



Coeficientes de Impacto Normativos em Pontes Rodoviárias: Uma Avaliação da Norma Brasileira em relação aos Códigos Estrangeiros

Anselmo Leal Carneiro¹, Túlio Nogueira Bittencourt²

¹ Universidade de São Paulo - Escola Politécnica / Universidade Federal do Rio de Janeiro –
Campus Macaé / anselmo.lc@hotmail.com

² Universidade de São Paulo / Escola Politécnica / tbitten@gmail.com

Resumo

A consideração do impacto dinâmico dos veículos em movimento é de fundamental importância no projeto de uma ponte. As normas de projeto de pontes rodoviárias, em geral, tratam o efeito dinâmico de maneira simples de modo a majorar a carga móvel de projeto por coeficientes de impacto. No Brasil, apesar das novas considerações dos coeficientes de impacto da NBR 7188 (2013), tais coeficientes não se basearam em estudos de análise dinâmica que envolvessem a obtenção de amplificações representativas baseadas na natureza do tráfego e nas condições das rodovias no país. Esse artigo apresenta os coeficientes de impacto de quatorze diferentes códigos de projeto e, mediante uma análise comparativa, avalia os coeficientes normativos do Brasil em relação aos coeficientes de outros países. Essa avaliação contribui com futuros estudos relacionados com análise dinâmica de pontes rodoviárias, em especial àqueles direcionados para a calibração dos coeficientes de impacto da norma brasileira. Conclui-se que os coeficientes normativos podem apresentar diferenças significativas e que, em geral, a amplificação dinâmica da NBR 7188 (2013) é conservadora em relação aos coeficientes estrangeiros.

Palavras-chave

Pontes Rodoviárias; Coeficientes de Impacto

Introdução

Nos projetos de pontes é de fundamental importância o conhecimento da resposta da estrutura submetida ao impacto dos veículos em movimento. Essa resposta dinâmica depende de fatores como comprimento do vão, frequência natural da ponte, rugosidade do pavimento, desníveis em juntas estruturais, velocidade de tráfego, peso dos veículos, rigidez da suspensão, amortecimento da suspensão e densidade do tráfego. Para considerar o efeito dinâmico de maneira simples, as normas de projeto de pontes rodoviárias apresentam coeficientes de impacto que visam majorar a carga móvel de projeto. Apesar da NBR 7188 (2013) apresentar novas considerações para o impacto, tais coeficientes não se basearam em estudos de análise dinâmica que envolvessem a obtenção de amplificações representativas baseadas na natureza do tráfego e nas condições das rodovias no país.

Esse artigo discute e compara os coeficientes de impacto normativos para projeto de pontes em aço e concreto do Brasil, Estados Unidos, Canadá, China, Nova Zelândia, Austrália, Reino Unido, Japão, Coreia, África do Sul e código Europeu. Assim, avalia-se os coeficientes normativos do Brasil em relação àqueles presentes nos códigos estrangeiros de modo a fornecer subsídios para futuros trabalhos relacionados com

análise dinâmica de pontes rodoviárias, em especial àqueles direcionados para a calibração dos coeficientes de impacto da norma brasileira.

Coefficientes Normativos no Brasil

A NBR 7188 (2013) apresenta dois coeficientes de impacto, sendo um deles o coeficiente de impacto vertical (CIV) e o outro o coeficiente de impacto adicional (CIA). A tabela 1 apresenta esses coeficientes onde L , expresso em metros, é o vão ou o comprimento do balanço para estruturas em balanço. No caso de vãos contínuos considera-se a média aritmética dos vãos.

Tabela 1 – Coeficientes de impacto da NBR 7188 (2013)

CIV	CIA
$1 + 1,06 \left(\frac{20}{L + 50} \right) \leq 1,35$	1,25 para obras em concreto ou mistas 1,15 para obras em aço

A norma brasileira esclarece que o CIV amplifica a ação da carga estática (veículo tipo e carga distribuída) simulando o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores. Esse coeficiente deve ser considerado no dimensionamento de todos os elementos estruturais da ponte, porém não simula e/ou elimina a necessidade de análise dinâmica nas estruturas sensíveis e/ou de baixa rigidez, em especial estruturas de aço e estruturas estaiadas. Além disso, para pontes com vãos acima de 200 m, deve ser realizado estudo específico para a consideração da amplificação dinâmica e definição do coeficiente de impacto vertical.

