



XIV Congresso Brasileiro  
de Pontes e Estruturas

## **Avaliação das Forças de Impacto de Balsas ou Barcaças em Estruturas de Proteção das Pontes em Rios Navegáveis do Pará**

**Evelly Beatriz da Paixão Silva<sup>1</sup>, Pedro Afonso de Oliveira Almeida<sup>2</sup>, Ana Carolina de Pádua Lisboa e Santos<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Tecnológicas / LSE – Laboratório de Sistemas Estruturais / Engenharia /  
evellybeatriz.10@gmail.com

<sup>2,3</sup> Escola Politécnica da USP, Universidade UNAMA / Escola Politécnica da USP, LSE – Laboratório de  
Sistemas Estruturais / Poli, Engenharia / palmeida@usp.br, anacarolina.santos@lsetech.com.br

### **Resumo**

Os sistemas de proteção contra impactos de embarcações em pilares de pontes são essenciais para garantir a integridade estrutural das pontes e a segurança dos usuários, evitando a ruína de suportes ou o colapso de partes ou de toda a estrutura da ponte, garantindo assim sua funcionalidade e prolongando sua vida útil. Essas estruturas têm suas especificidades e a definição do tipo de proteção a ser adotada e seu dimensionamento devem levar em consideração as condições da região. Nas normatizações brasileiras, há critérios e especificações de projeto que contemplam os vãos navegáveis considerando a largura das embarcações, que tem sido insuficiente para navegação na região de pontes que cruzam canais/rios navegáveis no Pará, Região Norte do Brasil. Ao avaliar os acidentes ocorridos no Pará, verifica-se que esses critérios são insuficientes para proteger as estruturas das pontes dos graves acidentes ocorridos nos últimos 10 anos.

### **Palavras-chave**

Proteção; ponte; navegação; impactos; estrutural.

### **Introdução**

As pontes são ativos de infraestrutura rodoviária que requerem grandes investimentos para sua construção e, recentemente, sua vida útil de projeto foi estendida para pelo menos 100 anos, conforme referenciado na norma ISO 2394 (functionality and durability in this useful life period with low-cost investments). Dentre os riscos envolvidos em pontes que cruzam rios navegáveis, os impactos de barcos ou barcaças em apoios são as ações mais críticas. A mitigação dessas ações passa pelo dimensionamento do sistema estrutural da ponte ao especificar os gabaritos de navegação, o que reduz a probabilidade de impacto e pelo dimensionamento de defensas adequadas com resiliência e robustez para garantir a minimização das energias cinéticas nas estruturas da ponte. Portanto, nesta investigação, serão avaliados sistemas de proteção contra impactos de embarcações em pilares de pontes essenciais para garantir a segurança estrutural e a segurança dos usuários, evitando a ruína dos apoios ou o colapso de partes ou de toda a estrutura da ponte. Desta forma, neste trabalho, foram investigadas as estruturas de proteção das pontes e aspectos relevantes dos acidentes ocorridos nos últimos 10 anos na região do Pará. Além disso, os critérios e pressupostos da AASHTO utilizados na reconstrução da ponte sobre o rio Moju também foi estudada.

Os resultados desta investigação são sistematizados em relação às pontes construídas ou planejadas na região do Pará, em particular na malha viária.

## **Sistemas estruturais de pontes envolvidos em acidentes nos últimos 10 anos na região do Pará**

Dentre os acidentes ocorridos ao longo dos anos em pontes na região Norte do Brasil, percebe-se que as principais causas físicas estão fortemente relacionadas ao vão livre (navegável) do canal de navegação definido para cada região, às condições ambientais adversas (exceções de ações), as dificuldades de manobra das embarcações ou a falta de qualificação das tripulações e deficiências dos empurradores, principalmente.

Neste trabalho, foram considerados apenas os acidentes mais relevantes ocorridos nos últimos 10 anos na região.

