chatas por rota
Guáira (PR) - Santa Ter. Itaipu (PR)	6	166960	1282	131

Tabela 36 - Quantidade de chatas trafegantes sob a ponte Ayrton Senna sul segundo o Cenário II

Ponte	Número da rota que cruza a ponte	Quantidade de chatas que cruzam a ponte
Ponte Rodoviária Ayrton Senna	6	131

Tabela 37 - Quantidade de chatas da rota 4 do tramo sul segundo o Cenário II

Rota	Número	Carga Anual Transportada na rota(t)	Carga média transportada por cada chata(t)	Quantidade de chatas por rota
Três Lagoas (SP) – Anhembi (SP)	4	410980t	1282	320

Tabela 38 - Quantidade de chatas trafegantes da Ponte Francisco Sá segundo o Cenário II

Ponte	Número da rota que cruza a ponte	Quantidade de chatas que cruzam a ponte
Ponte Ferroviária Francisco Sá	4	320

Tabela 39 - Grandezas de dimensionamento para a ponte Porto Alencastro

Ponte Rodoviária Porto Alencastro													
Cenário I									Cenário II-b				
Ano	Comboio Tipo (número de chatas permitidas)	Comboio Tipo - Comprimento (m)	Comboio Tipo - Largura(m)	Carga de cada chata no cenário I	Quantidade de comboios no cenário I	Quantidade de chatas no cenário I	DWT por comboio tipo	Força de impacto (Mn)	Carga de cada chata no cenário II(t)	Quantidade de comboios no cenário II	Quantidade de chatas no cenário II	DWT por comboio tipo(t)	Força de impacto (Mn)
2013	6	200,50	22	1500	273	1634	9000	9,25	1282	319	1910	7692	8,56

Tabela 39 - Grandezas para dimensionamento para a ponte Roberto Rollenberg

Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg													
Cenário I									Cenário II				
Ano	Comboio Tipo (número de chatas permitidas)	Comboio Tipo - Comprimento (m)	Comboio Tipo - Largura(m)	Carga de cada chata no cenário I	Quantidade de comboios no cenário I	Quantidade de chatas no cenário I	DWT por comboio tipo	Força de impacto (Mn)	Carga de cada chata no cenário II(t)	Quantidade de comboios no cenário II	Quantidade de chatas no cenário II	DWT por comboio tipo(t)	Força de impacto (Mn)
2013	6	200,50	22	1500	273	1634	9000	9,29	1282	319	1910	7692	8,50

Tabela 40 - Grandezas para dimensionamento para a ponte Francisco Sá

Ponte Ferroviária Francisco Sá													
Cenário I									Cenário II				
Ano	Comboio Tipo (número de chatas permitidas)	Comboio Tipo - Comprimento (m)	Comboio Tipo - Largura(m)	Carga de cada chata no cenário I	Quantidade de comboios no cenário I	Quantidade de chatas no cenário I	DWT por comboio tipo	Força de impacto (Mn)	Carga de cada chata no cenário II(t)	Quantidade de comboios no cenário II	Quantidade de chatas no cenário II	DWT por comboio tipo(t)	Força de impacto (Mn)
2013	2	137	11	1500	137	274	3000	5,34	1282	161	321	2564	4,94

Tabela 41 - Grandezas para dimensionamento da ponte Ayrton Senna

Ponte Rodoviária Ayrton Senna													
Cenário I									Cenário II				
Ano	Comboio Tipo (número de chatas permitidas)	Comboio Tipo - Comprimento (m)	Comboio Tipo - Largura(m)	Carga de cada chata no cenário I	Quantidade de comboios no cenário I	Quantidade de chatas no cenário I	DWT por comboio tipo	Força de impacto (Mn)	Carga de cada chata no cenário II(t)	Quantidade de comboios no cenário II	Quantidade de chatas no cenário II	DWT por comboio tipo(t)	Força de impacto (Mn)
2013	2	137	11	1500	56	112	3000	5,34	1282	66	131	2564	4,94

Essas tabelas relacionam a carga do comboio e a força lateral solicitante no pilar caso haja uma colisão.

Tanto o Método I quanto o Método II consistem em considerar as maiores embarcações da hidrovia, e dimensionar uma estrutura capaz de resistir à colisão dessas embarcações, esse método usualmente é aplicado em situações em que as embarcações são mais estratificadas, no caso da hidrovia as embarcações são muito semelhantes.