A norma explica que o CIA é destinado à majoração da carga móvel característica (veículo tipo e carga distribuída) devido à imperfeição e/ou descontinuidade da pista de rolamento no caso de juntas de dilatação, extremidades das obras, estruturas de transição e acessos. Todas as seções dos elementos estruturais a uma distância horizontal, normal à junta, inferior a 5,0 m para cada lado da junta ou descontinuidade estrutural, devem ser dimensionadas com os esforços das cargas móveis majorados pelo CIA. Do exposto, conclui-se que, no trecho especificado, o CIA é aplicado apenas para as seções da superestrutura (vigas e lajes) e não é considerado no dimensionamento de aparelhos de apoio, pilares e fundações.

A NBR 7188 (2013) apresenta ainda o coeficiente de número de faixas (CNF), dado por $1 - 0,05(n-2) > 0,9$, que é considerado para levar em conta a probabilidade da carga móvel (veículo tipo e carga distribuída) ocorrer em função do número de faixas. Na expressão, n é o número (inteiro) de faixas de tráfego rodoviário a serem carregadas sobre um tabuleiro transversalmente contínuo, sendo que acostamentos e faixas de segurança não são faixas de tráfego da rodovia. Ainda de acordo com a norma, o CNF não se aplica ao dimensionamento de elementos estruturais transversais ao sentido do tráfego (lajes, transversinas, etc.).

Os coeficientes mencionados, implementados na NBR 7188 (2013), substituem o coeficiente de impacto $\varphi = (1,4 - 0,007L) \geq 1$ presente na NBR 7187 (2003), onde L é o comprimento de cada vão teórico (em metros) do elemento carregado, qualquer que seja o sistema estrutural. Para cálculo de φ no caso de vãos desiguais, permite-se considerar um vão ideal equivalente à média aritmética dos vãos teóricos, desde que o menor vão

seja igual ou superior a 70% do vão maior. Para cálculo de ϕ no caso de vigas em balanço, L é tomado igual a duas vezes o seu comprimento. O impacto ϕ não deve ser considerado na determinação do empuxo de terra provocado pelas cargas móveis e no cálculo de fundações.

Fator de Impacto nos Estados Unidos

Nos Estados Unidos os fatores de impacto IM estão presentes na AASHTO *Standard Specifications for Highway Bridges* e na AASHTO *LRFD Bridge Design Specifications*. O termo LRFD é referente a *Load and Resistance Factor Design*. McLean e Marsh (1998) esclarecem que ambos os documentos podem ser considerados no projeto de pontes. No entanto, as principais referências de projeto de pontes nos Estados Unidos se baseiam na AASHTO *LRFD Bridge Design Specifications*. Baker e Puckett (2013), Hartle *et. al.* (2003) e Wagdy *et. al.* (2003) são algumas referências. A AASHTO LRFD (2012) *Bridge Design Specifications* esclarece que as cargas estáticas do caminhão padrão ou do tandem de projeto devem ser majoradas pelo coeficiente $1+IM/100$, onde IM , dado na tabela 2, independe do comprimento do vão da ponte. A norma reforça que não se aplica coeficiente de impacto à carga móvel distribuída. Para análise de elementos que constituem as juntas do tabuleiro o fator IM vale 75%. Em relação a versão de 2017 da AASHTO LRFD, observa-se em Dahlberg (2017) que não houve alteração nos fatores de impacto.

Tabela 2 – Fatores de impacto dos Estados Unidos - AASHTO LRFD (2012)

Estado-Limite	IM
Estado-limite de fadiga	15%
Demais estados limites	33%

No caso de elementos enterrados, o referido código apresenta uma redução no fator de impacto em função da altura enterrada do elemento e não se considera amplificação dinâmica para o dimensionamento de elementos de fundação completamente enterrados. A AASHTO (2002) *Standard Specifications for Highway Bridges* apresenta a expressão $IM = [15,24/(L+38,10)] \leq 0,3$, onde L é o comprimento do vão carregado (em metros) que produz a máxima solicitação na seção considerada. O coeficiente $1+IM$ é considerado tanto para o caminhão padrão ou tandem de projeto quanto para a carga móvel distribuída.

