

**Normas Técnicas Brasileiras sobre Projeto de Pontes em Concreto Armado:
Considerações e Evolução****Brazilian Technical Standards on Design of Reinforced Concrete Bridges:
Considerations and Evolution**

DOI:10.34117/bjdv6n10-240

Recebimento dos originais:08/09/2020

Aceitação para publicação:13/10/2020

Rafaela da Silva Guimarães

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia
Universidade Federal Fluminense
Endereço:Rua Passo da Pátria, 156, Sala 365, Bloco D, Niterói/RJ, CEP 24210-240
E-mail: rafaelaguimaraes@id.uff.br

Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro

Professora Associada do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
Universidade Federal Fluminense
Endereço:Rua Passo da Pátria, 156, Sala 463, Bloco D, Niterói/RJ, CEP 24210-240
E-mail: mayraperlingeiro@id.uff.br

Luiz Antonio Vieira Carneiro

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
Universidade Federal Fluminense
Endereço:Rua Passo da Pátria, 156, Sala 463, Bloco D, Niterói/RJ, CEP 24210-240
E-mail: luizcarneiro@id.uff.br

Flavia Moll de Souza Júdice

Professora Associada do Departamento de Estruturas da Escola Politécnica
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Endereço:Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Sala 205, Bloco D, Rio de Janeiro/RJ, CEP 21941-909
E-mail: flaviamoll@poli.ufrj.br

RESUMO

Ao longo dos anos, as Normas Brasileiras de dimensionamento e execução de pontes em concreto armado passaram por diversas revisões derivadas das mudanças das características de projeto, como alterações nos carregamentos e nas seções transversais. Nesse contexto, procura-se identificar as características das seções transversais típicas de diversos períodos de construções de Obras de Arte Especiais (OAE), além das principais alterações nas diretrizes normativas vigentes na época de projeto.

Palavras-chave: Normas Técnicas, Pontes, Concreto Armado.

ABSTRACT

Over the years, the Brazilian Standards on the design and construction of reinforced concrete bridges have undergone several revisions derived from changes in the design characteristics, such as changes in loads and cross-sections. In this context, this work aims to identify the typical cross-sections characteristics in different periods of bridge construction and the main changes in the guidelines at the time of the project.

Keywords: Technical Standards, Bridges, Reinforced Concrete.

1 INTRODUÇÃO

A malha rodoviária começou a ser implantada na década de 1940 seguida da edição das primeiras Normas Brasileiras de dimensionamento e execução de estruturas em concreto armado e em madeira. No decorrer dos anos, estas normas passaram por diversas revisões derivadas das mudanças das características de projeto, como alterações na geometria da via, nos carregamentos e nas seções transversais.

A maioria das pontes é construída em concreto armado, enquanto as em madeira são, atualmente, empregadas em obras provisórias. A utilização da madeira como material de construção de longarinas é recomendada para pontes com pequenos vãos e tráfego leve.

A partir das recomendações da norma ABNT NBR 7190 (1997) e dos resultados da simulação numérica em programa computacional com base no método dos elementos finitos, verificou-se que a capacidade resistente do tabuleiro misto (laje em concreto armado e sete longarinas em madeira laminada colada biapoiadas de 15 m de vão) foi semelhante à de tabuleiro em concreto armado equivalente (LUZ *et al.*, 2020).

Ao longo dos anos, muitas obras foram substituídas, restauradas ou reabilitadas de acordo com a necessidade de manutenção e conservação, em adição ao atendimento ao volume de tráfego. Esse fato dificulta a identificação de pontes e viadutos, no que diz respeito à época do projeto e a sua Classe. Entretanto, o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (DNIT, 2004) aponta que, aquelas que não tiveram suas características originais alteradas ou que sofreram pequenas modificações, podem ser facilmente identificadas.

Nesse contexto, procura-se identificar as características das seções transversais típicas de diversos períodos de construções de Obras de Arte Especiais (OAE) em concreto armado, além das principais mudanças nas diretrizes normativas, as quais comprometem suas funcionalidades e segurança.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada neste estudo consistiu na revisão das normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) aplicáveis a projetos de pontes em concreto armado, além do Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004).