O ideal para a aplicação destes métodos é utilizar os dados de embarcações uma a uma; isto é; ter o registro de cada embarcação e seu valor de DWT. Nesse trabalho não foi possível obter os dados discretizados dos comboios que trafegam em cada ponte, por isso foram usados valores médios em todos os cenários. Assim, levando-se em consideração que devem ser dimensionadas as embarcações de modo a que tenham os maiores valores de DWT da hidrovia e que não é possível obter a distribuição de embarcações e valores de DWT, uma hipótese razoável é dimensionar de modo a considerar que as embarcações estejam trafegando com a capacidade total, tomando assim, o dimensionamento elaborado para chatas de 1500 t.

Por tanto, considerado um navio de projeto com valor de DWT igual a 1500t por chata, que é o máximo possível e assegura que o dimensionamento estará sendo feito para o pior cenário; mesmo quando não se sabe o valor da distribuição discretizada de embarcações.

Serão apresentados os dados para todos os cenários estudados, com o Cenário I sendo recomendado como boa estimativa.

Tabela 42 - Aplicação dos métodos I e II valendo-se do Cenário I (chatas á carga de 1500t, recomendado)

Ano	Ponte Porto Alencastro (Mn)	Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg (Mn)	Ponte Ferroviária Francisco Sá (Mn)	Ponte Rodoviária Ayrton Senna (Mn)
2013	9,26	9,26	5,35	5,35

Tabela 43 - Aplicação dos métodos I e II para o Cenário II

Ano	Ponte Porto Alencastro (Mn)	Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg (Mn)	Ponte Ferroviária Francisco Sá (Mn)	Ponte Rodoviária Ayrton Senna (Mn)
2013	8,56	8,56	4,94	4,94

Dessa forma, as Tabelas 42 e 43 indicam uma força horizontal que será aplicada á estrutura no caso de colisão.

4.4 Método III

O método III será calculado utilizando as equações de 2.4 a 2.12., de modo a computar o valor de P da fórmula 2.13, é esse valor que deverá constar no dimensionamento do sistema de proteção da ponte, ou no reforço dos pilares.

Uma observação importante é que os valores de força calculados são considerados como um valor adicional à ser somado aos originais, as pontes costumam ter uma resistência lateral mas ela provém da necessidade de resistir aos esforços das correntes náuticas.

Dessa forma, serão avaliados todos os fatores que influenciam no cálculo dessa força, bem como todas as probabilidades.

Ao calcular-se o valor de P.A. foram utilizados os seguintes dados fornecidos por Padovezi (2003)

Tabela 44 - Valores de corrente fluvial. Fonte: Padovezi (2003)

Ponte	Correntes paralelas (m/s)	Correntes perpendiculares (m/s)
Ponte Porto Alencastro	0,3	0
Ponte Roberto Rollenberg	0,3	0
Ponte Ayrton Senna	0,3	0
Ponte Francisco Sá	0,3	0

Durante o cálculo de PG também foram utilizados os valores para largura e comprimento dos pilares, conforme mostra a Tabela 45:

Tabela 45 - Larguras dos pilares/bloco.

Ponte	Largura do pilar(m)
Ponte Porto Alencastro	11,4
Ponte Roberto Rollenberg	2,2
Ponte Ayrton Senna	2,4
Ponte Francisco Sá	2,8

Ressaltando que para a ponte Porto Alencastro, no lugar do valor de largura do pilar, foi usado o valor de largura do bloco, tendo em vista que o bloco que participará de uma possível colisão, não o pilar, a Figura 38 ilustra uma foto do bloco.



Figura 38- Blocos da ponte Porto Alencastro. Fonte: www.paranapio.com

Serão apresentados valores de P.A. e P.G. para cada ponte.

Ponte Porto Alencastro

Probabilidade de perda de controle de navegação (P.A.)

Tabela 46 - Valor de Probabilidade de que a embarcação perca o controle

Ponte Porto Alencastro	Valores
Br	$1,22 \cdot 10^{-4}$
Rb	1,00
Rc	1,06
Rxc	1,00
Rd	1,00
P.A.	$1,22 \cdot 10^{-4}$

Probabilidade geométrica (P.G.)

Tabela 47 - Valor da probabilidade geométrica

Ponte Porto Alencastro	
Largura do Comboio (m)	22,00
Comprimento(m)	200,05
Pilar(m)	11,40
Vão(m)	320,00
Valor de X1	143,30
Valor de X2	176,70
P.G.	0,05

Ponte Roberto Rollenberg

Probabilidade de perda de controle de navegação (P.A.)