Existem também códigos nos Estados Unidos destinados a avaliação de pontes existente, que por sua vez apresentam fatores de impacto em função condição de deterioração do pavimento da ponte.

Fator de Impacto no Japão

De acordo com McLean e Marsh (1998), o código japonês *Specifications for Highway Bridges* (Japan Road Association – JRA, 1996) apresenta os fatores IM mostrados na tabela 3, onde as cargas móveis devem ser majoradas por $1+IM$. Verifica-se que o fator de impacto depende do comprimento L (em metros) do vão da ponte, do tipo de carregamento e do tipo da ponte.

Tabela 3 – Fatores de impacto do Japão – JRA (1996), *apud* McLean e Marsh (1998)

Tipo de Ponte	Tipo de carga	IM
Aço	Caminhão e carga distribuída	20/(50+L)
Concreto Armado	Caminhão	20/(50+L)
	Carga distribuída	7/(20+L)
Concreto Protendido	Caminhão	20/(50+L)
	Carga distribuída	10/(25+L)

Verifica-se que o formato das expressões para o fator de impacto japonês têm semelhança com o fator da AASHTO (2002) *Standard Specifications for Highway*.

Fator de Impacto na China

De acordo com Deng *et.al.* (2015), o código chinês *General Code for Design of Highway Bridges and Culverts (Ministry of Transport of the People's Republic of China – MTPRC, 2004)* apresenta os fatores IM mostrados na tabela 4, onde o coeficiente $1+IM$ é função da frequência natural da ponte f .

Tabela 4 – Fatores de impacto da China - MTPRC (2004), *apud* Deng *et.al.* (2015)

Frequência natural da ponte (Hz)	IM
$f < 1,5$	0,05
$1,5 \leq f \leq 14$	$0,1767 \ln(f) - 0,0157$
$f > 14$	0,45

Deng *et.al.* (2015) esclarecem que o código chinês de 1989 (MTPRC, 1989) apresentava que o fator de impacto era função do vão e do material da ponte. Para estruturas em concreto tinha-se que $IM = 0,3(1,125 - 0,025L)$ para vãos entre 5 e 45 m, $IM=0,3$ para vãos de até 5 m e $IM=0$ para vãos maiores que 45 m. Para pontes em aço tinha-se que $IM = 15/(L+37,50)$, similar a expressão da AASHTO (2002) *Standard Specifications for Highway Bridges*.

Fator de Impacto no Canadá

O documento *Commentary on CAN/CSA-S6-06, Canadian Highway Bridge Design Code (Canadian Standards Association – CSA, 2006)* esclarece que para veículos de três ou mais eixos o fator DLA (*dynamic load allowance*) de 0,25 é suficiente e se mostra conservador no caso de veículos pesados similares ao veículo de projeto da norma canadense que possui cinco eixos. Assim o coeficiente de impacto é dado por $1+DLA$ e no caso de veículos mais leves deve ter seu valor aumentado. O documento esclarece ainda que a amplificação dinâmica não deve ser aplicada ao carregamento distribuído. Ainda de acordo com Deng *et.al.* (2015), o código canadense apresenta que DLA vale 0,4 no caso da consideração de apenas um eixo, 0,3 no caso da consideração de dois eixos e 0,5 para juntas do tabuleiro.

Fator de Impacto na Austrália

Kirkcaldie e Wood (2008) apresentam os fatores DLA do código australiano *AS 5100 Bridge Design Standard—Part 2: Design Load* (Austroads, 2004), onde se verificam valores fixos em função de seis modelos de carga móvel. Os coeficientes 1+DLA, aplicados aos modelos de carga móvel que representam veículos em movimento, variam de 1,1 até 1,4 e são aplicados tanto nas cargas do caminhão de projeto quanto na carga distribuída. Não se aplica impacto ao modelo de carga móvel que representa tráfego congestionado. Em relação a versão de 2017 norma australiana, observa-se em Pritchard (2017) que não houve alteração nos fatores de impacto.