3 EVOLUÇÃO DAS NORMAS TÉCNICAS DE PROJETO DE PONTES

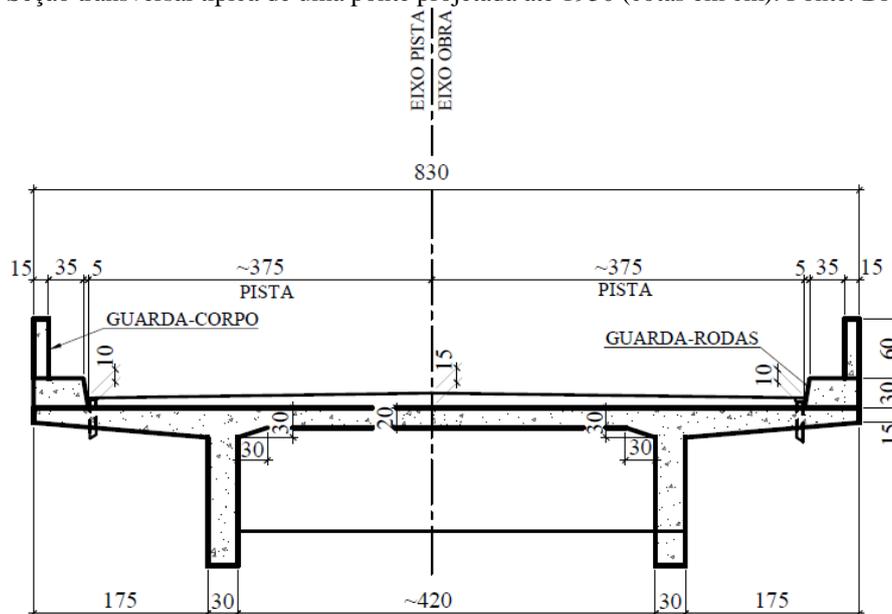
Ao analisar as características das pontes brasileiras existentes, assim como as edições das normas técnicas, pode-se classificar o histórico da construção de pontes em cinco períodos. Dessa forma, são apresentadas a seguir as seções transversais típicas de cada um deles, conforme o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004), e as normas técnicas em vigência à época.

3.1 PONTES PROJETADAS ATÉ 1950

As pontes projetadas até 1950 são caracterizadas por possuírem pistas com largura de duas faixas de tráfego com guarda-rodas baixos e são marcadas pela ausência de pingadeiras. As transversinas eram tradicionalmente ligadas às lajes, a pavimentação era feita com grandes espessuras e os drenos dispostos com espaçamentos iguais, inclusive sobre as saias de aterro.

A seção transversal típica de uma obra projetada nesse período possui uma largura total de 8,30 m, sendo 7,20 m da pista e 0,55 m de cada um dos dois guarda-rodas, que inclui os 0,15 m do guarda-corpo de cada lado. A Figura 1 mostra em corte esta seção transversal.

Figura 1. Seção transversal típica de uma ponte projetada até 1950 (cotas em cm). Fonte: DNIT, 2004.



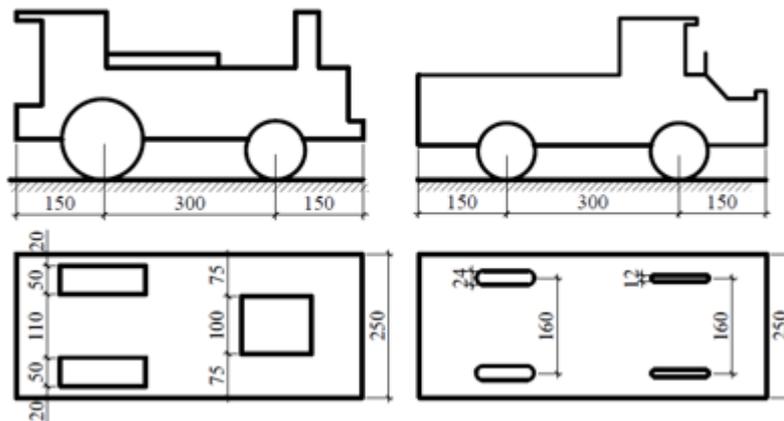
O quadro 1 apresenta as características gerais de dimensionamento incluindo as normas em vigência na época de projeto.