Tabela 48 - Valor da Probabilidade que o Navio perca o controle de Navegação

Ponte Roberto Rollenberg	Valores
Br	$1,22 \cdot 10^{-4}$
Rb	1,00
Rc	1,06
Rxc	1,00
Rd	1,00
P.A.	$1,22 \cdot 10^{-4}$

Probabilidade geométrica P.G.

Tabela 49 - Valor da Probabilidade geométrica

Ponte Roberto Rollenberg	
Largura do Comboio	22,00
Comprimento	200,05
Pilar	2,20
Vão	82,00
Valor de X1	28,90
Valor de X2	53,10
P.G.	0,05

Ponte Ayrton Senna

Probabilidade de perda de controle de navegação (P.A.)

Tabela 50 - Probabilidade de perda do controle de navegação

Ponte Ayrton Senna	Valores
Br	$1,22 \cdot 10^{-4}$
Rb	1,00
Rc	1,06
Rxc	1,00
Rd	1,00
P.A.	$1,22 \cdot 10^{-4}$

Probabilidade geométrica P.G.

Tabela 51 - Probabilidade Geométrica

Ponte Rodoviária Ayrton Senna	
Largura do Comboio(m)	11,00
Comprimento(m)	137,00
Pilar(m)	2,40
Vão(m)	46,00
Valor de X1(m)	16,30
Valor de X2	91,50
P.G.	0,20

Ponte Ferroviária Francisco Sá

Probabilidade de perda de controle (P.A.)

Tabela 52 - Probabilidade que o navio perca o controle

Ponte Ferroviária Francisco Sá	
Largura do Comboio(m)	11,00
Comprimento(m)	137,00
Pilar(m)	2,40
Vão(m)	46,00
Valor de X1(m)	16,30
Valor de X2	91,50
P.G.	0,20

Probabilidade geométrica P.G.

Tabela 53 - Probabilidade geométrica

Ponte Ferroviária Francisco Sá	
Largura do Comboio(m)	11,00
Comprimento(m)	137,00
Pilar(m)	2,80
Vão(m)	180,00
Valor de X1	83,10
Valor de X2	158,50
P.G.	0,15

4.5 Cálculo da força lateral Solicitante

Dessa forma foram aplicadas as fórmulas de modo a isolar o valor da força H; obteve-se os seguintes valores de H, de acordo com a ponte e o cenário de previsão. É pra esse valor que a ponte deverá ser dimensionada.

4.5.1 Ponte Porto Alencastro

Tabela 54 - Valor da força lateral solicitante para o cenário Crítico e para a ponte Porto Alencastro

Cenário Crítico		
Ponte Porto Alencastro		
Força lateral solicitante (Mn)		
Ano	Cenário I	Cenário II
2013	0,97	0,90

Tabela 55 - Valor da força lateral solicitante para cenário não Crítico e para a ponte Porto Alencastro

Cenário não Crítico		
Ponte Porto Alencastro		
Força lateral solicitante (Mn)		
Ano	Cenário I	Cenário II
2013	0,41	0,46

4.5.2 Ponte Rogério Rollenberg

Tabela 56 - Valor da força lateral solicitante para cenário Crítico e para a ponte Rogério Rollenberg

Cenário Crítico		
Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg		
Força lateral solicitante (Mn)		
Ano	Cenário I	Cenário II
2013	1,01	0,96

Tabela 57 - Valor da força lateral solicitante para cenário não Crítico e para a ponte Roberto Rollenberg

Cenário não Crítico		
Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg		
Força lateral solicitante (Mn)		
Ano	Cenário I	Cenário II
2013	0,92	0,40

4.5.3 Ponte Rodoviária Ayrton Senna

Tabela 58 - Valor da força lateral solicitante para cenário não Crítico e para a ponte Ayrton Senna

Cenário Crítico		
Ponte Rodoviária Ayrton Senna		
Força lateral solicitante (Mn)		
Ano	Cenário I	Cenário II
2013	0,57	0,51

Tabela 59 - Valor da força lateral solicitante para cenário não Crítico e para a ponte Ayrton

Senna

Cenário não Crítico		
Ponte Rodoviária Ayrton Senna		
Força lateral solicitante (Mn)		
Força lateral solicitante		
Ano	Cenário I	Cenário II
2013	0,38	0,22

4.5.4 Ponte Ferroviária Francisco Sá

Tabela 60 - Valor da força lateral solicitante para cenário Crítico e para a ponte ferroviária Francisco Sá.