### **Colapso da Ponte Moju Cidade**

Em março de 2014, parte da ponte Moju Cidade sobre o Rio Moju colapsou após a colisão de uma barcaça com um dos pilares da estrutura. Cerca de 50m do comprimento da estrutura foram destruídos, incluindo o pilar de sustentação dos dois vãos, Figura 1.

A ponte Moju Cidade também faz parte do complexo viário da Alça Viária, que liga a capital ao interior do estado. A estrutura tinha cerca de 60m no vão principal (gabarito de navegação) e os vãos não navegáveis tinham 40m de largura. A embarcação envolvida no acidente tinha 60m de comprimento e 12m de largura, com aproximadamente 900 toneladas de carga, pode-se considerar que a velocidade segura não foi determinada com as características da região, gerando grande energia de impacto devido ao choque, que não foi dissipada antes de atingir os pilares devido à falta de dispositivos de proteção. A causa raiz do colapso parcial da ponte foi a falta de robustez do sistema de defensas da ponte.

### **Colapso da Ponte sobre o Rio Moju Alça (hoje Ponte União)**

No dia 06 de abril de 2019, a Ponte sobre o Rio Moju, que fica no km 48 do maior anel viário do Norte do Brasil, denominado Alça Viária, colapsou após a colisão de uma barcaça com o pilar do vão central levando ao rompimento parcial da estrutura, Figura 2. Com o impacto no pilar central (gabarito de navegação), ruíram cerca de 264m da estrutura da ponte (pilares e tabuleiro), interrompendo totalmente o fluxo da rodovia.

Segundo o LSE Engenharia - Laboratório de Sistemas Estruturais, empresa contratada para realizar a avaliação do acidente, a causa física relevante foi o impacto da balsa no pilar de sustentação do AP7. Esse impacto ocorreu na maré alta quando a proa da barcaça atingiu diretamente o pilar de sustentação do AP7, onde não havia proteção para resistir a essa força dinâmica.

Desta forma, considerando que a energia transferida no impacto correspondeu no mínimo à velocidade da maré e mais à velocidade de cruzeiro da balsa, da ordem de 10m/s, esta energia foi absorvida diretamente pela ruptura da parede do encontro da ponte. A massa da embarcação era da ordem de 800.000 kg.

Considerando que na data do impacto a ponte estava desprovida das defensas originais instaladas, portanto, não possuía sistema de proteção, o que resultou em colisão direta com os pilares da estrutura. A ponte original foi inaugurada em 2002, com sistema estrutural do tipo misto, aço e concreto, com canal de navegação de 60m e altura aérea de 22m.

Em seguida, a ponte foi reconstruída como uma ponte estaiada com dois canais de navegação com 134m x 22m de altura. Além disso, foram instaladas 3 defensas flutuantes para proteger os dois canais de navegação.

### **Colapso do pilar da Ponte Enéas Pinheiro - Outeiro**

A ruína do pilar lateral do vão de navegação da ponte do Outeiro (hoje chamada de Primeira Ponte do Outeiro) ocorreu na manhã do dia 17 de janeiro de 2022, após o impacto de uma balsa. O colapso do apoio AP4 provocou um aumento imediato do vão principal da ponte, de 60m para 100m, sem que o tabuleiro desabasse neste vão central, Figura 3.

A ponte tem 350m de comprimento, com uma viga contínua no vão central com vão variável de (40m+60m+40m) totalizando 140m, sobre 4 apoios e um vão navegável de 60m. Construído em 1986,

com cerca de 36 anos de serviço, foi totalmente interditado após o último acidente ocorrido em janeiro de 2022. Destaca-se que em inspeções realizadas em anos anteriores, em 2020, por exemplo, já existiam indícios significativos de impactos tanto nos blocos quanto nas vigas do tabuleiro da ponte. Esta situação decorre da baixa altura aérea, atualmente com 12m de altura na maré média, e da estreita altura horizontal em torno de 50m de vão útil, com vão teórico de 60m (distância entre os eixos dos apoios).