Quadro 1. Características de dimensionamento até 1950.

Normas Brasileiras	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NB-1 (1946) – Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado; • ABNT NB-2 (1946) – Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado.
Normas Rodoviárias	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NB-6 (1946) – Carga móvel em Pontes Rodoviárias.
Carga Móvel	Classe I: <ul style="list-style-type: none"> • Trem-tipo de 240 kN; • Caminhões de 90 kN tantas quantas forem as faixas de tráfego menos uma; • Carga de multidão variável com o vão teórico, no geral de 4,5 kN/m².
Coefficiente de Impacto	<ul style="list-style-type: none"> • $\varphi = 1,3$

Os veículos-tipo para pontes de Classe I, situadas em estradas federais, estaduais e de ligação principais, são ilustrados na figura 2 e suas características são representadas no Quadro .

Figura 2. Veículos-tipo estabelecidos na ABNT NB-6/1946.



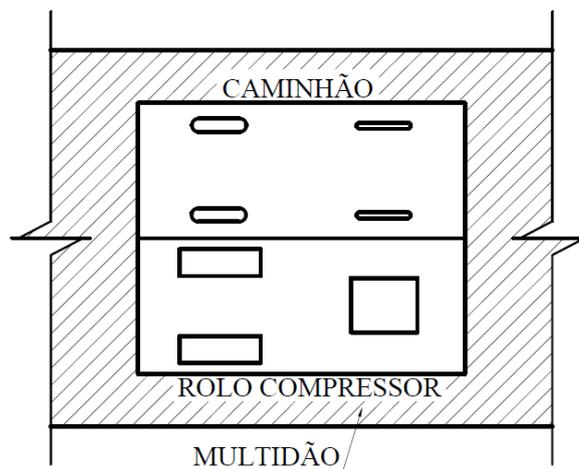
Quadro 2. Características dos veículos-tipo da ABNT NB-6 (1946).

Quadro 2. Características dos veículos-tipo da ABNT NB-6 (1946).

Características	Rolo Compressor	Caminhão
Peso total	240 kN	90 kN
Peso de uma roda dianteira	100 kN	15 kN
Peso da(s) roda(s) traseira(s)	70 kN	30 kN
Largura da(s) roda(s) dianteira(s)	100 cm	12 cm
Peso total	240 kN	90 kN
Peso de uma roda dianteira	100 kN	15 kN
Peso da(s) roda(s) traseira(s)	70 kN	30 kN
Largura da(s) roda(s) dianteira(s)	100 cm	12 cm

O esquema para formação do trem-tipo é ilustrado na Figura 3. A carga de multidão é igual a 4,5 kN/m².

Figura 3. Esquema para formação do trem-tipo da ABNT NB-6 (1946).



3.2 PONTES PROJETADAS DE 1950 A 1960

As pontes projetadas entre 1950 e 1960 permaneceram com as mesmas características e seção transversal daquelas projetadas em anos anteriores, como apresentado na Figura 1.

Entre as características gerais de dimensionamento, ocorreram mudanças na Norma Rodoviária e no tipo do caminhão utilizado para o cálculo do trem-tipo conforme mostra o 3.

Quadro 3. Características de dimensionamento entre 1950 e 1960.

Normas Brasileiras	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NB-1 (1946) – Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado; • ABNT NB-2 (1946) – Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado.
Normas Rodoviárias	<ul style="list-style-type: none"> • NPER (1949) – Normas para Projeto de Estradas de Rodagem.
Carga Móvel	Classes Especial e I: <ul style="list-style-type: none"> • Trem-tipo de 240 kN; • Caminhões de 120 kN tantas quantas forem as faixas de tráfego menos uma; • Carga de multidão variável com o vão teórico, basicamente de 5,0 kN/m².
Coefficiente de Impacto	<ul style="list-style-type: none"> • $\varphi = 1,3$