Ponte Ferroviária Francisco Sá Ponte		
Cenário não Crítico		
Força lateral solicitante (Mn)		
Ano	Cenário I	Cenário II
2013	0,58	0,54

Tabela 61 - Valor da força lateral solicitante para cenário não Crítico e para a ponte Francisco Sá

Cenário não Crítico		
Ponte Ferroviária Francisco Sá		
Força lateral solicitante		
Ano	Cenário I	Cenário II
2013	0,48	0,46

Essas tabelas ilustram a força que deverá ser dimensionada para resistir aos esforços de colisão com embarcações.

5 DISCUSSÕES

5.1 Melhoria do valor de desvio da distribuição normal

A formulação da probabilidade geométrica foi elaborada pela AASHTO (1991) baseada em estatísticas de acidentes compilados durante um período de tempo. Alguns dos dados que serviram de base para a compilação dessa formulação foram apresentados e pode-se perceber que em quase todos os casos o comprimento do vão da ponte era maior do que o comprimento da embarcação.

Essa formulação atende bem esses casos, mas nos casos em que a embarcação tem o comprimento maior do que o vão da ponte, aparentemente, algumas distorções aparecem, pois, segundo essa formulação, uma embarcação com um grande comprimento deverá, para as mesmas características de ponte e hidrovía, ter uma probabilidade menor de colapso, enquanto na verdade, o que ocorre seria o inverso, quanto maior a embarcação, mais difícil a travessia fica e, portanto, maior é a probabilidade geométrica.

Uma forma de se avaliar essas distorções causadas pela metodologia é através do cálculo da probabilidade geométrica

5.2 Acidentes com chatas vazias em pontes

Existe um grande número de chatas na hidrovía que faz a viagem de volta sem carga. Essas embarcações tem uma abordagem diferente em relação às demais chatas tendo em vista que são mais leves e suscetíveis às influências dos ventos.

A tabela foi apresentada por Padovezi (2003) e lista os acidentes ocorridos na hidrovía.

São dados compilados entre os anos de 1994 e 1998.

Tabela 82 - Acidentes nas pontes da hidrovía Tietê-Paraná 1994-1998. Fonte Padovezi (2003)

Ponte	Vão (m)	Comboio	Calado	Condições ambientais	Data/hora
SP-333	34,1	2 x 2	Vazio	Vento forte	2/9/94 1:00h
SP-425	31,3	2 x 2	1/3 de carga	Vento forte	15/9/94 11:45h

BR-153	40,8	2 x 2	Vazio	Chuva, vento, correnteza	4/11/94 20:30h
BR-153	40,8	1 x 2	Vazio	Correnteza forte	16/1/96 15:15h
BR-153	40,8	1 x 2	Vazio	Vento e correnteza	23/9/98 14:00h
SP-147	25,0	1 x 3	Carregado	Correnteza forte	14/1/95 8:20h
SP-147	25,0	1 x 3	Carregado	Vento e correnteza	10/10/95 19:30h
SP-463	35,0	1 x 2	Carregado	Vento e correnteza	16/10/95 Noite
SP-463	62,3	1 x 2	Vazio	Vento forte	4/4/99 18:00h
SP-225	33,7	1 x 2	Vazio	Mudança de direção de vento	23/4/99 1:30h
SP-595 SJD	35,0	1 x 2	Vazio	Vento forte / mudança direção	7/4/97 0:00h
SP-595 SJD	35,0	1 x 2	Vazio	Vento forte	10/9/99
Santa Fé do Sul	100,0	2 x 2	Vazio	Mudança de direção de vento	22/3/98 3:40h

Infelizmente não foi possível a construção de uma tabela de dados de acidentes atualizada, tendo em vista que esse é um estudo de inquéritos de acidentes, é restrito à AHRANA.

Baseado nos dados disponíveis pode-se verificar a influência negativa da chata ao trafegar vazia, pois 69% dos acidentes relatados ocorreram com essas embarcações.

As colisões com chatas vazias tendem a ser menos danosas, pois tem uma massa menor, e, conseqüentemente, uma menor energia cinética, mas costumam ter uma maior frequência de ocorrência e assim, uma metodologia para avaliar um acréscimo na força lateral resistente do pilar é necessária.

As metodologias apresentadas nesse trabalho não são aplicáveis quando se trata de chatas vazias, pois em todos os casos, o cálculo é feito utilizando-se do valor de DWT. Uma forma de analisar essa influencia é através do método da energia cinética: calcula-se a energia cinética para uma determinada embarcação composta de chatas vazias e dimensiona-se essa energia ao pilar de modo á resisti-la.

