

**DIAGNÓSTICO SOBRE OS ACIDENTES ESTRUTURAIS PROVOCADOS POR
CARGAS EXCEPCIONAIS EM PONTES RODOVIÁRIAS NO ESTADO DO PARÁ**

TRABALHO DE AVALIAÇÃO

RESUMO

Os acidentes estruturais em pontes rodoviárias ocasionam grandes transtornos para os usuários, interrompendo o tráfego, afetando o abastecimento de cidades, ocasionando prejuízos materiais e financeiros. Na Amazônia Brasileira, a transposição de rios é frequente por rodovias, devido às imensas bacias hidrográficas. O Estado do Pará possui a maior malha rodoviária federal da Região Norte do Brasil, com mais de 4,35 mil quilômetros. O trabalho aborda um diagnóstico dos casos de acidentes estruturais em pontes rodoviárias ocorridos no Pará, colapsadas por cargas excepcionais. Realizou-se um levantamento dos acidentes, detalhando as possíveis causas e reunindo essas informações, gerando propostas para amenizar os riscos de acidentes e/ou evitá-los, culminando no aumento da segurança de obras de arte especiais no Pará e podendo servir de requisitos de projeto para futuras obras de pontes rodoviárias.

Palavras-chave: Acidentes, Pontes, Perícia, Embarcações.

XVIII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/MG – 2015

1. INTRODUÇÃO

No Estado do Pará, localizado na Amazônia brasileira, são comuns a utilização de pontes para vencer obstáculos, principalmente em decorrência de sua bacia hidrográfica, que se espalha por toda sua extensão territorial. Nas estradas e rodovias paraense é comum a transposição de rios através de pontes rodoviárias, que muitas vezes são essenciais para a interligação de cidades e localidades. As estruturas das pontes utilizadas são geralmente em madeira, concreto armado, concreto protendido, estruturas mistas (aço e concreto), sendo que as menos utilizadas são as estruturas metálicas.

A malha rodoviária do Estado compreende as rodovias federais, rodovias estaduais e muitas vicinais, que não estão a cargo dos órgãos públicos, mas que foram abertas por fazendeiros, comunidades isoladas ou até por prefeituras para dar trafegabilidade e integração. Considerando as informações prestadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, a somatória da malha rodoviária paraense é de 4,35 mil quilômetros de rodovias federais e 2,5 mil quilômetros de rodovias estaduais.

Considerando as normas de dimensionamento de pontes, se observa que dentre as ações de cálculo consideradas nos projetos, destaca-se as ações excepcionais, que por conceito se define “Ações excepcionais são as que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas”.

No entanto, revela-se que as situações excepcionais de projeto devem ser consideradas quando a segurança em relação às ações excepcionais contempladas não puder ser garantida de outra forma, como o emprego de elementos físicos de proteção da construção, ou a modificação da concepção estrutural a ser adotada. Neste aspecto, pode-se acrescentar que a robustez da estrutura de pontes se torna essencial, tendo em vista que lhe confere a capacidade para suportar eventos como incêndios, explosões, impactos ou as consequências do erro humano, sem ser danificado de uma forma desproporcional à causa original.

Diante de alguns casos de acidentes estruturais ocorridos no Estado do Pará envolvendo pontes rodoviárias e ações excepcionais, a equipe de trabalho foi instigada a um levantamento das principais causas desse tipo de acidente e propor as medidas necessárias para evitá-los.

2. PONTES RODOVIÁRIAS E CARGAS EXCEPCIONAIS

2.1. Pontes rodoviárias e suas classificações

As pontes de maneira geral são constituídas por elementos que são divididos em: superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. De tal maneira, que o início construtivo de uma ponte ocorre pela execução de sua infraestrutura composta por

**XVIII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/MG – 2015**

seus elementos de fundação para transmissão das cargas ao solo. Em seguida, se inicia a etapa de mesoestrutura responsável pela sustentação de sua superestrutura, composta de pilares, travessas e encontros. Por fim, a superestrutura que é a etapa de vencimento do vão a ser transposto, suportando as cargas do tráfego, composta de longarinas, transversinas e lajes. A tabela 1 apresenta a classificação das pontes quanto a sua finalidade, os materiais empregados e o sistema estrutural adotado.