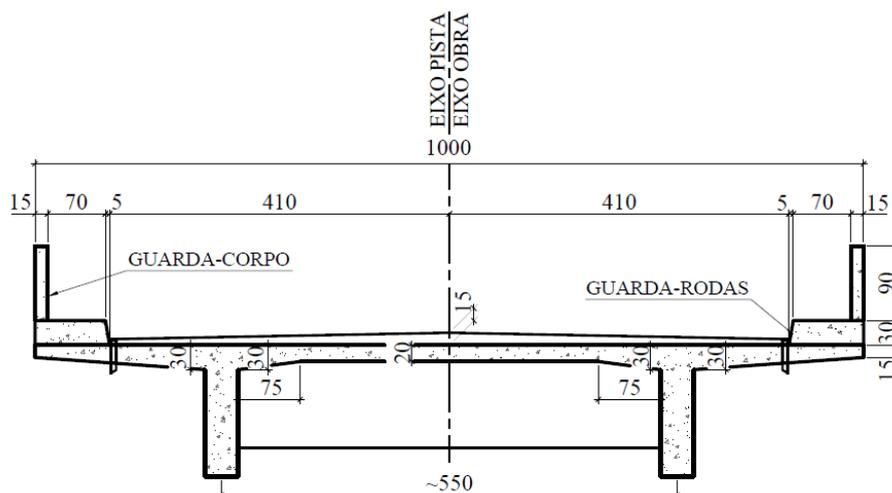
Nesse período, houve a inclusão de mais um tipo de carga móvel, a Classe Especial. Além disso, a Classe I sofreu alteração de um caminhão de 90 kN para um de 120 kN. Nesse caso, a carga na roda dianteira passou de 15 kN para 20 kN e as rodas traseiras de 30 kN para 40 kN.

3.3 PONTES PROJETADAS DE 1960 A 1975

Apesar de possuírem características iguais às pontes projetadas até 1960, sua largura total aumentou com a adição de faixas de segurança. A seção transversal típica desse período passou a ter uma largura total de 10,00 m, sendo 8,20 m da pista e 0,90 m de cada um dos dois guarda-rodas, contando os 0,15 m do guarda-corpo de cada lado. A Figura 4 ilustra o corte dessa seção transversal.

O 4 apresenta as características gerais de dimensionamento, incluindo as normas em vigência na época.

Figura 4. Seção transversal típica de uma ponte projetada de 1960 a 1975 (cotas em cm). Fonte: DNIT, 2004.

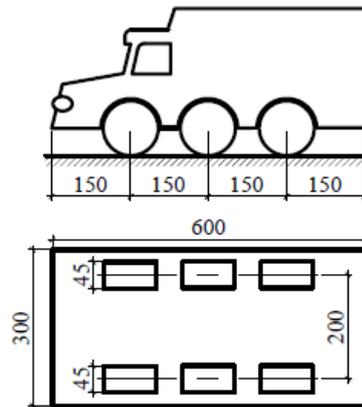


Quadro 4. Características de dimensionamento de 1960 a 1975.

Normas Brasileiras	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NB-1 (1960) – Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado; • ABNT NB-2 (1961) – Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado.
Normas Rodoviárias	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NB-6 (1960) – Carga móvel em Pontes Rodoviárias.
Carga Móvel	Classe I: <ul style="list-style-type: none"> • Trem-tipo de 360 kN; • Carga de multidão de 5,0 kN/m² na frente e atrás do veículo e de 3,0 kN/m² no restante da pista e passeio.
Coefficiente de Impacto	<ul style="list-style-type: none"> • $\varphi = 1,4 - 0,007L \geq 1,0$, sendo L o comprimento do vão teórico em metros.

O trem-tipo da carga móvel para pontes classificadas como Classe I é ilustrado na Figura 5 e suas características são apresentadas no 5.

Figura 5. Veículo TB-360 estabelecido na ABNT NB-6 (1961) (cotas em cm).