Também deve ser notado que originalmente os suportes da ponte tinham defensas fixas fixadas diretamente nos blocos da ponte. Essas defensas estão completamente danificadas devido à grande ocorrência de impacto, pois há uma intensa navegação no canal. Após o choque, o uso da ponte, assim como o tráfego hidroviário, foi interrompido por ser uma região com grande fluxo de barcaças.

### **Sistema de proteção aplicado em pontes**

Normalmente, as defensas fixas são constituídas por proteções de estacas ou blocos ou elementos de ponte projetados com capacidade de absorção total de choques, protegendo os pilares envolvidos. Em situações de grandes canais, as defensas fixas são idealizadas como pequenas ilhas de contenção ao redor de todo o pilar. Isso se deve principalmente ao porte dos navios ou barcaças que circulam com frequência nesses canais, esse tipo de defesa foi utilizado na ponte sobre o rio Moju Cidade, Figura 4.

O método de proteção com defensas flutuantes é uma opção vantajosa para rios com maiores profundidades, o que torna este tipo de proteção economicamente viável. Por outro lado, dada a geometria das defensas flutuantes, a desvantagem é a redução significativa do canal de navegação, aumentando a exposição das defensas aos impactos das balsas, tipo de proteção utilizada na ponte sobre o rio Moju Alça, Figura 5.

Após os acidentes nas pontes no Pará, durante a reconstrução foi aplicado o sistema de proteção de pilares de vão navegável. No vão da ponte Éneas Pinheiro, o sistema de defensas não será utilizado nos pilares centrais devido à largura do vão.

### **Aspectos gerais das forças de impacto decorrente dos modos de navegação sobre as pontes**

Considerando que qualquer estrutura construída em regiões navegáveis representa um risco para navios, barcos ou barcaças e é vulnerável a danos ou destruição em eventos de impacto. Entre as mais relevantes estão as pontes que cruzam rios ou canais de acesso a estruturas portuárias, por exemplo. Pontes são estruturas idealizadas e projetadas para resistir preferencialmente às forças induzidas por ações dinâmicas, principalmente as forças dinâmicas verticais de uso produzidas por veículos rodoviários, trens ou pessoas no caso de passarelas.

Entretanto, outras ações variáveis além das cargas acidentais dos veículos (denominadas pelas normas brasileiras como cargas acidentais) atuam nas pontes de forma simultânea ou isolada, mas de natureza diferente. Dentre essas ações, as mais relevantes são as cargas de vento e impacto nos pilares ou blocos da estrutura.

AASHTO LFRD (2004) na seção 3.14 Colisão de Embarcações, trata das forças de impacto no projeto de pontes na subseção 3.14.14 “Aplicação da Força de Impacto”, considerando Projeto de Infraestrutura, Projeto de Superestrutura e proteção de infraestrutura e mesoestruturas.

Desta forma, a ASHTO (2004) considera que todos os elementos de uma ponte que atravessa um leito navegável, com profundidade mínima de 60 cm, devem ser dimensionados para resistir a uma força de impacto decorrente dos modos de navegação.

A força mínima de projeto de impacto para a infraestrutura e mesoestruturas deve ser determinada usando uma barcaça vazia navegando a uma velocidade base a ser determinada pelo projetista ou proprietário do ativo.

A defesa fixa típica descrita pela AASHTO é uma estrutura que envolve as estruturas de apoio, do tipo falsa elipse, de grande diâmetro, constituída por estacas do tipo chapa metálica, cravadas no solo a uma certa profundidade e o interior preenchido com material granular, como areia, cascalho (mais usado) ou concreto, com uma laje rígida de concreto armado por cima. Uma demonstração de uma defesa típica está contida na Figura 6. Também é possível utilizar, no perímetro das defensas, no

lugar das pranchas metálicas, uma laje de concreto armado. Desta forma, a defesa pode ser apoiada em um bloco de concreto resistente.