Tabela 1 – Classificação das pontes.

FINALIDADE	MATERIAIS	SISTEMA ESTRUTURAL	
rodoviária – obra destinada ao tráfego rodoviário	pontes de madeira	pontes em lajes	pontes em vigas
ferroviária – obra destinada ao tráfego ferroviário	pontes de pedra	pontes em estrado celular	pontes em grelha
rodoferroviária – obra destinada ao tráfego misto de veículos e trens	pontes metálicas	pontes em pórticos	pontes em arco
passarela – obra destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres	pontes em concreto armado	pontes pênséis	pontes estaiadas
aeroviária – obra destinada ao tráfego de aeronaves nos pátios dos aeroportos	pontes em concreto protendido		
	pontes pré-moldadas		

Na tabela 2 apresenta-se um breve resumo histórico evolutivo dos procedimentos e normas sobre pontes.

Tabela 2 – Evolução das pontes rodoviárias.

CARACTERÍSTICAS	Até 1950 e (1950 a 1960)*	1960 a 1975 e (1975 a 1985)*	Após 1985
Normas	NB-1, NB-2 e NB-6 de 1946 (NPER/1949) – Pontes Classe 24	NB-1, NB-2 e NB-6 de 1960 (NB-1/1978) – Pontes Classe 36	NB-1/1978, NB-2/1987, NB-6/1982 e NBR-7188/1984
Cargas móveis	Compressor de 24tf; tantos caminhões de 9tf (12tf) quantas forem as faixas menos uma; Multidão de 450kgf/m ² (500kgf/m ²)	Veículos de 36tf; Multidão de 0,5tf/m ² e 0,3tf/m ²	Veículos de 45tf; Multidão de 0,5tf/m ² e 0,3tf/m ²
Coefficiente de Impacto ϕ	1,3	1,4 – 0,007.L	1,4 – 0,007.L

* Informações entre parênteses que foram acrescentadas, atualizadas ou substituídas no período.

XVIII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/MG – 2015

Chamamos a atenção para o coeficiente de impacto, que era proposto de maneira empírica considerando o comprimento do vão da ponte L , conforme tabela 2. Com a atualização da NBR-7188 em novembro/2013, o coeficiente de impacto ψ é calculado pela carga estática P aplicada por uma roda do veículo, que passou a ser ponderada pelos coeficientes de impacto vertical – CIF, coeficiente do número de faixa – CNF e pelo coeficiente de impacto adicional – CIA [4].

2.2. Cargas/ações excepcionais em pontes

As ações atuantes em pontes são as explicitadas pela Norma NBR-8681/2013, cuja classificação se distingue em três: ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais.

A definição das ações excepcionais podemos descrever como: “são as que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas”.

No estudo da Eurocode, extraíram-se dois importantes conceitos da norma europeia que se relaciona com o conceito de carga excepcional, são eles:

- a) situação acidental de projeto, que é a que envolve as condições excepcionais da estrutura ou a sua exposição, incluindo incêndio, explosão, impacto ou falha local; e
- b) ação acidental, é a que ocorre, normalmente em curta duração, mas de magnitude significativa, que é pouco provável de ocorrer em uma dada estrutura durante a vida útil de projeto.

A Eurocode ainda relata que ações como o impacto, neve, vento e ações sísmicas podem ser consideradas ações variáveis ou acidentais, dependendo da informação disponível em bancos estatísticos. Apresenta-se em seu anexo C o desenvolvimento do cálculo de impacto, com tabelas de dados probabilísticos para veículos e tabela de valores indicativos de forças dinâmicas devidas ao impacto de navios.

Quando das combinações das ações para o dimensionamento da estrutura, conforme norma brasileira, a parcela responsável pela ação excepcional é a $F_{Q,exc}$, definida como o valor da ação transitória excepcional. Ela é a única parcela que não possui ponderação, onde as demais parcelas, variável e permanente, possuem suas respectivas combinações de ponderação.