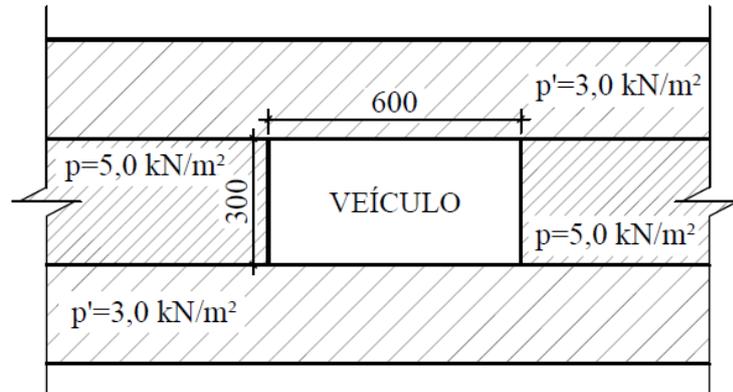


Quadro 5. Características do TB-360 da ABNT NB-6 (1961).

Veículo 360 kN	
Quantidade de eixos	3
Peso total	360 kN
Peso de uma roda	60 kN
Largura de contato da roda	45 cm
Comprimento de contato da roda	20 cm
Distância entre eixos	150 cm
Distância entre as rodas de cada eixo	200 cm

A Figura 6 ilustra o esquema para formação do trem-tipo. A carga de multidão, na frente e atrás do veículo, é de $5,0 \text{ kN/m}^2$, enquanto no restante da pista e passeio é de $3,0 \text{ kN/m}^2$.

Figura 6. Esquema para formação do trem-tipo (cotas em cm).

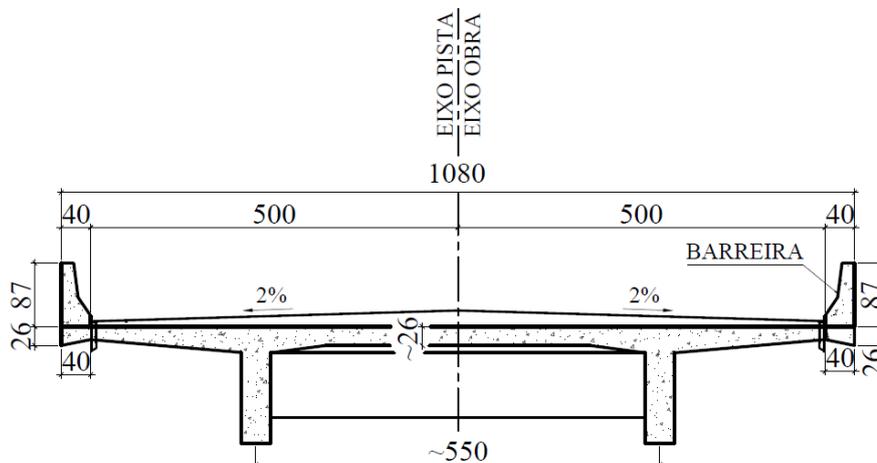


3.4 PONTES PROJETADAS DE 1975 A 1984

Entre 1975 e 1984, as principais características das obras são a presença de pistas com incorporação de acostamento parcial, a presença de barreiras tipo *New Jersey* e de pingadeiras. As transversinas passaram a ser desligadas das lajes, que agora possuem declividades e pavimentação de pequena espessura. Os drenos são dispostos de forma a evitar as saias de aterro.

A seção transversal típica de uma obra desse período possui uma largura total mínima de 10,80 m, com a pista de largura maior que 10,00 m. A barreira tipo *New Jersey* está presente em cada extremidade da ponte com largura de 0,40 m como mostra a Figura 7.

Figura 7. Seção transversal típica de uma ponte projetada de 1975 a 1984 (cotas em cm). Fonte: DNIT, 2004.