A consideração do efeito dinâmico do código Europeu

O código Europeu que trata de cargas móveis em pontes é o *Eurocode 1: Actions on Structures—Part 2: Traffic Loads on Bridges* (CEN 2003). No entanto, cada país Europeu estabelece parâmetros particulares de acordo com a realidade local. No referido código, a amplificação dinâmica já é incluída nos valores da carga móvel. Verifica-se em Deng *et.al.* (2015) que a amplificação considerada pelo Eurocódigo depende do comprimento do vão da ponte e da largura trafegável do tabuleiro. Para largura trafegável entre 5,4 e 9,0 m, por exemplo, o coeficiente vale $1,3-0,004L$ no caso de vãos de até 50 m e 1,1 para vãos maiores, tanto para momento quanto para cortante.

O referido código apresenta o coeficiente de amplificação adicional $\Delta\phi_{fad}$, dado na tabela 5, que é destinado para verificação de fadiga em seções de elementos estruturais distantes até 6,0 m das juntas do tabuleiro. Na expressão de $\Delta\phi_{fad}$, D é a distância (em metros) da seção considerada até a junta do tabuleiro.

Uma simplificação conservadora consiste em utilizar $\Delta\phi_{fad} = 1,3$ para qualquer seção transversal distante até 6,0 m das juntas do tabuleiro. Vale notar que enquanto a AASHTO LRFD (2012) apresenta amplificação dinâmica menor para fadiga se comparado com os outros estados limites, o código Europeu apresenta um coeficiente adicional para esta análise em seções próximas às juntas.

O código Europeu apresenta também um critério mais elaborado do que a NBR 7188 (2013) no que diz respeito a necessidade de análise dinâmica. O critério da Europa inclui aspectos como velocidade permitida na pista, frequência natural da ponte, continuidade da estrutura e comprimento do vão.

Fator de Impacto na Nova Zelândia

O código da Nova Zelândia *Bridge Manual* (New Zealand Transport Agency – NZTA, 2013) apresenta que para momento em balanços, momento nas lajes do tabuleiro, força cortante e reações de apoio deve ser considerado o valor de 1,30 para o coeficiente de impacto. Para momento em vãos simples ou contínuos, o coeficiente de impacto, denominado no código de DLF (*dynamic load factor*), é dado na tabela 5, onde L (em metros) é o comprimento do vão para momentos positivos ou a média dos comprimentos dos vãos adjacentes para momentos negativos.

O coeficiente de impacto é aplicado nos momentos, forças cortantes e reações de apoio originados da carga móvel total (grupo de eixos e carga distribuída). Verifica-se que a

expressão da NZTA (2013), presente na tabela 5, é bastante similar ao coeficiente de impacto 1+IM da AASHTO (2002) *Standard Specifications for Highway*. O *Bridge Manual* (2013) esclarece que não se aplica coeficiente de impacto em elementos da ponte completamente enterrados, uma vez que a vibração é amortecida pelo solo.

Tabela 5 – Fatores de impacto diversos

$\Delta\phi_{fad}$ (Eurocode 1, 2003)	Nova Zelândia (NZTA, 2013)	Coreia (Jung <i>et.al.</i> , 2013)	África do Sul (TMH7, 1981)
$1,30 \left(1 - \frac{D}{26}\right) \geq 1$	$1 + \frac{15}{L+38} \leq 1,30$	$1 + \frac{15}{L+40} \leq 1,30$	$1 + 0,05 \left(\frac{100+L}{10+L}\right)$

A tabela 5 também apresenta também o coeficiente do código coreano (*Korea Bridge Design Specifications* - KBDS, 2005), bastante similar à expressão da AASHTO (2002) *Standard Specifications for Highway*, onde L é o comprimento do vão (em metros), que é aplicado no grupo de eixos e na carga distribuída. A tabela 5 apresenta ainda o coeficiente do código Sul Africano TMH7 (1981) partes 1 e 2, que já é incluído nos valores dos carregamentos da carga móvel. O referido código esclarece que a expressão foi obtida da norma Suíça *SIA Norm 160 (1970)* em função do vão equivalente L (em metros).