A norma brasileira é bem discricionária quando trata do valor a ser determinado para a ação excepcional, deixando a cargo do proprietário e das autoridades governamentais, através de consenso a definição desse valor. É bem claro, que valores de cargas excepcionais em estruturas são difíceis de serem

definidos, como no desastre do World Trade Center nos Estados Unidos pela ação de grupos terroristas. No caso de pontes rodoviárias, algumas informações projetuais são bem definidas que podem auxiliar na estimativa desse valor, como trem-tipo, rio navegável, carga transportada, velocidade máxima, etc.

2.3. Cálculo das energias de impacto

Conforme definido pela Eurocode, os impactos podem ser considerados ações variáveis ou acidentais. Aborda-se dois exemplos para pontes, que são: o impacto provocado por automóveis e o impacto ocasionado por embarcações. No entanto, sabe-se que outros exemplos são possíveis, tal como explosões, queda de árvores, queda de aeronaves, etc.

Para o exemplo de impacto de veículos, a equação básica da física que define a energia cinética é dada pela equação 1.

$$E_c = 0,5 \cdot M \cdot (V \cdot \text{sen } \alpha)^2 \quad (1)$$

Onde:

E_c = energia cinética característica nominal;

M = massa do veículo;

V = velocidade de impacto;

α = ângulo de impacto entre a estrutura e a direção de movimento do veículo.

No entanto, a sintetização do impacto do veículo fica explícita na NBR-7188, quanto a verificação do dimensionamento de guarda-rodas e barreiras, a uma força horizontal centrada de 60 kN (6 tf) perpendicular à direção do tráfego e carga vertical concomitante de mesma intensidade.

No caso de pontes que transpõe rios navegáveis, as ações de impacto provocadas por embarcações devem ser consideradas para o dimensionamento da própria infra e mesoestrutura ou de elementos de proteção, como por exemplo os “dolfins”.

Pode-se pegar o exemplo numérico de dimensionamento de estruturas de atracação de embarcações, onde a energia do impacto é calculada em função do tamanho da embarcação, da velocidade de navegação e dos movimentos da embarcação por influência da maré e da corrente.

XVIII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/MG – 2015

A NBR-9782 determina a energia cinética característica transmitida por uma embarcação à estrutura de atracação/impacto por meio da equação 2:

$$E_c = 0,5 \cdot (M_1 + M_2) \cdot V^2 \cdot C_e \cdot C_r \quad (2)$$

Onde:

E_c = energia cinética característica nominal;

M_1 = massa deslocada pela embarcação;

M_2 = massa de água adicional;

V = velocidade da embarcação perpendicular à linha de atracação/estrutura;

C_e = coeficiente de excentricidade;

C_r = coeficiente de rigidez.

A massa M_1 é a definição da embarcação carregada e a massa M_2 é a massa de água deslocada pela embarcação no momento da atracação/impacto [7]. A velocidade V deve ser o valor no instante do impacto na estrutura, a NBR-9782 apresenta uma tabela de valores de velocidades utilizadas para a manobra de atracação e não se aplica ao caso em estudo, sendo o ideal a ser considerado os limites de velocidade definidos pelos órgãos responsáveis pela navegação, como a Capitania dos Portos.

O coeficiente de excentricidade relaciona as distâncias do centro de gravidade da embarcação no momento do impacto na estrutura, conforme representado na figura 1. A equação 3 representa o cálculo do coeficiente de excentricidade.