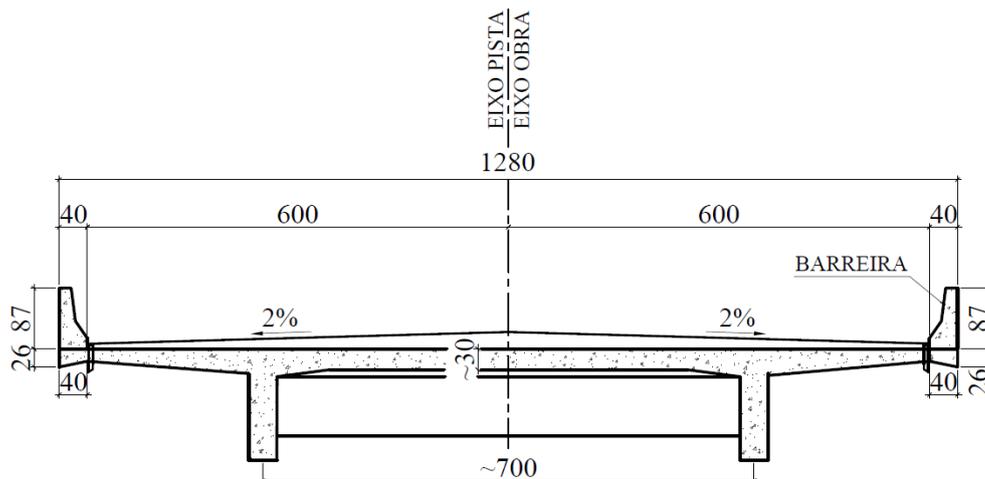


As características de dimensionamento pouco se alteraram desde o período entre 1960 e 1975. A norma ABNT NB-1 passou por uma revisão em 1978 e posteriormente em 1980, sendo a mais atualizada em vigência no período de 1975 a 1984. A ABNT NB-6 foi revisada em 1982, porém foi reimpressa em 1984, já com a numeração atual ABNT NBR 7188 (1984). A carga móvel adotada no período continuou, então, aquela descrita na ABNT NB-6 (1960) que, para Classe I, segue o Quadro . As demais informações de dimensionamento podem ser obtidas no Quadro 4 .

3.5 PONTES PROJETADAS APÓS 1984

As pontes projetadas após 1984 não sofreram alterações em seu projeto e permanecem iguais às de obras realizadas entre 1975 e 1984. Por outro lado, a seção transversal típica passou a ter uma largura total de 12,80 m e a pista uma largura de 12,00 m. Ao mesmo tempo, a barreira tipo *New Jersey* continua presente em cada extremidade da ponte. A seção transversal típica do período é representada na Figura 8.

Figura 8. Seção transversal típica de uma ponte projetada após 1984 (cotas em cm). Fonte: DNIT, 2004.



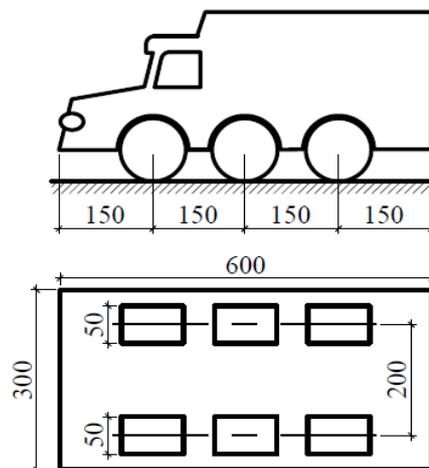
As características de dimensionamento pouco se alteraram das obras projetadas entre 1975 e 1984 e podem ser obtidas no Quadro 6.

Quadro 6. Características de dimensionamento após 1985.

Normas Brasileiras	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NB-1 (1978) e revisões até a atual ABNT NBR 6118 (2014) – Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado; • ABNT NBR 7187 (1987) – Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado e ABNT NBR 7187 (2003) – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento.
Normas Rodoviárias	<ul style="list-style-type: none"> • ABNT NBR 7188 (1984) e ABNT NBR 7188 (2013) – Carga móvel em Pontes Rodoviárias.
Carga Móvel	<p>Até 2013:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trem-tipo de 450 kN, 360 kN e 240 kN. <p>A partir de 2013:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trem-tipo de 450 kN e 240 kN; • Carga de Multidão de 5,0 kN/m² na pista e 3,0 kN/m² no passeio.
Coefficiente de Impacto	<p>Até 2013:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\varphi = 1,4 - 0,007L \geq 1,0$, sendo L o comprimento do vão teórico em metros. <p>A partir de 2013:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produto dos coeficientes de número de pistas (CNF), impacto vertical (CIV) e impacto adicional (CIA), $\varphi = CIV \cdot CIA \cdot CNF$. <p>sendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ CIV=1,35 para estruturas com vão menor do que 10,0 m; ○ $CIV = 1,0 + 1,06 \left(\frac{20}{L_{iv}+50} \right)$ para estruturas com vão entre 10,0 m e 200 m, onde L_{iv} é a média aritmética de vãos contínuos. ○ CIA=1,00 para seções com distância maior do que 5,0 m da junta; ○ CIA=1,25 para seções com distância menor do que 5,0 m da junta. ○ $CNF = 1,0 - 0,05 \times (n - 2)$, onde n é o número de faixas de rolamento.

