

A evolução da norma brasileira de cargas móveis para pontes rodoviárias

The evolution of the Brazilian code for road live loads for road bridges

Fernando Jr. R. Mascarenhas; José A. Pereira Vitório; André L. Christoforo; Roberto C. Carvalho

- (1) *Mestre em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECiv), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), fer.jr.resende@hotmail.com*
- (2) *Professor Doutor da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (UPE), afonsovitorio@gmail.com*
- (3) *Professor Doutor Adjunto do PPGECiv, da UFSCar, christoforoal@yahoo.com.br*
- (4) *Professor Doutor Sênior Titular do PPGECiv, da UFSCar, robertochustcarvalho@gmail.com*

Resumo

No Brasil, existem atualmente duas Normas que tratam especificamente de projeto e dimensionamento de pontes e viadutos, a ABNT NBR 7188:2013 e a ABNT NBR 7187:2003, esta última em fase de atualização por parte da ABNT. Este artigo trata da evolução cronológica dessas normas, comentando e contextualizando as modificações pelas quais elas passaram ao longo do tempo desde 1943, quando foi editada a primeira norma de pontes no Brasil. Fazem parte dessa evolução as mudanças ocorridas nos trens-tipo utilizados nas cargas móveis para o dimensionamento, as adequações dos gabaritos transversais das pontes das rodovias federais, o aumento da quantidade de tipologias estruturais e o significativo avanço das características dos materiais e das técnicas construtivas. Faz-se a contextualização com os períodos históricos, econômicos e ao desenvolvimento nacionais que influenciaram diretamente o crescimento do setor rodoviário, que é o principal modal de transporte de pessoas e de mercadorias do país. Logo, esta pesquisa tem um caráter histórico/informativo. Nesse sentido, também é destacando o crescimento do volume de veículos pesados nas rodovias do país e a criação dos principais órgãos gestores e reguladores da malha rodoviária brasileira com as suas legislações específicas. Para a metodologia adotou-se uma pesquisa bibliográfica para se conhecer outros trabalhos significantes publicados sobre o tema abordado, contextualizando-os com a evolução e a aplicação ao longo do tempo das Normas estudadas até a edição da NBR 7188:2013. Ao final, são apresentadas conclusões acerca dessa evolução e recomendações para a melhoria dos projetos de pontes e viadutos que fazem parte da malha rodoviária brasileira.

Palavra-Chave: Normas de Pontes; Cargas Móveis; Pontes Rodoviárias; Contexto Histórico; Projetos.

Abstract

In Brazil, there are currently two Codes that specifically address the design and dimensioning of bridges and viaducts, ABNT NBR 7188: 2013 and ABNT NBR 7187: 2003, the latter being updated by ABNT. This article deals with the chronological evolution of these codes, commenting and contextualizing the changes they have undergone over time since 1943, when the first bridge code in Brazil was published. Part of this evolution is the changes that occurred in the code load-trains used in mobile loads for dimensioning, the adequacy of the cross-sectional templates of federal highway bridges, the increase in the number of structural types and the significant advance in the characteristics of materials and construction techniques. It is contextualized with the national historical, economic and development periods that directly influenced the growth of the road sector, which is the main mode of transportation of people and goods in the country. Therefore, this research has a historical / informative character. In this sense, it is also worth highlighting the growth in the volume of heavy vehicles on the country's highways and the creation of the main management and regulating bodies of the Brazilian road network with their specific legislation. For the methodology, a bibliographic search was adopted to get to know other significant works published on the topic addressed, contextualizing them with the evolution and application over time of the Codes studied until the edition of NBR 7188: 2013. At the end, conclusions are presented about this evolution and recommendations for the improvement of the projects of bridges and viaducts that are part of the Brazilian road network.

Keywords: Bridge Codes; Road Live Loads; Highway Bridges; Historical Context; Projects.

1 Introdução

As dinâmicas sociais e econômicas dos países estão intimamente ligadas aos modais de transporte. Nowak e Fischer (2016, p. 297) explicam que a infraestrutura de tráfego, aqui focada nas pontes e nos viadutos, “não apenas garante a performance e eficiência econômica, mas também provém mobilidade e qualidade de vida para a população, contribuindo decisivamente, portanto, com a riqueza de um país”.

As Obras de Arte Especiais que compõem a malha viária brasileira estão submetidas de modo geral a diversas ações, destacando-se as cargas permanentes constituídas pelo peso próprio, e as cargas móveis, representadas pelos veículos que neles trafegam.

Apesar da heterogeneidade dos veículos que trafegam nas Obras de Arte Especiais (OAEs), as diferentes normas, nacionais e internacionais, de cargas móveis para pontes e viadutos rodoviários possuem seus respectivos trens-tipo, utilizados para o dimensionamento. Os trens-tipo são representações de veículos hipotéticos com suas respectivas cargas para serem utilizados nos cálculos, e devem representar, no que tange aos esforços solicitantes, os veículos reais.

No Brasil existem duas Normas em vigor atualmente que tratam especificamente do dimensionamento de pontes e viadutos rodoviários: ABNT NBR 7188:2013, “Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras estruturas”; e a ABNT NBR 7187, “Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento”. Luchi (2006) e Rossigali (2013) explicam que a precursora da atual NBR 7188 era a NB-6, de 1943, “Cargas Móveis em Pontes Rodoviárias”, e da atual NBR 7187:2003 era a NB-2, de 1941, “Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado”.

Desde seu surgimento a NBR 7188 pode ser analisada através de quatro períodos distintos: de 1943 a 1960, de 1960 a 1984, de 1984 a 2013 e de 2013 até os dias atuais (PFEIL, 1983; LUCHI, 2006; ROSSIGALI, 2013; TIMERMAN, 2015). A tabela 1 mostra a evolução dos trens-tipo normativos brasileiros ao longo desses quatro períodos.