Fator de Impacto no Reino Unido

A norma britânica BS 5400-2 (1978) já inclui a amplificação dinâmica nos valores dos carregamentos da carga móvel. O código esclarece que foi considerado um incremento de 25% no eixo ou par de rodas adjacentes dos veículos para obtenção da carga móvel de projeto. Deng *et.al.* (2015) apresentam a versão de 2006 do referido código onde se verifica a mesma consideração para o impacto.

Comentários sobre os Coeficientes Normativos Brasileiros

De acordo com Rossigali (2013) o antigo coeficiente de impacto ϕ , apresentado pela primeira vez no Brasil em 1960, teve como base o código alemão DIN 1072 da época que apresentava a expressão $\phi = 1,4 - 0,008L$. Rossigali (2013) explica ainda que a primeira norma brasileira de projeto de pontes em 1941 adotava um coeficiente de impacto igual a 1,3, baseado também na norma alemã DIN 1072 da época.

- **Coeficiente de impacto vertical (CIV)**

Nota-se que a expressão do CIV da NBR 7188 (2013) é bastante similar ao coeficiente de impacto presente na norma japonesa dado por $1 + [20/(50+L)]$. Verifica-se que a norma brasileira adicionou o multiplicador 1,06 (incremento de 6%) no fator de impacto IM do código japonês. De acordo com o que é apresentado em Stucchi e Luchi (2011), o CIV proposto para a NBR 7188 (2013) cobre os vieses apresentados em Luchi (2006). As conclusões de Luchi (2006) foram utilizadas para proposição da NBR 7188 (2013), conforme se verifica em Timerman e Beier (2012).

Luchi (2006) compara as solicitações originadas pelas cargas características do trem-tipo brasileiro (TB 450) sem coeficiente de impacto com os esforços característicos provenientes de simulações de congestionamento, isto é, sem levar em conta o impacto

dinâmico dos veículos. Assim, se tratando de tráfego congestionado, o autor interpreta o coeficiente de impacto normativo como um coeficiente adicional de segurança. Além de apresentar os vieses que serviram de base para as propostas da NBR 7188 (2013), Luchi (2006), com base nos resultados de monitoração dinâmica apresentados em Penner (2001), reforça a necessidade de revisão do coeficiente φ da norma brasileira.

Outro estudo que diz sobre a necessidade da revisão do antigo coeficiente φ pode ser verificado em Almeida *et.al.* (2010). Os autores realizaram monitoração dinâmica em pontes brasileiras utilizando carretas de cinco e seis eixos com peso total de 450 kN e observaram que os coeficientes de amplificação dinâmica medidos foram significativamente superiores ao coeficiente φ da NBR 7187 (2003). Para velocidade do veículo a 20 km/h, verificou-se que os valores medidos, que apresentaram bastante dispersão por sinal, flutuaram em torno das curvas especificadas pelos coeficientes da norma japonesa JRA e da norma dos Estados Unidos AASHTO *Standard*. Para velocidades entre 60 e 80 km/h, os impactos medidos foram sistematicamente superiores aos valores da JRA e AASHTO *Standard*.

- **Coeficiente de número de faixas (CNF)**

De acordo com Stucchi e Luchi (2011), o CIV proposto para norma brasileira cobre bem os vieses apresentados em Luchi (2006) para pontes com duas faixas de tráfego, porém cobre com folga os vieses apresentados pelo autor para pontes com três e quatro faixas de tráfego. Desse modo, se propôs para a NBR 7188 (2013) o coeficiente de número de faixas (CNF), que é um fator redutor da carga móvel para pontes com três ou mais faixas de tráfego. Vale notar que para uma faixa de tráfego o CNF vale 1,05.

A maioria das normas estrangeiras mencionadas nesse artigo também apresentam coeficientes em relação ao número de faixas. Estes coeficientes, porém, não foram abordados nesse artigo pois não possuem caráter essencialmente dinâmico. Eles são aplicados à carga móvel para levar em conta a baixa probabilidade de que todas as faixas estejam simultaneamente carregadas com os valores de projeto. Nos códigos estrangeiros em geral, não são contabilizadas faixas de tráfego reais como apresenta a NBR 7188 (2013), mas sim faixas de projeto. A quantidade de faixas de projeto é determinada pelo número inteiro obtido através da divisão da largura total trafegável do tabuleiro (entre guarda-rodas) pela largura das faixas de projeto. Na AASHTO LRFD (2012), por exemplo, cada faixa tem 3,66 m de largura e os coeficientes relacionados com o número de faixas, que são aplicados no veículo de projeto e na carga distribuída, não devem ser considerados no estado limite de fadiga.