A carga móvel, obrigatória para pontes rodoviárias federais projetadas após 1984, tem seu veículo-tipo ilustrado na figura 9 e suas características detalhadas no Quadro 7.

Figura 9. Veículo TB-450 estabelecido nas edições da ABNT NBR 7188 (cotas em cm).

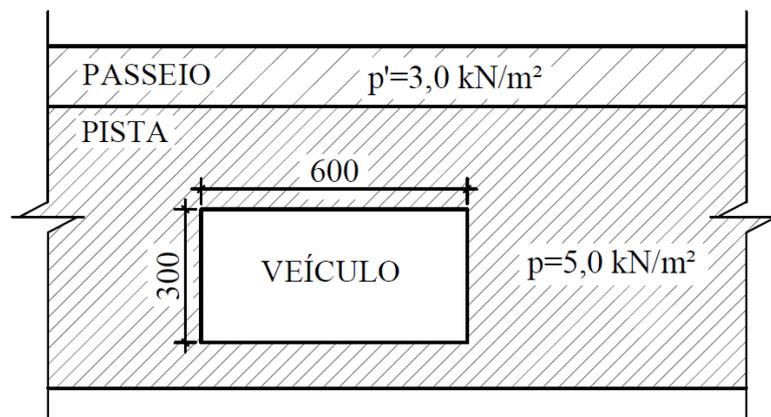


Quadro 7. Características do TB-450 nas edições da ABNT NBR 7188.

Veículo 450 kN	
Quantidade de eixos	3
Peso total	450 kN
Peso de uma roda	75 kN
Largura de contato da roda	50 cm
Comprimento de contato da roda	20 cm
Distância entre eixos	150 cm
Distância entre as rodas de cada eixo	200 cm

O esquema para formação do trem-tipo segue como mostrado na Figura 10. A carga de multidão é igual a $5,0 \text{ kN/m}^2$ na pista e de $3,0 \text{ kN/m}^2$ no passeio.

Figura 10. Esquema para formação do trem-tipo das edições da ABNT NBR 7188.



Nesse período, a consideração de carga adicional de $2,0 \text{ kN/m}^2$ de recapeamento na determinação dos carregamentos permanentes das pontes passou a ser prevista a partir da ABNT NBR 7187 (1987). Essa carga pode ser dispensada, a critério do proprietário da obra, no caso de pontes de grandes vãos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

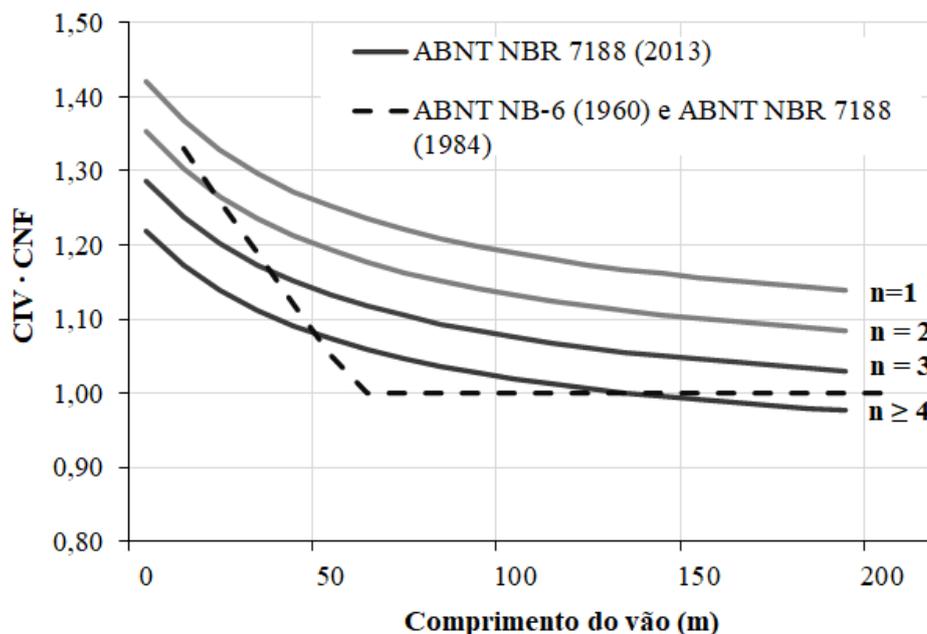
A presença de Obras de Arte Especiais, construídas em diferentes épocas, tem como resultado construções com diferentes seções transversais, dimensionadas a partir de diferentes carregamentos e detalhadas segundo diversos critérios vigentes em diferentes épocas.