Tabela 1 – Evolução dos Trens-tipo brasileiros (PFEIL, 1983; LUCHI, 2006; ROSSIGALI, 2013; TIMERMAN, 2015).

Períodos	1943-1960					1960-1984			1984-2013			2013-Atual	
Trens-tipo (kN)	60	70	90	160	240	120	240	360	120	300	450	240	450

Luchi (2006, p. 3) pontua que “diversos autores comentam o fato de as cargas utilizadas no Brasil serem cópias das cargas alemãs”, entretanto, “pouco esforço se faz até hoje em termos de pesquisas para se ter um trem-tipo genuinamente nascido em terras brasileiras”.

Nesse contexto, esta pesquisa aborda a evolução cronológica da norma brasileira de cargas móveis para pontes e viadutos rodoviários, evidenciando os principais trens-tipos e as particularidades de cada período, apresentando uma análise comparativa dessa evolução.. Além disso, esse estudo faz uma inserção histórica no que se refere aos aspectos relacionados com o desenvolvimento nacional, destacando o crescimento do volume de veículos pesados nas rodovias do país, bem como alguns tópicos relacionando essa evolução normativa às técnicas construtivas e de projetos.

2 Metodologia

Este trabalho adotou como procedimento metodológico uma pesquisa bibliográfica com a finalidade de conhecer outros trabalhos significantes publicados sobre o tema abordado, contextualizando-os com a aplicação ao longo do tempo das Normas pertinentes aos projetos de pontes rodoviárias, com destaque para a NBR 7188:2013. Esta pesquisa tem, também, um caráter histórico/ informativo, uma vez que discorre sobre a evolução da norma brasileira de cargas móveis inserida em um contexto técnico, histórico e econômico do sistema viário brasileiro.

3 As normas brasileiras de cargas móveis de pontes e viadutos rodoviários

Devido à variabilidade e ao regime de ocorrência das cargas móveis, as normas brasileiras e de outros países, utilizam o trem-tipo para o dimensionamento de pontes e viadutos rodoviários. Segundo Timerman (2015, p. 213), trem-tipo é “o conjunto do carregamento móvel a ser aplicado à estrutura em sua posição mais desfavorável para cada seção de cálculo e combinação de carregamento”. Os trens-tipo ao longo da evolução das normas foram apresentando características e configurações diferentes, sendo compostos nos primórdios por compressores e caminhões e atualmente por veículo representativo e cargas de multidão. A carga de multidão representa o tráfego de veículos de pequeno porte que possivelmente pode estar acompanhando o trem-tipo principal empregado; essa carga é considerada distribuída na área do pavimento da ponte a ser analisada.

Luchi (2006), Rossigali (2013) e Timerman (2015) esclarecem que a NB-6, de 1943, tem suas origens e fundamentações teóricas retiradas das antigas normas alemãs, com destaque para a DIN 7072, que tinha como trem-tipo tanques de guerra e compressores. A seguir um breve relato da evolução da norma de cargas móveis no Brasil.

3.1 Norma NB-6, de 1943

A antiga NB-6/43 classificava as pontes rodovias em três classes distintas: I, II e III. Essas classes variavam de acordo com os veículos que trafegavam nas rodovias. As pontes das rodovias de Classe I eram consideradas as mais importantes e eram “situadas em estradas-tronco federais ou nas estradas principais de ligação entre esses troncos”. Por sua vez, as cargas de caminhões, compressores e de multidão compunham o trem-tipo (CAVALCANTI, 2004, p. 2). A figura 1 apresenta o caminhão e o compressor utilizados como trens-tipos na prescrita NB-6, de 1943 e a tabela 2 mostra as respectivas cargas.

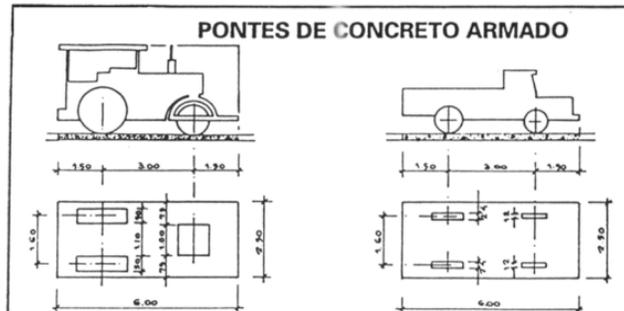


Figura 1 – Trem-tipo conforme a NB-6/43 (CAVALCANTI, 2004)

Tabela 2 – Compressores e Caminhões conforme a NB-6/43 (CAVALCANTI, 2004).

Características	Compressores			Caminhões		Unidades
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo A	Tipo B	
Peso total	70	160	270	60	90	kN
Peso da roda dianteira	50	70	100	7,5	15	kN
Peso da roda traseira	10	45	70	22,5	30	kN
Largura da roda dianteira	1	1	1	8	12	m
Largura da roda traseira	10	40	50	18	24	cm
Distância entre os eixos dianteiro e traseiro	3	3	3	3	3	m
Distância entre os meios das rodas traseiras	160	160	160	160	160	cm

Cavalcanti (2004, p. 3) ainda explica que o trem-tipo das pontes Classe I possuem uma carga de multidão g de $4,5 \text{ kN/m}^2$, “de um compressor do Tipo B e de tantos caminhões Tipo B forem as faixas de tráfego, menos uma”, colocado na posição mais desfavorável, sempre na direção do tráfego, não colocando mais de um veículo por faixa de tráfego. Além disso, faz-se necessário empregar o compressor do Tipo C para se verificar a resistência da estrutura.