- **Coeficiente de impacto adicional (CIA)**

O estudo apresentado em Almeida *et.al.* (2010) reforça a necessidade do CIA ter sido implementado na norma brasileira. O autor observou nos resultados de monitoração dinâmica que, em geral, os maiores impactos ocorrem na entrada e na saída do veículo na ponte, o que pode estar associado a desníveis existentes causados pela movimentação do aterro nas extremidades dos balanços.

Em relação ao CIA=1,25 presente na NBR 7188 (2013) para estruturas em concreto ou mistas, nota-se que o valor apresentado é bastante similar $\Delta\varphi_{fad}=1,30$ do código Europeu. No entanto, o $\Delta\varphi_{fad}$ é aplicado apenas para verificação de fadiga, enquanto o CIA não apresenta distinção de aplicação em relação aos estados limites. O CIA apresenta distinção apenas quanto ao material da estrutura, que se for em aço vale 1,15. McLean e Marsh (1998) esclarecem, porém, que o material utilizado na estrutura não

tem influência significativa na resposta dinâmica da ponte. Vale notar que a norma japonesa (JRA, 1996) e a antiga norma chinesa (MTPRC, 1989), que apresentam distinção quanto ao material, apresentam coeficientes maiores para pontes em aço.

Comparativo entre alguns Códigos Estudados

A figura 1 apresenta o comparativo entre alguns coeficientes de impacto apresentados neste trabalho considerando um modelo de ponte em concreto de vão biapoiado com juntas estruturais nas extremidades. São apresentados os coeficientes de impacto que majoram a força cortante no apoio e o momento fletor no meio do vão. Não se consideram os coeficientes aplicados ao número de faixas pois tais coeficientes não são essencialmente dinâmicos. Na NBR 7188 (2013), as solicitações nas seções até 5 m das juntas (força cortante no apoio e momento fletor no meio do vão de 10 m) são majoradas por CIAx CIV, enquanto que os momento fletores nos vãos maiores que 10 m são majorados apenas pelo CIV.