O problema com esse método é que por ele ser um método determinístico ;assim como os Métodos I e II apresentados, ele tende a dar esforços maiores não adaptados às características da hidrovía.

Quando a AASHTO elaborou o Método III um fator de multiplicação para balsas foi calculado, como uma forma de elaborar uma metodologia aceitável para considerações sobre o efeito de colisões com chatas vazias seria a elaboração desse fator aplicado ao tráfego de chatas vazias o que representaria um grande acréscimo para as metodologias.

Uma outra forma de estimar a frequência de colisões de chatas vazias com o pilar seria utilizando o número anual de colapso esperado pelo Método III, para chatas cheias e multiplicando por um fator que representa a proporção de colisão chatas vazias que colidiriam em relação às chatas cheias. Nos dados citados na tabela acima essa proporção é de 2,22.

Lembrando que é um fator estatístico, por isso seria necessárias uma amostra maior para definir esse coeficiente, Portanto a aplicação desse coeficiente é de baixa confiabilidade devido à amostra ser pequena e possivelmente causar distorções

6 CONCLUSÕES

Como conclusão desse trabalho, pode-se constatar como os estudos sobre proteção de pilares são proveitosos para o período de dimensionamento da ponte, fatores que antes teriam pouca metodologia para ser analisados, como por exemplo, a influência do vão da ponte no tráfego fluvial, passa a ter uma quantificação, tornando o projetista capaz de integrar o projeto da rodovia ou ferrovia a as características da hidrovia.

Com relação á etapa de dimensionamento de vãos, através da metodologia utilizada para determinar a probabilidade geométrica, fornece uma estimativa de boa qualidade sobre qual será o valor ideal para o vão. A ANTAQ considera o comprimento de 80 metros como uma faixa pra navegação fluvial. Para os casos de rios com restrições (a exemplo daqueles com presença de ponte) esse valor pode ser muito pequeno para garantir o tráfego fluvial e a segurança da estrutura.

Um outro fator que foi evidenciado, foi o fato da restrição de dados disponíveis para análise. Os dados são essenciais para o projeto de um sistema de proteção que alie segurança e economia, e a dificuldade de acesso á esses dados compromete a elaboração de projetos compatíveis do ponto de vista estrutural da ponte e operacional da hidrovia.

Quanto da obtenção dos dados, vale ressaltar que não podem ser considerados como uma despesa para o poder público, pois são investimentos na segurança das pontes. Falhas nessas estruturas, podem ser responsáveis por prejuízos econômicos e sociais.

Com relação às estimativas feitas no trabalho, foram utilizados dois métodos muito semelhantes , o Método I e Método II , entretanto recomenda-se dimensionar utilizando os valores para o pior caso , que seria o Método I, chatas trafegando á 1500 toneladas, o que resultaria em um resultado indicado na Tabela 61, reproduzida abaixo:

Tabela 63 - Aplicação dos métodos I e II

Ano	Ponte Porto Alencastro (Mn)	Ponte Rodoferroviária Roberto Rollemberg (Mn)	Ponte Ferroviária Francisco Sá (Mn)	Ponte Rodoviária Ayrton Senna (Mn)
2013	9,26	9,26	5,35	5,35

Quando comparados estes valores com os resultados obtidos pela aplicação do método III, observa-se uma diminuição significativa dos valores de força lateral solicitante conforme será mostrado na Tabela 64

Tabela 64 - Valor da força lateral solicitante para todas as pontes; valores em Mega Newtons.

Cenário	Situação	Ponte Porto Alencastro	Ponte Roberto Rollemberg	Ponte Ayrton Senna	Ponte Francisco Sá
Cenário I	Crítico	0,97	1,01	0,57	0,58
	Não crítico	0,41	0,92	0,38	0,48
Cenário II	Crítico	0,9	0,96	0,51	0,54
	Não crítico	0,46	0,40	0,22	0,46

Dessa forma, foi confeccionado um ábaco que relaciona as grandezas pertinentes. Foram multiplicados os valores de número de embarcações, probabilidade de que o navio perca o controle e probabilidade geométrica e chamado de grupo 1, dessa forma, com a escolha do peso da embarcação tipo, selecionam-se as curvas relevantes e, com uma reta, chega-se ao valor de força lateral solicitante no eixo y em Kn. Esses cenários foram traçados para situações não críticas e críticas, conforme mostram as figuras 39 e 40.