Já as pontes rodoviárias consideradas como Classe II pela NB-6/43 eram aquelas “situadas em estradas de ligação secundárias, mas que, atendendo as circunstâncias especiais do local, houvesse conveniência em se prever a passagem de veículos pesados” (CAVALCANTI, 2004, p. 4). O trem-tipo para esses tipos de pontes era composto por uma carga de multidão g_0 de $4,0 \text{ kN/m}^2$, “de um compressor Tipo A e de tantos caminhões do Tipo A quantas fossem as faixas de tráfego, menos um”; entretanto, a resistência da estrutura era ainda verificada com um compressor do Tipo B (CAVALCANTI, 2004, p. 5).

A Classe III abrangia “pontes situadas em estradas de ligação secundárias não incluídas na Classe II”. O trem-tipo era constituído por uma carga de multidão g_0 de $4,0 \text{ kN/m}^2$, “de um compressor Tipo A e de tantos caminhões do Tipo A quantas fossem as faixas de tráfego, menos um” (CAVALCANTI, 2004, p. 5). As regras para posicionamento do trem-tipo nas pontes Classe II e III eram as mesmas para as pontes Classe I.

É importante ressaltar que durante o período de vigência da NB-6/43(1943-1960), as pontes rodoviárias eram projetadas com tabuleiro cuja largura total era $8,30 \text{ m}$ que não incluíam os acostamentos da estrada. Havia apenas dois passeios de pedestres, com 50 m cada, que também funcionavam como guarda rodas, e dois guarda-corpos de

concreto. A largura útil destinada à faixa de rolamento era de 7,20m. Tratava-se de um gabarito transversal que não era seguro para os usuários pelo fato de apresentar riscos de acidentes com veículos e pedestres.

Durante o período que esta norma vigorou, as pontes projetadas até 1960 possuíam as seguintes características, segundo o “Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias” (DNIT, 2004, p. 23), onde adotava-se pontes com “largura total de 8,30 m, largura da pista de 7,20 m, dois guarda-rodas de 0,55 m, com dois guarda-rodas de 0,15/0,60 m, sobre o guarda-rodas” conforme a figura 2.

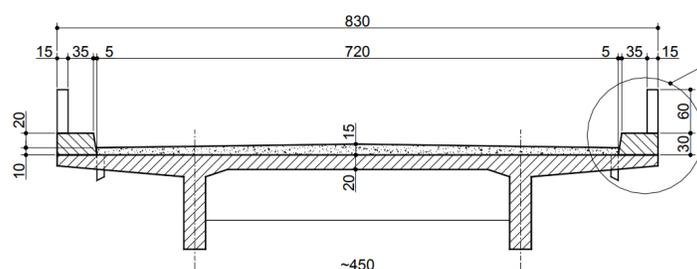


Figura 2 – Seção transversal adotada para as pontes até 1950, em centímetros (cm) (DNIT, 2004)

3.2 Norma NB-6, de 1960

A NB-6, de 1960 (NB-6/60), permaneceu em vigor entre os anos de 1960 e 1984 e estabelecia três classes de pontes: Classe 36, Classe 24 e Classe 12. As tabelas 3 e 4 e a figura 3 apresentam o trem-tipo dessa norma e as respectivas cargas.

Tabela 3 – Trens-tipo de acordo com a NB-6/60 (CAVALCANTI, 2004).

Classe da ponte	Veículo		Carga uniformemente distribuída			Classe da rodovia
	Tipo	Peto total (kN)	p (kN/m ²)	p' (kN/m ²)	Disposição da carga	
36	36	360	5,0	3,0	* Carga p à frente e atrás do veículo. * Carga p' no restante da pista e passeios.	I
24	24	240	4,0	3,0		II
12	12	120	3,0	3,0		III

Tabela 4 – Valores característicos para os trens-tipo da NB-6/60 (CAVALCANTI, 2004).

Características	Tipo 36	Tipo 24	Tipo 12	Unidades
Quantidade de eixos	3	3	2	Eixo
Peso total do veículo	360	240	120	kN
Peso de cada roda dianteira	60	40	20	kN
Peso de cada roda traseira	60	40	20	kN
Peso de cada roda intermediária	60	40	-	kN
Largura de contato b ₁ de cada roda dianteira	0,45	0,35	0,25	m
Largura de contato b ₃ de cada roda traseira	0,45	0,35	0,25	m
Largura de contato b ₂ de cada roda intermediária	0,45	0,35	-	m
Comprimento de contato de cada roda	0,20	0,20	0,20	m
Área de contato de cada roda	0,20 x b	0,20 x b	0,20 x b	m ²
Distância entre eixos	1,50	1,50	3,00	m
Distância entre os centros de roda de cada eixo	2,00	2,00	2,00	m

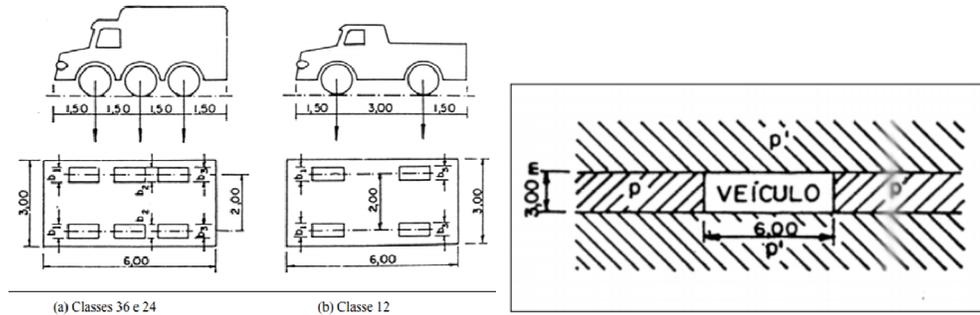


Figura 3 – Trens-tipo e multidão da NB-6, de 1960 (CAVALCANTI, 2004)