As defensas flutuantes são utilizadas em grandes pontes em todo o mundo, pois são excelentes absorvedoras de energia cinética de navios ou barcas e garantem excelente proteção às pontes, conferindo robustez aos suportes da estrutura. A velocidade de cálculo a ser considerada na força de impacto está correlacionada com a velocidade típica da embarcação que circula no canal, a distância do pilar ao eixo do canal de navegação e o comprimento total da barca (AASHTO). No diagrama da Figura 7, é mostrada a relação entre a velocidade de impacto de cálculo e a distância do pilar à linha central do canal de navegação.

### **Considerações sobre as premissas aplicadas no projeto de ponte**

Nos projetos de pontes, além dos riscos aceitáveis de colapso ou ruína parcial da ponte, devem ser considerados o tamanho do vão navegável, a altura dos vãos definidos como gabarito de navegação e a frequência de uso do canal. Abaixo são considerados os mais relevantes para o dimensionamento e determinação de esforços de pontes no norte do Brasil, citados por LARSEN, O. D. Colisão de navios com pontes – IABSE – Structural Engineering Documents, 1993.

A área mais importante sujeita a risco de impacto de barcos/navios com a ponte é a região próxima ao canal de navegação. Portanto, o layout da ponte nesta região deve ser projetado para maximizar os vãos de navegação horizontal e vertical. LARSEN, 2004, descreve nas seções 2.4 e 2.5 regras empíricas a fim de garantir que os vãos ou aberturas de navegação sejam suficientes para proporcionar passagem segura em condições normais de uso.

Considerando a experiência prática internacional, a bitola vertical nos vãos de navegação de uma ponte atravessando um canal navegável deve ser projetada para admitir a passagem de embarcações altas (incluindo equipamentos como mastros, antenas, etc.) utilizando as características de uso do canal durante projeto de ponte. Para isso, são realizadas consultas públicas a fim de identificar os tipos de concessionárias e modos de laser que operam o canal. O desnível deve permitir a passagem da embarcação mais alta em condição de lastro no nível d'água de referência (maré).

A dispersão das dimensões verticais é considerável, conforme ilustrado na Figura 8. A figura mostra as alturas das chaminés das embarcações em relação ao DWT correspondente. Parece que mesmo para embarcações pequenas (ou de baixo DWT) as alturas são consideráveis e há um alto risco de danos às pontes durante o impacto na superestrutura (principalmente vigas do tabuleiro).

Visando solucionar a definição do gabarito aéreo de navios e embarcações no mar do Norte, segundo LARSEN (2004) houve um acordo internacional entre os governos da Finlândia e Dinamarca estabelecendo altura livre até 65m.