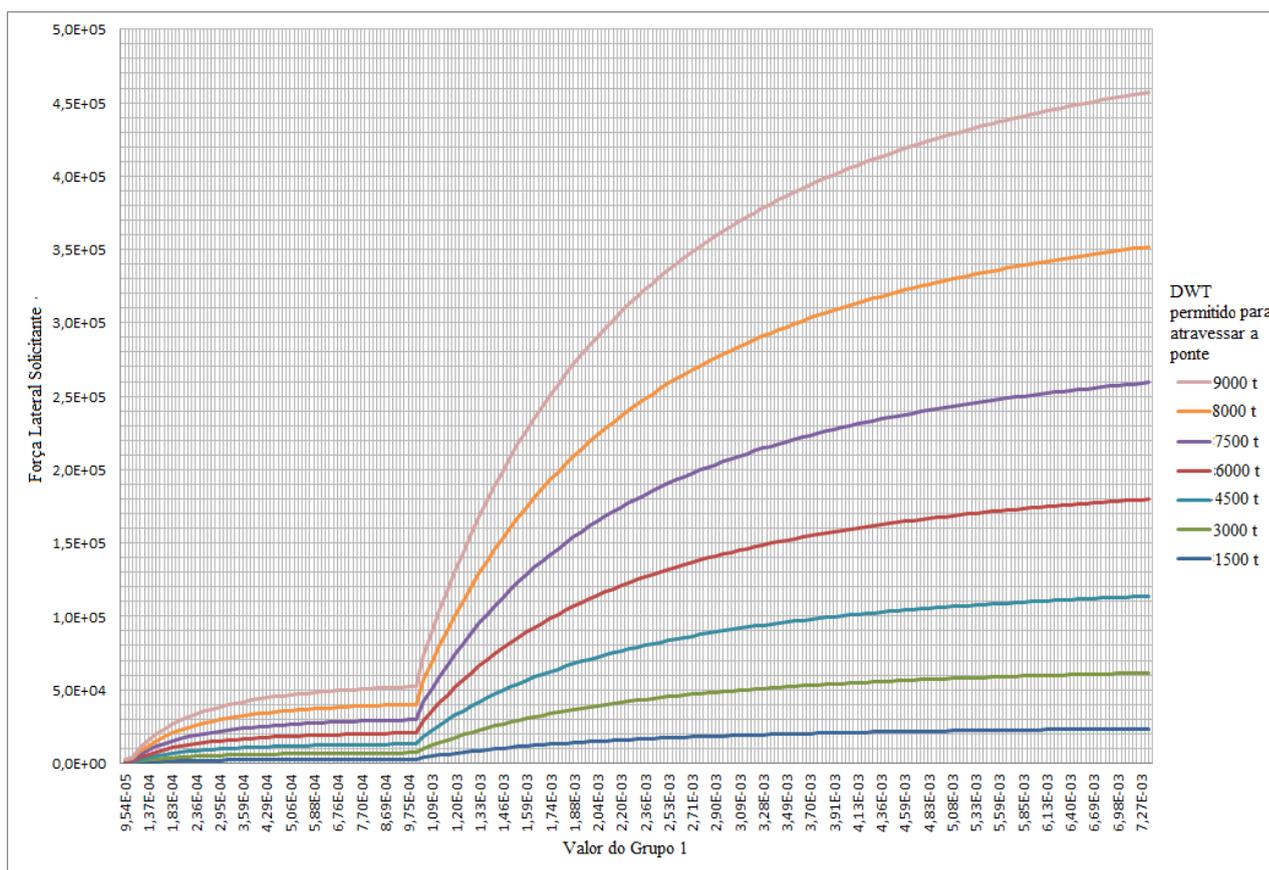


Figura 39- Gráfico relacionando a força lateral solicitante do cenário não crítico da hidrovía Paraná