$$C_e = \frac{r^2}{l^2 + r^2} \quad (3)$$

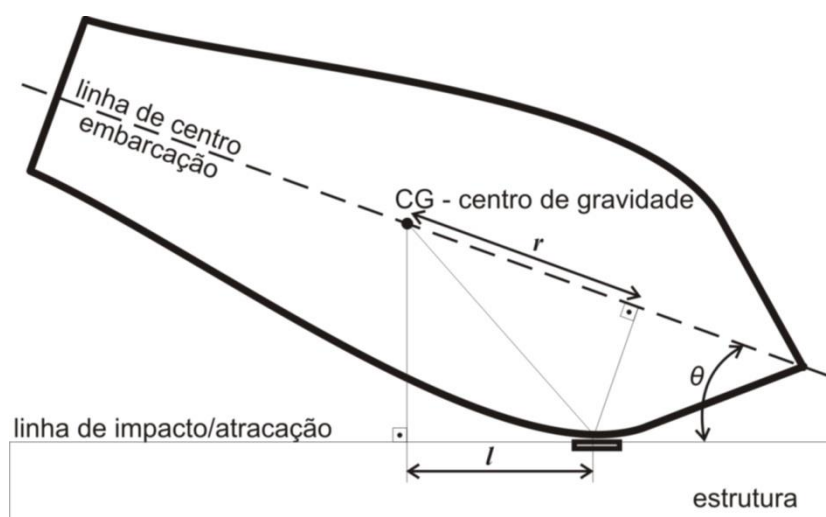


Figura 1 – Situação genérica para cálculo do coeficiente de excentricidade da embarcação (Adaptado).

Onde:

r = raio de giro da embarcação;

l = distância paralela à linha de impacto do ponto de contato ao CG da embarcação;

θ = ângulo entre a linha de centro da embarcação e a linha de impacto.

O coeficiente de rigidez C_r revela a parcela de energia a ser absorvida pela estrutura impactada. A NBR-9782 define o intervalo entre 0,90 e 0,95 dependendo da rigidez do sistema de defensas, mas o valor adotado poderá ser a rigidez da estrutura ou do elemento da estrutura.

3. ACIDENTES EM PONTES RODOVIÁRIAS NO ESTADO DO PARÁ

Cabe ressaltar que o trabalho se restringiu no estudo de pontes rodoviárias permanentes, excluindo as pontes de madeira, onde muitas dessas pontes são provisórias e localizadas principalmente em vicinais e vias de pequena circulação. Porém, algumas pontes de madeira estão localizadas em rodovias importantes, mas já estão incluídas no planejamento dos seus respectivos órgãos responsáveis para substituição por pontes permanentes ou substituídas por obras de arte corrente (linhas de bueiro: tubular ou celular).

3.1. Acidentes na ponte de acesso à Ilha de Outeiro

A ponte Eneas Martins, conhecida como Ponte do Outeiro, que liga o Distrito de Icoaraci à ilha de Outeiro, foi construída em 1986 em concreto armado e possui 360 m de comprimento com 11 m de largura, uma pista de 7,0 m de largura, ciclovia de 90 cm, passeio de 1,40 m para pedestres, um vão central de 60 m de extensão por 10,00 m de altura na maré máxima. A ponte vem sofrendo ao longo dos anos vários abaloamento, porém sem comprometer a sua estabilidade e dentre os acidentes que a mesma sofreu, destacam-se os casos que ocorreram nos anos de 2004, 2005, 2007 e 2014 e todos causados por possíveis colisões produzidas por embarcações que trafegam o Rio Maguari.

Em 2004, o laudo pericial concluiu que o sinistro abalou uma das estacas de sustentação do bloco de coroamento em um nível aproximado de sete metros abaixo do bloco, sendo constatado que a colisão se com a estaca foi provocada por ação mecânica, um forte impacto. Nos anos de 2005, 2007 e 2014, os laudos periciais apontaram que os sinistros ocorreram nos blocos de coroamento. Em 2007 observa-se a presença de defensas mistas de madeira/metálica nos blocos. Em 2014 foram identificados resquícios de madeira no local de impacto, o que levou a suposição de uma embarcação de madeira, os demais acidentes não foram identificados os agentes externos que colidiram com a estrutura. Apresenta-se nas Figuras 2 e 3, situações dos acidentes de 2007 e 2014, respectivamente.



Figura 2 – Vista do dano no bloco, no acidente de 2007.