Para contabilizar os efeitos dinâmicos, a NB-6, de 1960, considerava o coeficiente de impacto em função do vão teórico L , conforme a equação 1:

$$\phi = 1,4 - 0,007 \cdot L \geq 1 \quad (\text{Equação 1})$$

Durante o período de validade da NB-6/60 (1960-1984) as pontes das rodovias federais passaram por uma mudança no gabarito transversal, tendo sido adotado para o tabuleiro a largura total de 10,00m no período de 1960 a 1975 e 10,80m entre os anos de 1976 e 1984 quando foram incorporadas as barreiras tipo New Jersey, tornando as pontes mais seguras do ponto de vista funcional pelo fato de prever além da faixa de rolamento, os acostamentos e as duas barreiras, projetadas para receberem o choque de veículos. No período de vigor desta norma, duas tipologias de pontes eram empregadas. A primeira foi utilizada entre os anos de 1960 a 1975 e apresentava “largura total de 10,00 m, largura da pista de 8,20 m, dois guarda-rodas de 0,90 m com dois guarda-corpos de 0,15/0,90 m, sobre os guarda-rodas” (DNIT, 2004, p. 27), conforme a figura 4.

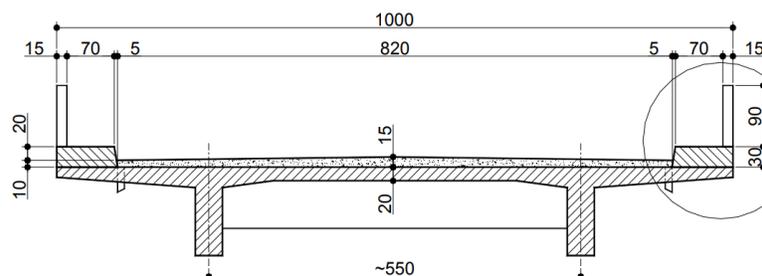


Figura 4 – Seção transversal das pontes projetadas entre 1960 a 1975, em cm (DNIT, 2004)

Entre os anos de 1975 a 1985 foram adotadas pontes com largura total maior ou igual a 10,80m com duas barreiras do tipo New Jersey de 0,40 m (DNIT, 2004).

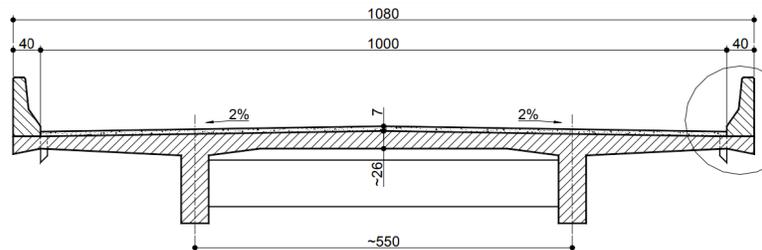


Figura 5 – Seção transversal das pontes projetadas entre 1975 a 1985, em cm (DNIT, 2004)

3.3 Norma NBR 7188, de 1984

Em 1984 entrou em vigor a NBR 7188, “Cargas Móveis em Pontes Rodoviárias e Passarelas para Pedestres”, a qual vigorou até 2013. Em 1966 o Código Nacional de Trânsito (CNT) entrou em vigor e o peso bruto total dos veículos foi elevado para 400 kN, maior que o até então máximo peso total de 360 kN, do veículo-tipo Classe 36 da então NB-6/60. Já em 1978, “o CNT autorizou a circulação de caminhões com PBTC [Peso Bruto Total Combinado] de até 450 kN” (ROSSIGALI, 2013, p. 19).

Além disso, segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (Sindipeças, 2018), o número de caminhões em 1960 era de 126.768, passando para 422.879 em 1970 e para 1.064.540 em 1980, o que representa um aumento de cerca de 740% entre 1960 e 1980, informação essa que certamente influenciou para a modificação da norma.

Os dados relacionados nos dois parágrafos anteriores, justificaram a necessidade de modificar a NB-6/60 então em vigor, a qual foi reeditada em 1982 e, em 1984 foi publicada como a NBR 7188:84. As antigas Classes 36, 24 e 12 deram lugar a três novas classes: Classe 45 com um veículo-tipo de 450 kN de peso total; Classe 30: com um veículo-tipo de 300kN de peso total e Classe 12 com um veículo-tipo de 120kN de peso total, mantido da norma anterior.

A norma não mais definiu critérios para utilização dos diferentes veículos- tipo que ficaram por conta dos órgãos nas suas respectivas jurisprudências. O trem-tipo passou a ser composto por um veículo-tipo mais a carga de multidão uniformemente distribuída no tabuleiro da ponte, conforme as tabelas 5 e 6 e a figura 6.

Tabela 5 – Trens-tipo de acordo com a NBR 7188:1984 (ABNT, 1984).

Classe da ponte	Veículo		Carga uniformemente distribuída		Disposição da carga
	Tipo	Peto total (kN)	p (kN/m ²)	p' (kN/m ²)	
45	45	450	5,0	3,0	* Carga p em toda a pista * Carga p' nos passeios.
30	30	300	5,0	3,0	
12	12	120	3,0	3,0	

Tabela 6 – Valores característicos para os trens-tipo da NBR 7188:1984 (ABNT, 1984).