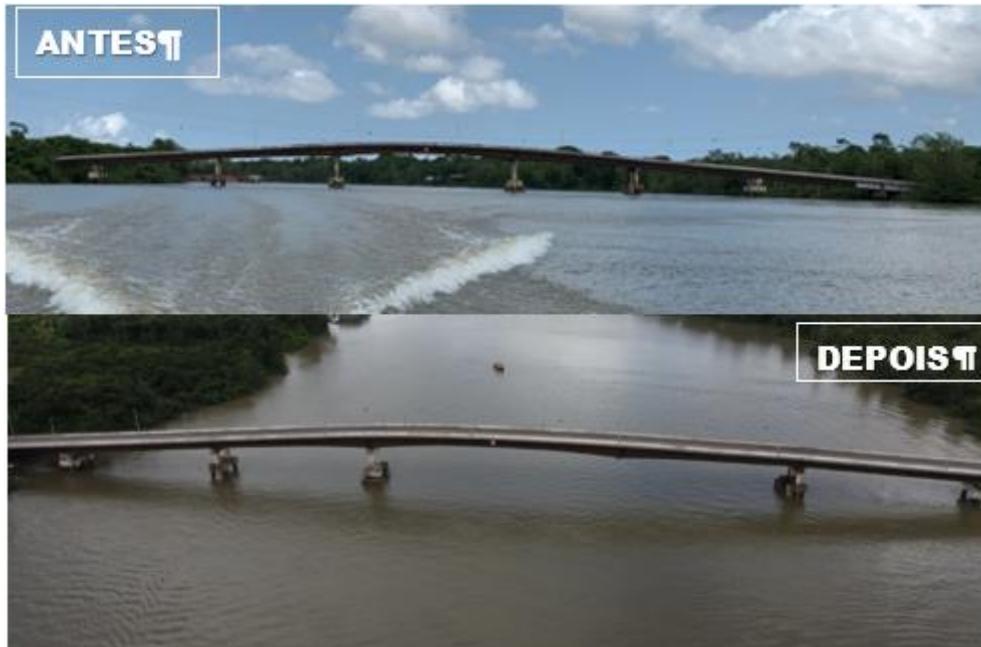
### **Figuras e Tabelas**



**Figura 1 - Ponte Moju Cidade sobre o rio Moju após a colisão da barca em 23 de março de 2014.**



**Figura 2 - Ponte sobre o rio Moju após o colapso, em 6 de abril de 2019.**



**Figura 3 - Ponte Enéas Pinheiro em Outeiro, a) Registro de 2020 e b) Registro de 17 de janeiro de 2022, após o desabamento do pilar AP4.**



Figura 4 – Defensas fixas instaladas na Ponte Moju Cidade.



Figura 5 – Defesa da ponte União do apoio central, mastro da ponte estaiada, e das duas laterais, apoios AP6 e AP11, maio de 2022.

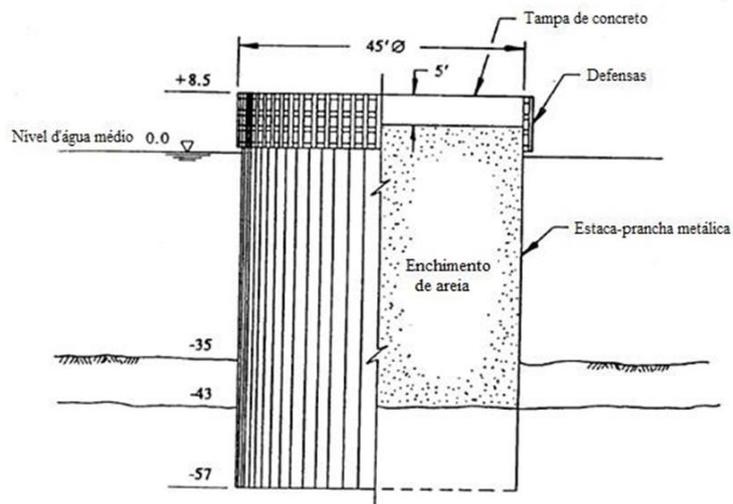
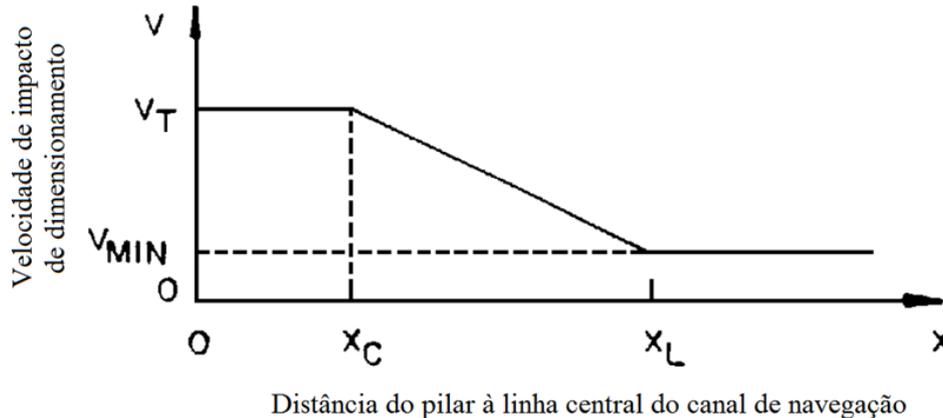


Figura 6 – Descrição da estrutura típica de uma defesa tipo fixa, AASTHO (1991).