Figura 3 – Vista do dano nas defensas e bloco, no acidente de 2014.

3.2. Acidentes na ponte de sobre o Rio Guamá

A perícia realizada no acidente ocorrido em 2010 constatou que houve um impacto por embarcação de grande porte (tipo balsa) no sistema de defensas dos pilares centrais da ponte transmitindo a ação mecânica aos blocos de coroamento das estacas que sofreram uma perda singela de concreto. O sistema de defensas é composto por dois flutuantes em estrutura metálica.

3.3. Acidentes da ponte sobre o Rio Mojú – Rodovia PA-483 – Alça Viária

A perícia realizada no acidente ocorrido em março/2014 constatou que houve um impacto no pilar que o colapsou, fazendo com que o tabuleiro da ponte se rompesse, ficando interrompida entre o 5º e 7º pilar no sentido Belém/Mojú. A embarcação transportava uma carga de 900 toneladas. Outro acidente ocorrido em novembro/2014 danificou a região superior de uma estaca do bloco de coroamento, expondo a armadura nessa região e desbastando superficialmente o concreto de cobertura do referido bloco, sendo a colisão promovida por uma embarcação tipo “empurrador”, que conduzia duas balsas, com carga de madeira em toras. As cenas dos acidentes estão representadas nas figuras 4, 5, 6 e 7.



Figura 4 – Vista do dano no tabuleiro no acidente de março/2014.



Figura 5 – Vista aérea da ponte sobre o Rio Moju em março de 2014.

XVIII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/MG – 2015



Figura 6 –Vista da estaca danificada (seta) no acidente de novembro/2014.



Figura 7 –Vista geral dos trechos da ponte, envolvidos nos acidentes em 2014, no mês de março (desabamento de parte do tabuleiro) e novembro com dano em estaca (seta).

3.4. Acidente da ponte sobre o Rio Arataú – Rodovia BR-230/PA – Transamazônica

A ponte sobre o Rio Arataú fica localizada no quilômetro 391 da Rodovia BR-230/PA, chamada de Transamazônica, dentro das limitações do município de Pacajá/PA. O Rio Arataú não possui navegabilidade. Essa ponte foi concluída em maio de 1988, tendo como características geométricas 4,5 metros de largura e 169 metros de comprimento. Sua estrutura é composta de fundação em tubulão de concreto, com mesoestrutura em concreto armado, longarinas metálicas de altura de 1,3 metros e tabuleiro em concreto armado. A ponte possui seis vãos, sendo o maior de 30 metros.

A ponte sobre o Rio Arataú sofreu um colapso no seu segundo vão, no dia 05/08/2014, onde a suposta causa foi o excesso de carga de madeira transportado por um caminhão que ao passar pela ponte saiu do tabuleiro e a impactou, ocasionando o deslocamento da longarina esquerda e uma torsão na longarina direita devido a excentricidade provocada pelo caminhão carregado. A carga de madeira foi mensurada em aproximadamente 90 toneladas. As imagens do acidente estão representadas nas figuras 8, 9 e 10.



Figura 8: Tabuleiro da ponte colapsada



Figura 9: Flambagem lateral da longarina.



Figura 10: Ruptura da mesa da longarina.

4. CONCLUSÕES

No Estado do Pará a maioria dos acidentes envolvendo pontes rodoviárias levantadas pela pesquisa ocorreu devido a impactos ocasionados por embarcações. A utilização de sistemas de proteções, como “dolphins” e “defensas”, é primordial para a segurança dessas estruturas. O que deve ser observado para as estruturas existentes é a execução de sistemas do tipo “dolphins” ou avaliar a resistência de absorção de impacto pela da estrutura da ponte com a utilização de defensas eficientes, que evitem que o dano chegue a qualquer parte dessa estrutura, o que demandaria correções onerosas.

O estudo também observou que os normativos brasileiros específicos para o dimensionamento não referenciam a possibilidade de impactos provocados por embarcações sobre a meso e infraestrutura em pontes que atravessam rios navegáveis. Existem normativos correlatos, a exemplo da NBR-9782, específica de estruturas portuárias, mas que poderia servir de referência normativa para as normas sobre pontes.