Características	Tipo 45	Tipo 30	Tipo 12	Unidades
Quantidade de eixos	3	3	2	Eixo
Peso total do veículo	450	300	120	kN
Peso de cada roda dianteira	75	50	20	kN
Peso de cada roda traseira	75	50	40	kN

Peso de cada roda intermediária	75	50	-	kN
Largura de contato b_1 de cada roda dianteira	0,50	0,40	0,20	m
Largura de contato b_3 de cada roda traseira	0,50	0,40	0,020	m
Largura de contato b_2 de cada roda intermediária	0,50	0,40	-	m
Comprimento de contato de cada roda	0,20	0,20	0,20	m
Area de contato de cada roda	0,20 x b	0,20 x b	0,20 x b	m ²
Distância entre eixos	1,50	1,50	3,00	m
Distância entre os centros de roda de cada eixo	2,00	2,00	2,00	m

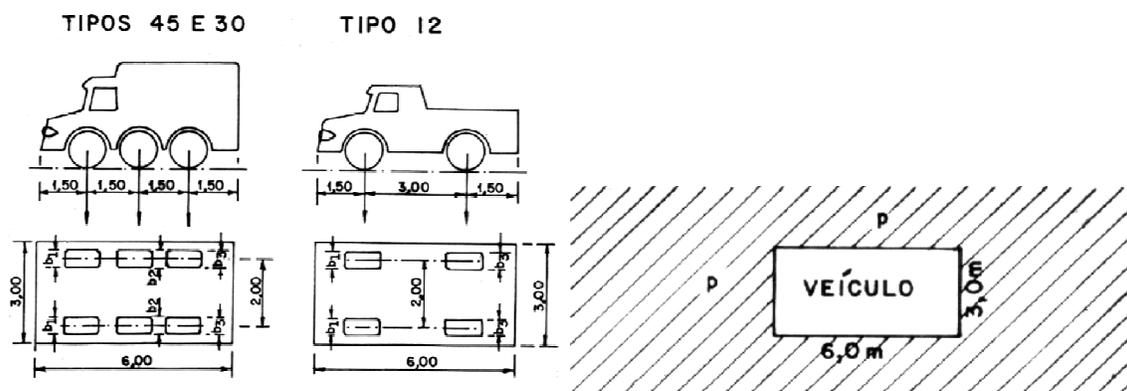


Figura 6 – Trens-tipo e multidão da NBR 7188, de 1984 (ABNT, 1984)

Destaca-se que as cargas p e p' do trem-tipo da NBR 7188:1984 tiveram significado diferente da que tinham na NB-6/60. No caso do cálculo dos arcos ou vigas principais a norma permitiu que se tivesse um trem-tipo simplificado, homogeneizando as cargas distribuídas sob o veículo e subtraindo das cargas concentradas dos veículos as parcelas correspondentes àquela homogeneização, desde que não houvesse redução dos esforços solicitantes. Esse carregamento móvel obtido de forma simplificada está indicado na figura 7.

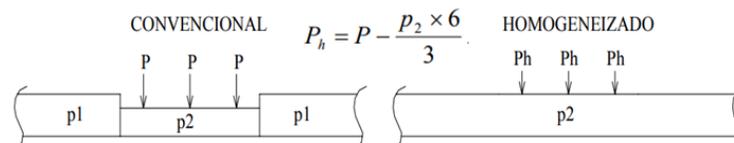


Figura 7 – Simplificação para o carregamento móvel pela ABNT NBR 7188 (ABNT, 1984)

A partir da entrada em vigor da NBR7188:1985, as pontes das rodovias em pistas simples passaram a ter tabuleiros com 12,80 m de largura, compostos por faixa de rolamento com 7,00m, dois acostamentos de 2,50m e duas barreiras New Jersey de ,40m. Também houve o desligamento das transversinas da laje do tabuleiro, a adoção de declividades transversais diretamente na laje, diminuindo assim a grande espessura da camada de pavimentação sobre o tabuleiro e a introdução de pingadeiras nas extremidades dos bordos inferiores dos balanços das lajes, de modo a reduzir o escoamento de água na

face inferior, contribuindo para a redução da deterioração do concreto e melhorando as condições de conservação do tabuleiro.

Desde esse período até os dias atuais emprega-se nos projetos de pontes das rodovias federais de pistas simples a largura total de 12,80, conforme a figura 8.

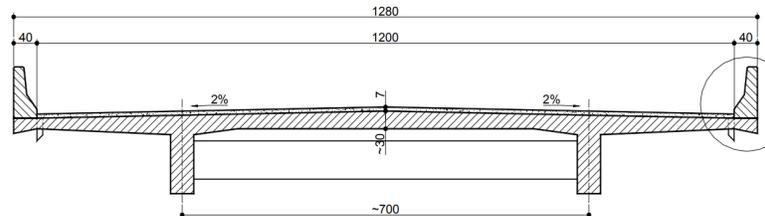


Figura 8 – Seção transversal das pontes projetadas entre 1985 até os dias atuais, em cm (DNIT, 2004)

3.4 Norma NBR 7188, de 2013

Em 2013 foi publicada a mais recente versão da ABNT NBR 7188, denominada “Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas”. A mudança ocorreu em função da magnitude das ações acidentais, do crescente aumento da densidade do tráfego pesado desde 1990, conforme mostra a tabela 7 e das anomalias observadas nas pontes e nos viadutos. Dois trabalhos subsidiaram a mudança: “Reavaliação do Trem-Tipo à Luz das Cargas Reais nas Rodovias Brasileiras” – Tese de Doutorado de Lorenzo A. R. e Luchi (2006); e “Análise das Consequências do Tráfego de CVCs (Combinações de Veículos de Cargas) sobre as Obras de Artes Especiais da Rede Viária do DER/SP” – Relatório Técnico desenvolvido pelo Corpo Técnico da Escola de Engenharia de São Carlos (2001) (TIMERMAN;BIER, 2012, p .25)

Tabela 7 – Evolução da frota de caminhões (SINDIPEÇAS, 2018).

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Número de Caminhões	1.238.376	1.239.672	1.222.967	1.215.178	1.216.953	1.222.403	1.208.156
Ano	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Número de Caminhões	1.200.856	1.186.424	1.164.540	1.152.937	1.148.456	1.143.396	1.146.854
Ano	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Número de Caminhões	1.170.074	1.188.042	1.202.653	1.239.999	1.301.375	1.377.736	1.456.649
Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Número de Caminhões	1.577.072	1.664.778	1.769.624	1.859.642	1.881.936	1.883.864	1.887.883

A nova NBR 7188:2013 apresenta apenas duas classes de veículos: Uma com um veículo-tipo de 450 kN e outra com um veículo-tipo de 240 kN, para estradas vicinais municipais de uma faixa e obras particulares.