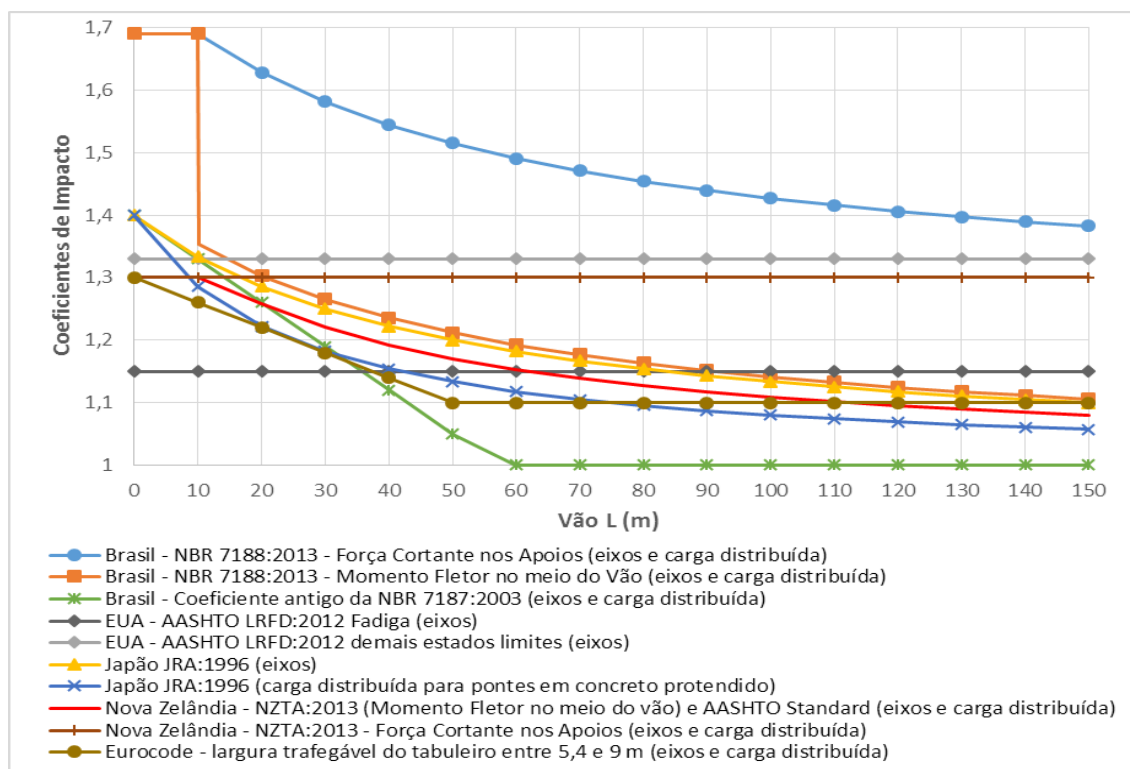


Figura 1 – Comparativo entre alguns coeficientes de impacto normativos

Observa-se na figura 1 que, em relação a força cortante no apoio e momento fletor no meio do vão de 10 m, a consideração do CIA faz com que a amplificação dinâmica da NBR 7188 (2013) chegue a ser de 70% no caso de vãos de 10 m, enquanto o valor máximo obtido nas outras normas é de 33%. Essa diferença entre as normas é ainda maior no que diz respeito à fadiga, uma vez que a AASHTO LRFD (2012) apresenta uma amplificação de apenas 15% aplicada exclusivamente ao caminhão de projeto.

Em relação aos coeficientes de impacto para momento fletor em vãos maiores que 10 m, verifica-se que os valores da NBR 7188 (2013) são mais próximos aos valores das

outras normas, porém ainda conservadores. Vale notar que apesar da AASHTO LRFD (2012) apresentar coeficientes maiores (exceto para fadiga), tais ampliações são aplicadas exclusivamente ao caminhão de projeto.

Fazendo uma comparação da norma brasileira em vigor com o coeficiente de impacto antigo da NBR 7187 (2003), verifica-se que os valores atuais são sempre maiores que os antigos e pode-se observar um aumento de até 50% no caso de força cortante nos apoios para vãos de 60 m. Se comparado com as normas estrangeiras, nota-se que o coeficiente de impacto antigo da norma brasileira apresenta, em geral, os menores valores, especialmente para vãos maiores que 40 m.

Conclusões

Esse artigo, mediante a revisão dos coeficientes de impacto em pontes rodoviárias, permite constatar que embora os coeficientes normativos de diversos países são adaptações de valores e expressões de outros países, os mesmos podem apresentar diferenças significativas.

No que diz respeito à avaliação dos coeficientes de impacto da norma brasileira (NBR 7188, 2013) em relação aos demais códigos estudados, este artigo permite concluir que a norma brasileira é bastante conservadora (apresenta a maior majoração) no que diz respeito à amplificação dinâmica para força cortante no apoio e momento fletor no meio do vão de 10 m. Para majoração do momento fletor no meio do vão em vãos maiores que 10 m, a norma brasileira apresenta ampliações mais próximas com outras normas, porém ainda conservadoras. Vale notar que a NBR 7188 (2013) aplica o mesmo coeficiente no veículo tipo e na carga distribuída.

Dentre as normas estudadas, somente a norma brasileira apresenta menor valor para o coeficiente de impacto em pontes de aço. Os demais códigos, que fazem distinção quanto ao material, apresentam o contrário, isto é, maiores coeficientes para obras em aço em relação às de concreto. Apenas o código japonês considera expressões diferentes para pontes em concreto armado e protendido, que apresenta coeficientes ligeiramente maiores para estruturas com protensão. Vale notar que este trabalho não considerou os coeficientes para pontes em madeira, que, em geral, apresentam valores particulares em função do maior amortecimento do material. O código dos Estados Unidos, por exemplo, despreza o impacto para elementos em madeira.