Referente ao caso da ponte sobre o Rio Mojú, a visão do acidente é impactante, pois a embarcação conseguiu derrubar um pilar de sustentação e não sofrer grandes danos, o que demonstra que sua proa é suficientemente enrijecida. Para evitar danos dessa natureza, poderia se propor alterações nos projetos de

XVIII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/MG – 2015

embarcações, utilizando mecanismos e materiais de absorção de impacto em sua composição, principalmente na área da proa, semelhante aos projetos de veículos terrestres com a criação de zonas de deformação.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Perícias Científicas “Renato Chaves” por disponibilizar os laudos de perícia para consulta e aos engenheiros das Unidades Locais do DNIT/PA por sua contribuição de informações e atenção para a pesquisa.

XVIII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/MG – 2015

6. CONCLUSÕES

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “Ações e segurança nas estruturas – Procedimento”: NBR 8681. Rio de Janeiro, 2003 (com ERRATA 1 de 31.03.2004).
- VITÓRIO, J. A. P. “Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão”. Recife, CREA-PE, 2002, 140 p.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. “Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias”. 2 ed., Rio de Janeiro, 2004, pp. 23-32.
- SILVA, P. F. *et al*, “Efeitos da Mudança da NBR 7188:2013 nos Projetos de Pontes. Estudo de Caso: Projeto de Recuperação da Ponte sobre o Rio Correias na BR 101/SC EN 1991”, VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.abpe.org.br/trabalhos/trab_100.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2014.
- EUROCODE EN 1991. Eurocode 1 – “Actions on structures – Part 1-7”: General actions – Accidental actions. CEN, 2006.
- BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação e Tecnologia. “Manual de projeto de obras-de-arte especiais”. Rio de Janeiro, 1996, pp. 40-42.
- FANTI, F. D. “Concepção, métodos construtivos e dimensionamento de terminais para contêineres”. 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Estruturas e Geotécnica. São Paulo, 2007, pp. 62-66.
- CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES. Instituto de Criminalística. “Laudo de Exame nº 048/04, Livro 673”. Belém, 2004. Perícia Técnica em Imóvel. Impresso.
- “Laudo de Exame nº 017/2005”. Livro 940. Belém, 2005. Perícia Técnica em Estrutura. Impresso. pp.43-44.
- “Laudo de Exame nº 002/07”. Livro 1171. Belém, 2007. Perícia Técnica em Imóvel. Impresso. fl. 03.
- “Laudo de Exame nº 211/2014, Livro 026/ENG”. Belém, 2014. Perícia Técnica em Estrutura. Impresso.
- “Laudo nº 126/2010, Livro 007/ENG”. Belém, 2010. Perícia Técnica em Estrutura. Impresso.
- “Laudo nº 134/2014, Livro 025/ENG”. Belém, 2014. Perícia Técnica em Estrutura. Impresso.
- SILVA, A. Ponte sobre o Rio Moju caiu após uma balsa colidir com a estrutura em março. 2014. Altura: 620 pixels. Largura: 465 pixels. 62,97 Kb. Formato JPEG. Disponível em: <http://s2.glbimg.com/6D8lqYh4kq6LqtlumJaSt_ANfhM=/620x465/s.glbimg.com/jo/g1/f/original/2014/03/24/46557_101859.jpg>. Acesso em 10 fev. 2015.
- CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES. Instituto de Criminalística. “Laudo 2015.01.000157-ENG”. Caso: 2015.008864. Protocolo: 2015.01.011326. Belém, 2015. Perícia Técnica em Estrutura.

**XVIII COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS - IBAPE/MG – 2015**

- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Superintendência Regional nos Estados do Pará e Amapá. “Dos pareceres no tocante à contratação emergencial para recuperação da ponte sobre o Rio Arataú”. Processo administrativo nº 50602.001224/2014-31. Vol. 1, 200p. Belém, 2014.