A tabela 8 mostra o trem-tipo, onde p é a parcela de cargas uniformemente distribuídas e P são as cargas concentradas nos eixos das rodas do trem tipo. Na figura 9 o modelo de cargas móveis do TB-450, com seis rodas, ocupando uma área de 18,0 m².

Tabela 8 – Trens-tipo de acordo com a NBR 7188:2013 (ABNT, 2013).

Classe da ponte	Veículo		Carga uniformemente distribuída		
	Tipo	Peto total (kN)	p (kN/m ²)	p' (kN/m ²)	Disposição da carga
45	45	450	5,0	3,0	* Carga p em toda a pista
24	24	240	4,0	3,0	* Carga p' nos passeios.

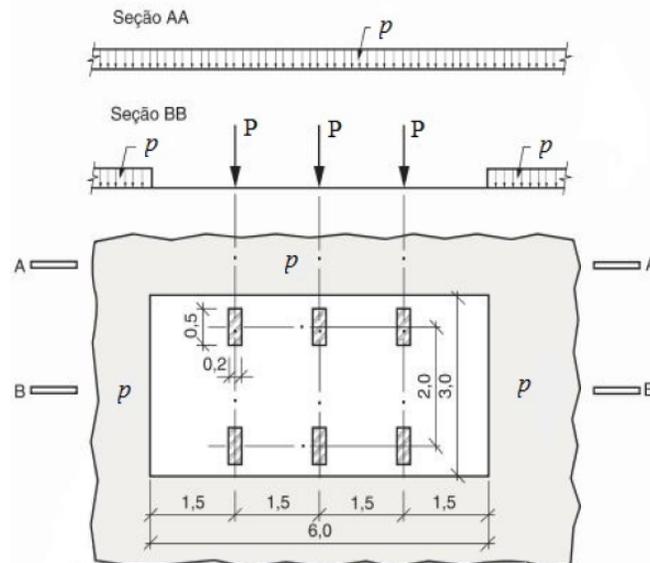


Figura 9 – Modelo de cargas móveis da NBR 7188:2013 (ABNT, 2013)

Apesar da natureza do carregamento móvel ser dinâmica, boa parte das diferentes normas de projetos de pontes abordam esse carregamento como se fosse estático (JUNGES, 2017). Para corrigir essa abordagem analítica, existem fatores de impacto que amplificam os efeitos do carregamento estático (JUNGES, 2017).

O fator de impacto φ apresentado na equação 1 manteve-se em vigor até a NBR 7188:1984. Já na NBR 7188:2013, esse fator passou a apresentar valores e equações diferentes para ser determinado. Tais fatores são o Coeficiente de impacto vertical (CIV), o Coeficiente do número de faixas (CNF) e o Coeficiente de impacto adicional (CIA), conforme item 5.1.2 da NBR 7188:2013. De acordo com Silva et al. (2014, p. 3-4):

CIV - Tem a função de amplificar a ação da carga estática, simulando o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores. 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.

CNF - Relaciona a probabilidade da carga móvel ocorrer em função do número de faixas (exceto acostamento e faixas de segurança);

CIA - Consiste em majorar a carga móvel devido à imperfeição e/ou descontinuidade da pista de rolamento, no caso de juntas de dilatação e nas extremidades da obra, estruturas de transição e acessos (SILVA et al., 2014, p. 3-4).

Segundo a NBR 7188:2013, os coeficientes são obtidos da seguinte forma:

$CIV = 1,35$, para estruturas com vão menor do que 10,0 m (Equação 1)

$CIV = 1 + 1,06 * \left(\frac{20}{Liv + 50} \right)$, para estruturas com vão entre 10,0 m e 200,0 (Equação 2)

Onde:

Liv é o vão em metros para o cálculo do CIV, conforme o tipo de estrutura, sendo:

Liv L usado para estruturas de vão isostático é a média aritmética dos vãos nos casos dos vãos contínuos,

Liv é o comprimento do próprio balanço para estruturas em balanço,

L é o vão em metros.

$CNF = 1 - 0,05 * (n - 2) > 0,9$ (Equação 3)

Onde:

n é um número (inteiro) de faixas de tráfego a serem carregadas sobre um tabuleiro transversalmente contínuo. Acostamentos e faixas de segurança não são faixas de tráfego da rodovia.

A NBR 7188:2013 ainda destaca que este coeficiente não se aplica para o dimensionamento de elementos estruturais ao sentido do tráfego (lajes, transversinas, etc.).

$CIA = 1,25$, para obras em concreto e mistas (Equação 4)

$CIA = 1,15$, para obras de aço (Equação 5)

Esses coeficientes devem majorar as cargas, conforme as $Q = P * CIV * CNF * CIA$
 (Equação 6) equações 7 e 8:

$Q = P * CIV * CNF * CIA$ (Equação 6)

$q = p * CIV * CNF * CIA$ (Equação 7)

Onde:

Q é o valor estático de uma roda do veículo, acrescido de todos os coeficientes de ponderação;

P é o valor estático de uma roda do veículo;

p é o valor da carga móvel uniformemente distribuída;

q é o valor da carga móvel uniformemente distribuída, acrescido de todos os coeficientes de ponderação.

Análises conduzidas por Silva et al. (2014) mostraram que a introdução dos novos coeficientes CIV, CNF e CIA, na NBR 7188:2013, representam um aumento de cerca de

45% em relação ao fator de impacto que vigorava até a NBR 7188:1984. Além disso, os autores observaram que com a atualização da norma, foi “acrescida uma margem de segurança à intensidade das cargas, devido ao impacto, de 62,5 % a mais para cada roda do trem-tipo, como também às cargas distribuídas atuantes na estrutura” (SILVA et al., 2014, p.10).