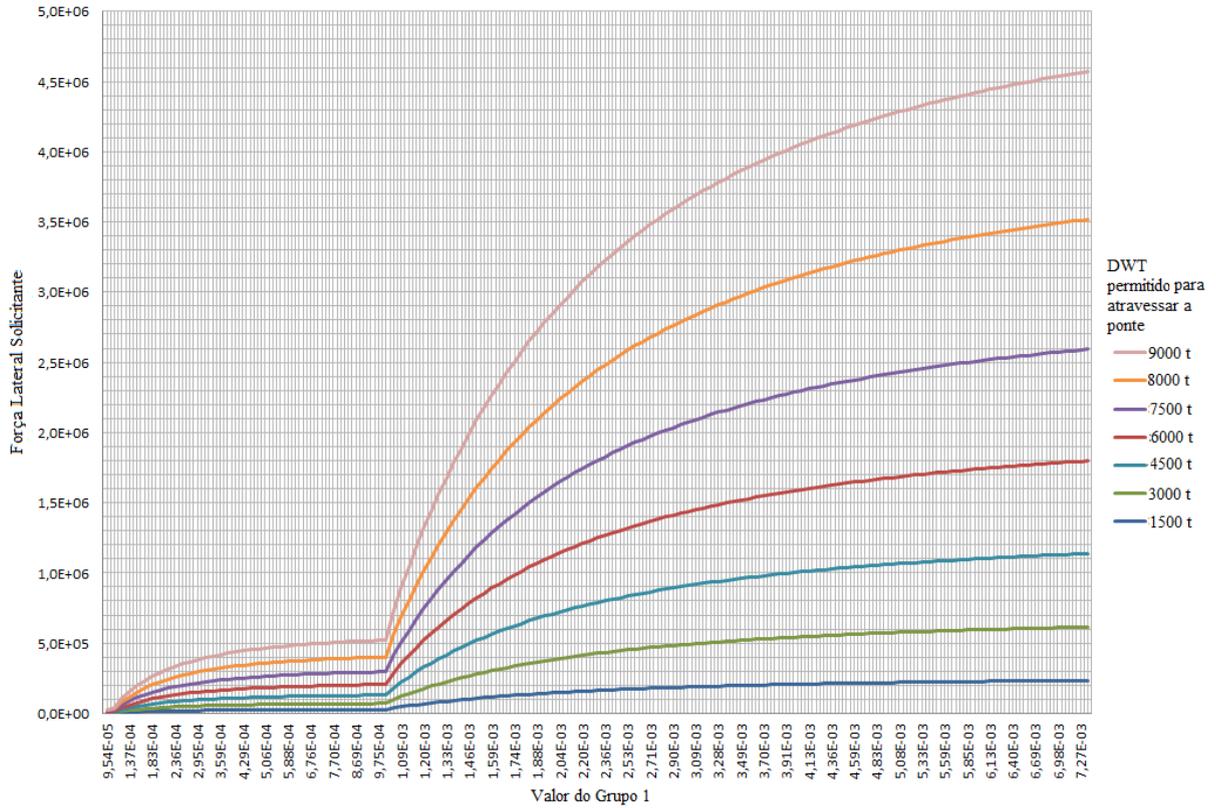


Figura 40- Gráfico relacionando a força lateral solicitante do cenário crítico da hidrovía Paraná

7 BIBLIOGRAFIA

AASHTO, "Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges", Vol. I, Final Report, Washington DC, February 1991.

AASHTO, "Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges", Vol. I, Final Report, Washington DC, February 2012.

BRASIL, AHRANA, . **Relatório de dados operacionais**: ano 2013. [S.L.: s.n.], .BRASIL, BRASIL, ANTAQ, . **Evta**. [S.L.: s.n.], 2013.

DIÁRIO ONLINE. **Ponte no rio mojú desaba**. Disponível em: <www.diarioonline.com>. Acesso em: 11 mai.

BRASIL. DNIT, Brasil. **Pedido de acesso á informação**. [S.L.: s.n.],

BRASIL, AHRANA. **Dados operacionais**. [S.L.: s.n.], 2009.AHRANA

BRASIL, AHRANA. **Dados operacionais**. [S.L.: s.n.], 2010.AHRANA

BRASIL, AHRANA. **Dados operacionais**. [S.L.: s.n.], 2011.AHRANA

BRASIL, AHRANA. **Dados operacionais**. [S.L.: s.n.], 2012.AHRANA

BRASIL, AHRANA. **Dados operacionais**. [S.L.: s.n.], 2013.AHRANA

BRASIL. DNIT. **K**. Disponível em: <www.dnit.org>. Acesso em: 03 mai. 2016.

BRASIL. **Normas de operacao**. [S.L.: s.n.], 2013.

AMORIM, et al. PROJETO ONDISA: : HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ: ALERTA DE VENTO E ONDAS PARA SEGURANÇA DA

NAVEGAÇÃO.**Http://www.ipinamericas.org**, [S.L.], abr. 2009. Disponível em: <[http://www.ipinamericas.org/sites/ba_viejo/downloads/XXII/trabajos/187%20-%20Tozzi%20M%20COMPLETO%20\(Brasil\).pdf](http://www.ipinamericas.org/sites/ba_viejo/downloads/XXII/trabajos/187%20-%20Tozzi%20M%20COMPLETO%20(Brasil).pdf)>. Acesso em: 17 mai. 2016.