**Figura 7 – Relação entre a velocidade de impacto e a distância entre o pilar e a linha central do canal de navegação, AASTHO (1991).**

Onde:

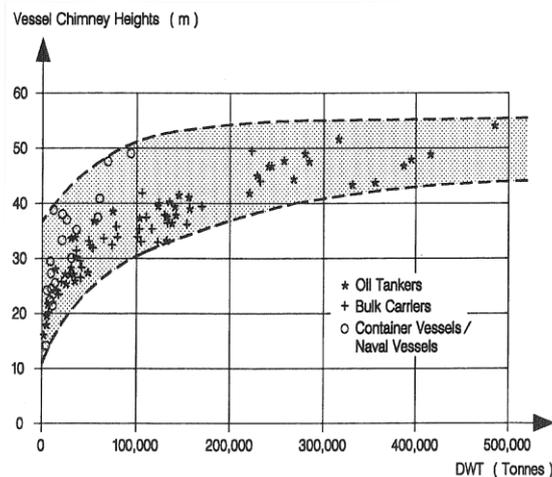
$V_t$  = velocidade típica da embarcação;

$V_{min}$  = velocidade mínima de cálculo do impacto;

$X$  = distância do pilar ao eixo do canal de navegação;

$X_c$  = distância da borda do canal de navegação até a linha central;

$X_L$  = distância  $3x$  o comprimento da linha central do canal de navegação.



**Figura 8 – Relação entre alturas de chaminés e DWT, LARSEN (2014).**

## Conclusões

Conclui-se pelas investigações realizadas ao longo deste trabalho que as estruturas de proteção das pontes encontradas nos rios navegáveis do Pará ainda carecem de projetos adequados de navegação e condições hidrológicas para garantir a segurança dos usuários e a durabilidade das pontes.

Ressalte-se que desde 2002, o Pará vem construindo pontes longas com vãos superiores a 300 metros, a ponte do Guamá, que sistematicamente vem sofrendo os impactos aqui investigados.

Em menos de 10 anos ocorreram 3 grandes acidentes nesta região: ponte Moju Cidade, Ponte Moju Alça e Ponte do Outeiro. Nos três acidentes, a causa raiz decorre da baixa robustez do sistema de defensas originalmente instalado.

A partir dos estudos realizados, pode-se concluir que na escolha do sistema de proteção para pontes deve-se levar em consideração a área de navegação, o tráfego de embarcações em cada região, o tipo de embarcação e principalmente as velocidades das correntes e das embarcações.

## Referências

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges. Washington, 1991.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). LRFD Bridge: Design Specifications. Washington, 2012.
- LARSEN, O. D. Ship collision with bridges – IABSE – Structural Engineering Documents, 1993.
- LSE. Laboratório de Sistemas Estruturais LTDA. LSE-R2019151130-R09. RELATÓRIO DE GERENCIAMENTO, FISCALIZAÇÃO E INSPEÇÃO DO RESTABELECIMENTO DO TRECHO DA ALÇA VIÁRIA COM A READEQUAÇÃO DO CANAL DE NAVEGAÇÃO DO RIO MOJU. Belém, 2019.
- FADESP. Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa. DEFENSAS FLUTUANTES – PONTE RIO MOJU; Acervo Técnico da Secretaria de Estado de Transportes do Pará – SETRAN, 2019
- MARINHA DO BRASIL. NORMAS E PROCEDIMENTOS DA CAPTANIA DOS PORTOS DA AMAZONIA ORIENTAL-NPCP-2015.
- ALMEIDA, Pedro; ANDRADE, Pádua. Rehabilitation the União Bridge by stay-cable system. IABSE Congress – Resilient technologies for sustainable infrastructure. Christchurch, New Zealand, P. 88-93. February 2021.