Por sua vez, Albuquerque et al. (2018, p. 9-10) concluíram que o CIV, “equivalente ao recomendado pela ABNT NBR 7187:2003, que é função do vão teórico de cada elemento carregado, pode sofrer um aumento de até 19%”. Ademais, “em pontes com quantidade de faixas de tráfego superiores a 2, o coeficiente de número de faixas (CNF) reduz o efeito da carga móvel em até 10%” (ALBUQUERQUE et al., 2018, p. 10).

Carmem e Bitencourt (2018, p. 9) concluíram 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”. Já para vãos com mais de 10 m, os autores concluíram que a norma brasileira apresentou valores próximos às normas dos Estados Unidos, Japão, Nova Zelândia e ao Eurocode, entretanto, ainda conservadores (CARNEIRO; BITTENCOURT, 2018). Carneiro e Bittencourt (2018, p. 9) explicam que:

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 amplificações representativas baseadas na natureza do tráfego e nas condições das rodovias no país (CARNEIRO; BITTENCOURT, 2018, p. 9).

Além das novidades apresentadas acima, esta norma apresenta em seu Anexo A (Normativo), “Carga de veículos especiais”, que, “a critério do órgão com jurisdição sobre a rodovia as obras a serem implementadas devem ser verificadas para o transporte de carga especial” (ABNT, 2013). A verificação deve ser feita para os Estados-Limites Últimos, considerando os coeficientes de majoração definidos na ABNT NBR 8681 e utilizando como veículo-tipo o veículo do croqui apresentado na figura 10.

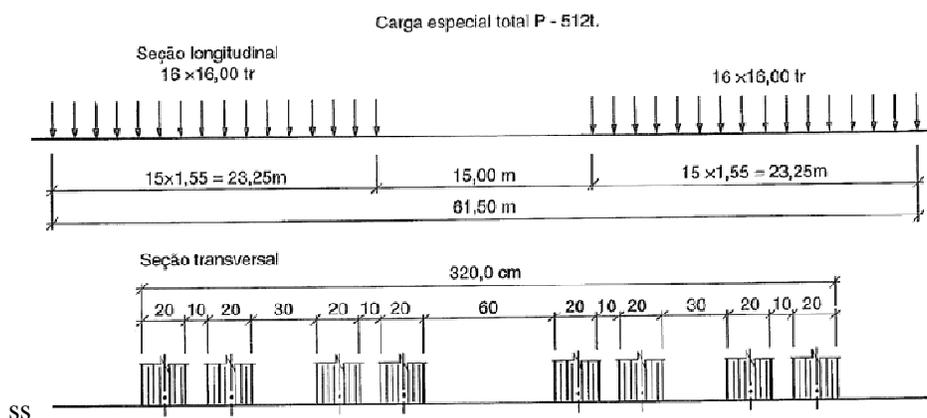


Figura 10 – Disposição de cargas estáticas – Veículo especial - da NBR 7188 (ABNT, 2013)

4 Considerações sobre a evolução das normas, das técnicas construtivas, dos materiais e dos projetos de pontes

A necessidade de vencer vãos maiores, de construir pontes com estruturas mais robustas, leves, econômicas e com maior durabilidade, segurança e funcionalidade, resultou na evolução das técnicas construtivas empregadas, que foram se modificando e aprimorando ao longo dos anos. Isso, evidentemente, repercutiu nas tipologias estruturais utilizadas e nos materiais empregados, como, por exemplo concreto, cuja resistência à compressão aumentou significativamente desde a edição das primeiras normas de estruturas até as normas atuais, propiciando projetos mais arrojados, que passaram a ser elaborados com a utilização de avançados programas de computador.

O processo de evolução foi ocorrendo de forma natural, visto que com o passar dos anos foi-se verificando “a exigência cada vez maior pela utilização de materiais com maior resistência, maior durabilidade, melhor aparência, melhor trabalhabilidade e de moldagem mais fácil, dentre outras características” (CARDOZO, 2018).

Nesse sentido, Cardozo (2018) contextualiza o avanço tecnológico, nas pesquisas científicas por materiais e técnicas construtivas que estejam em consonância com as normas existentes e a adequação e o aprimoramento das normas à essa realidade.

Polegato (2018, p. 1) pontua que “a partir dos avanços no setor da construção civil, o processo de execução das pontes com a utilização de vigas confeccionadas fora de sua posição definitiva, tornou-se um recurso bastante empregado, pois, acelera o processo de execução destas estruturas e minimizam os gastos com mão-de-obra”.

A construção de pontes e viadutos com a utilização de concreto protendido tem expandido e se tornado uma das opções mais frequentes entre os projetistas. Wagner e Freitas (2018, p. 2) explicam que isso vem ocorrendo devido à capacidade das estruturas de concreto protendido “de vencer maiores vãos com seções de menor dimensão e maior capacidade de carga quando comparadas ao concreto armado”.

Por sua vez, a utilização de pontes com estruturas metálicas e mistas no Brasil advém do “surgimento dos aços com alta resistência mecânica e à corrosão atmosférica, do desenvolvimento das técnicas de solda e o emprego de chapas de grandes dimensões”, como explicado por Vitória (2018, p. 2). Nesse sentido, a recente edição de uma norma da ABNT para projetos de pontes metálicas e mistas preenche uma grande lacuna pelo fato de permitir aos projetistas a utilização de uma norma nacional em vez das normas americanas e europeias até então utilizadas.