BS 6349-1, Maritime structures. Code of practice for general criteria. British Standards Institution, 2000

DAI Tong-yu, NIE-Wu "Overview of the vessel bump bridge accident"; Communications Science and Technology Heilongjiang; 2003-02

Derucher, K.N., Heins, C.P., "Bridge and Pier Protective Systems," Marcel Dekker, Inc., New York, 1979.

Englot, J.P., "Collision Protection of Arthur Kill Bridges," New York ASCE Section Structures Conference Proceedings, ASCE, May 1988.

FERREIRA, A. N. (2000) **Estudo do efeito de acidentes na hidrovía Tietê- Paraná: Aspectos Preventivos**. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo: 2000, 168p.

Greiner Engineering Sciences, Inc., "Study of Pier Protection Systems for Bridges," prepared for Maryland Transportation Authority, Baltimore, Maryland, 1983.

Heming, W.C., "Fendering Problems in the Third Coast Guard District," Bridge and Pier Protective Systems and Devices Conference Proceedings, Stevens Institute of Technology, December, 1981.

Knott; M "Pier Protection System for the Sunshine Skyway Bridge Replacement," Proceedings at Third Annual International Bridge Conference, Pittsburgh, Pennsylvania, June 2-4, 1986.

Kuesel, T.R., "Newport Bridge Collision," IABSE Colloquium, Preliminary Report, pp. 21-28, 1983.

Lampo, R., et al. 1998. "Development and demonstration of FRP composite fender, load-bearing, and sheet piling systems". USACERL Technical Report 98/123.

Maher, M.H., Gucunski, N, and Chae, Y.S., (1996), "Composite Fender and Sheet Piles in Marine Front Systems," in the Proceedings of First International Conference on Composites in Infrastructure, National Science Foundation, pp 665-675.

Matsuzaki, Y., Jin, H., "Design Specification of Buffer Structure," IABSE Colloquium, Preliminary Report, pp. 345-352, 1983.

Namita, Y., Nakanishi, H., "Analysis of Framed Buffer Structure Around Bridge Pier,"

IABSE Colloquium, Preliminary Report, pp. 319-326, 1983.

Ostenfeld, C., "Ship Collisions Against Bridge Piers," Publications IABSE, pp. 233-277, 1965.

PADOVEZI, C. D., CALTABELOTI, "O Sistema flutuante de proteção de pilares de pontes junto a rotas de navegação" In: 2o. Seminário Nacional de Transporte Hidroviário Interior, 2001, Jaú - SP. 2o. Seminário - SOBENA - Proceedings., 2001.

PARANAPIO. **Pontes parana**. Disponível em: <www.paranapio.com>. Acesso em: 19 mai. 2016.

Parker, N. and Ansari, F. (2003) "Energy Absorbing Fender Systems" Report to NJDOT .

Patev, R.C., (1999), "Full-Scale Barge Impact Experiments," Transportation Research Circular, Issue 491, pp. 36-42.

PIANC (2002), "Report of the International Commission for Improving the Design of

Rama, H.E., "Pier Protection of Staten Island," Bridge and Pier Protective Systems and Devices Conference Proceedings, Stevens Institute of Technology, pp. 125-129, December, 1981.

Tambs-Lyche, P., "Vulnerability of Norwegian Bridges Across Channels", IABSE Colloquium, Preliminary Report, pp. 47-56, 1983.

U.S. Coast Guard, "Bridge Protection Systems and Devices - Final Report," U.S.C.G. Office of Navigation, Report No. CG-N-1-81, 1981.

Volk, R.J., (1996), "Composites in Civil Infrastructure and Marine Applications," Proceedings of the First International Conference on Composites in Infrastructure, National Science Foundation, pp. 1115-25.

Yazdani, N., Wuttrich, R., Wekezer, J., and Wilson, C. (2000), "Investigation of Fender Systems for Vessel Impact," Report No. 1902-137-11, Florida Department of

Yazdani, N., Wuttrich, R., Wekezer, J., and Wilson, C. (2000), "*Investigation of Fender Systems for Vessel Impact*," Report No. 1902-137-11, Florida Department of

Yiu, C., "Innovative Fender Design," Bridge and Pier Protective Systems and Devices Conference Proceedings, Stevens Institute of Technology, pp. 161-174, December, 1981.