Diversas normas abordam considerações particulares para elementos enterrados, podendo inclusive desconsiderar o impacto em fundações completamente enterradas. A NBR 7188 (2013), porém, esclarece que o impacto deve ser aplicado em todos elementos estruturais e não faz menção sobre elementos enterrados.

Esse artigo cita o critério de necessidade de análise dinâmica do Eurocódigo e os coeficientes de impacto particulares nos Estados Unidos para avaliação de pontes existentes. No Brasil, esses dois aspectos poderiam ser melhor estudados para possível consideração nas normas técnicas nacionais.

A NBR 7188 (2013) apresenta avanços importantes em relação aos coeficientes de impacto, haja visto que coeficiente de impacto antigo da NBR 7187 (2003) apresenta, em geral, valores menores que os demais códigos estudados. No entanto, os coeficientes de impacto da NBR 7188 (2013) precisam ser avaliados com base em estudos de análise dinâmica que visem a obtenção ampliações representativas baseadas na natureza do tráfego e nas condições das rodovias no país.

Referências

- ALMEIDA, P. A. O; RODRIGUES, J. F. S; LIMA, A. B. Critérios de otimização de projetos de pontes a partir de espectros de aceleração induzidas por veículos nos tabuleiros, LSE, 2010.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges, 2002.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7188 - Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras Estruturas, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7187 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento, 2003.
- BARKER, R. M.; PUCKETT, J. A. Design of Highway Bridges: An LRFD Approach. Wiley, 3ed, 2013.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS 5400-2 - Steel, concrete and composite Bridges - Part 2: Specification for loads, 1978
- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (CSA). Commentary on CAN/CSA-S6-06, Canadian Highway Bridge Design Code, 2006.
- COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges, 2003.
- DAHLBERG, D. LRFD Bridge Design Manual Changes, Department of Transportation, Bridge Office, 2017.
- DENG, L.; YU, Y.; ZOU, Q.; CAI, C. S. State-of-the-Art Review of Dynamic Impact Factors of Highway Bridges. Journal of Bridge Engineering, ASCE, 2015.
- HARTLE, R. A.; WILSON, K. E.; AMRHEIN, W. A.; ZANG, S. D.; BOUSCHER, J. W.; VOLLE, L. E. LRFD Design Example for Steel Girder Superstructure Bridge with Commentary. Michael Baker Jr., Inc. National Highway Institute, 2003.
- JUNG, H.; KIM, G.; PARK, C. Impact Factors of Bridges based on Natural Frequency for Various Superstructure Types. KSCE Journal of Civil Engineering, 2013.
- KIRKCALDIE, D. K.; WOOD, J. H. Review of Australian standard AS5100 Bridge design with a view to adoption - Volume 1. NZ Transport Agency Research Report 361, 2008.
- LUCHI, L. A. R. Reavaliação do trem-tipo à luz das cargas reais nas rodovias brasileiras. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2006.
- MCLEAN, D. L.; MARSH, M. L. Dynamic impact factors for bridges. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 266, 1998.
- NEW ZEALAND TRANSPORT AGENCY (NZTA). Bridge manual, 2013.
- PENNER, E. Avaliação de desempenho de sistemas estruturais de pontes de concreto. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2001.
- PRITCHARD, R. 2017 Revision of Australian Standard AS 5100 Part 2: – Design loads, 2017.
- ROSSIGALI, C. E. Atualização do modelo de cargas móveis para pontes rodoviárias de pequenos vãos no Brasil. Tese (Doutorado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- STUCCHI, F. R; LUCHI, L. A. R. O Impacto das CVCs no TT45. Instituto de Engenharia, 2011.
- TECHNICAL METHODS FOR HIGHWAYS. TMH7 Parts 1 and 2 - Code of Practice for the design of highway bridges and culverts in South Africa, 1981.
- TIMERMAN, J.; BEIER, M. Considerações sobre a revisão da ABNT NBR 7188. Encontro Mensal da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), 2012.
- WAGDY, G. W.; SMITH, C.; CLANCY, C. M.; SMITH, M. J. Comprehensive Design Example for Prestressed Concrete Girder Superstructure Bridge with Commentary, Modjeski and Masters, National Highway Institute, 2003.