5 Conclusões

Diante do exposto, é possível perceber que desde sua origem e ao longo de pouco mais de 75 anos a norma brasileira específica para as cargas móveis de pontes e viadutos rodoviários, passou por significativas modificações, sobretudo nos trens-tipo empregados, que foram movidas principalmente pelas alterações dos tipos e quantidades de veículos que têm trafegado nas rodovias brasileiras ao longo desses anos.

Ademais, conforme anteriormente explicado, a norma brasileira desde os seus primórdios, embasou-se em uma norma alemã e, até hoje, alguns autores ainda chamam a atenção para o fato de ainda não existir um trem-tipo tipicamente brasileiro, bem como uma norma de cargas móveis que se baseie no tráfego real das rodovias brasileiras, nos moldes das cargas móveis do Eurocode cujos valores característicos foram determinados com base em medições feitas no tráfego real das rodovias europeias. O Eurocode já incorpora a amplificação dinâmica aos valores característicos das cargas móveis, de modo a não haver a necessidade do coeficiente de impacto que representa um conservadorismo por transformar cargas estáticas em cargas dinâmicas pela adoção de coeficientes. Isso altera a confiabilidade dos valores dos esforços atuantes calculados em projeto e pode inclusive repercutir nos custos de construção e no próprio desempenho das pontes e dos viadutos ao longo das suas vidas úteis. Recomenda-se, portanto, que a próxima revisão da norma NBR 7188 incorpore os avanços dos estudos e pesquisas atuais para que se torne mais realista e de acordo com as demandas do tráfego das rodovias brasileiras.

Agradecimentos

Faz-se especial agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que é uma fundação vinculada ao Ministério da Educação do Brasil, pelo apoio através da bolsa de estudos concedida ao autor correspondente. Agradece-se também ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECiv) por todo apoio concedido.

6 Referências

ALBUQUERQUE, Vitor dos Santos et al. Efeitos da mudança do coeficiente de impacto prescrito pela norma brasileira no dimensionamento das longarinas de pontes em vigas de alma cheia, **10º Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**. Rio de Janeiro, ABPE, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB-6**: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188**: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188**: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188**: Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

CARNEIRO, Anselmo Leal; BITTENCOURT, Túlio Nogueira. Coeficientes de Impacto Normativos em Pontes Rodoviárias: Uma Avaliação da Norma Brasileira em relação aos ANAIS DO 62º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2020 – 62CBC2020



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Códigos Estrangeiros. **10º Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**. Rio de Janeiro, ABPE, 2018.

CAVALCANTI, Paulo de Sá Pereira. **Pontes: Trens tipo de projeto AP-02**. Apostila, 14 f. Faculdade de Engenharia de Sorocaba, 2004.

DENG, Lu; WANG, Wei; YU, Yang. **State-of-the-art review on the causes and mechanisms of bridge collapse**. Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE, v. 30, n. 2, p. 1-13, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2004.

HAN, Wanshui et al. **Characteristics and Dynamic Impact of Overloaded Extra Heavy Trucks on Typical Highway Bridges**. Journal of Bridge Engineering, v. 20, n. 2, p. 1-11, 2015. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29BE.1943-5592.0000666>>.

HAN, Wanshui et al. **Dynamic Impact of Heavy Traffic Load on Typical T-Beam Bridges Based on WIM Data**. Journal of Performance of Constructed Facilities, v. 31, n. 3, p. 1-14, 2017. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0000991>>.

JUNGES, Paulo. **Análise da Fadiga em Pontes Curtas de Concreto Armado a partir de Dados do Sistema B-Win**. 2017. 224 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

LUCHI, Lorenzo Augusto Ruschi e. **Reavaliação do Trem-Tipo à Luz das Cargas Reais nas Rodovias Brasileiras**. 2006. 282 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas e Fundações, da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

NOWAK, Marcel; FISCHER, Oliver. **Traffic Parameter Sensitivity in the Development of Site-specific Load Models**. Procedia Engineering, v. 156, p. 296–303, 2016.

PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983. v. 1.

PIRCHER, Martin et al. **Damage due to heavy traffic on three RC road bridges**. Engineering Structures, v. 33, n. 12, p. 3755–3761, 2011.

ROSSIGALI, C. E. **Atualização do Modelo de Cargas Móveis para Pontes Rodoviárias de Pequenos Vãos no Brasil**. 2013. 304 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SCHNEIDER, Sebastian; MARX, Steffen. **Design of railway bridges for dynamic loads due to high-speed traffic**. Engineering Structures, v. 174, n. January, p. 396–406, 2018b.

SILVA, Pauline Fonseca da, 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. 7. 2014 Anais... Associação Brasileira de Pontes e Estruturas, 2014, p. 1-10. < http://www.abpe.org.br/trabalhos/trab_100.pdf>. Acesso em: 12 de set. 2018.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA E COMPONENTES PARA VEÍCULOS AUTOMOTORES (Sindipeças). **Frota Circulante. Relatório da Frota Circulante**. 2018. Disponível em: < <https://www.sindipeças.org.br/area-atuacao/?co=s&a=frota-circulante>>. Acesso em: 13 de jan. 2019

TIMERMAN, Rafael. **Histórico das normas brasileiras para cargas móveis em projetos de pontes e viadutos**. Revista Concreto & Construção, n. 80, p. 123-128, 2015. Disponível em: <http://ibracon.org.br/site_revista/concreto_construcoes/ebook/edicao80/files/assets/basic-html/index.html#123>. Acesso em 15 de jan. 2019.

TIMERMAN, Rafael; BEIER, Martin. **CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DA ABNT NBR 7188** – “Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e outras Estruturas”. Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE). 2012. Disponível em: <http://www.deecc.ufc.br/Download/TB803_Pontes%20I/Nova%20NBR7188.pdf>

VITÓRIO, J.A.P. **Conservação, danos estruturais e reforço de pontes metálicas e mistas**. Anais do X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro, 2018.