As modificações nas seções transversais típicas são consequência da inclusão de faixas de segurança e acostamentos, troca do conjunto guarda-rodas e guarda-corpo por barreiras de segurança e adição de pingadeiras. Quanto às mudanças dos critérios normativos ao longo da vida útil de uma ponte, constata-se um aumento da carga móvel e sobrecarga permanente.

Entre as revisões das normas, ocorreram alterações no cálculo do coeficiente de impacto e no trem-tipo de projeto. Além disso, a consideração do recapeamento, prescrita a partir da norma ABNT NBR 7187 (1987), leva ao aumento do carregamento permanente.

A Figura 11 ilustra o gráfico que mostra a variação do coeficiente de impacto em função do vão de no máximo 200 m, para as normas ABNT NB-6 (1960), ABNT NBR 7188 (1984) e ABNT NBR 7188 (2013). Para vãos superiores a 200 m, deve ser elaborado modelo de análise específico. Observa-se que a atual ABNT NBR 7188 (2013) conduz a valores do coeficiente de impacto superiores, para o número de faixas igual ou inferior a dois ($n \leq 2$), às outras duas normas, que possuem a mesma expressão de cálculo. Entretanto, para vãos inferiores a 27,0 m ($n = 3$), 42,0 m ($n = 4$) e superior a 140,0 m ($n = 4$), o coeficiente de impacto resulta em valores inferiores ao preconizado nas duas normas anteriores. Destaca-se que para vãos superiores a 140,0 m e número de faixas igual a 4 ($n = 4$), o coeficiente de impacto é inferior à unidade e, portanto, redutor e contra a segurança.

Figura 11. Variação do coeficiente de impacto em função do vão.



As normas técnicas de dimensionamento de estruturas em concreto armado também passaram por revisões, portanto, diferentes fundamentos de cálculo foram adotados ao longo da história da implantação da malha rodoviária brasileira. Além do método de dimensionamento das áreas de aço longitudinais e transversais, as alterações dos coeficientes de ponderação de ações e especificações de detalhamento são tópicos de importância ao consultar as revisões das normas ABNT NB-1 e ABNT NBR 6118.

5 CONCLUSÃO

Das estruturas em geral, as pontes se apresentam como exemplos de obras de elevada vida útil, durante a qual ocorrem mudanças de carregamento e dos critérios de segurança, além do aumento de fluxo de veículos. Nesse contexto, o estudo da evolução das normas técnicas sobre projetos de pontes em concreto armado torna-se essencial.

Em relação às modificações nas seções transversais típicas, pode-se identificar uma demanda por maiores larguras de tabuleiro gerada pelo crescente fluxo de veículos e pela adequação das pontes aos requisitos de segurança em constante desenvolvimento. Quanto às mudanças de critérios normativos, verifica-se a existência de carregamentos permanentes e variáveis não previstos em pontes existentes.

Como consequência, tornam-se necessários o alargamento de seus tabuleiros e as intervenções para serviços de recuperação e de reforço estrutural, enquadrando as Obras de Arte Especiais (OAE) aos novos gabaritos transversais das rodovias e às cargas móveis atualmente exigidas pelas normas vigentes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-1: Cálculo e Execução de Obras em Concreto Armado. Rio de Janeiro, 1946.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-1: Cálculo e Execução de Obras em Concreto Armado. Rio de Janeiro, 1960.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-1: Cálculo e Execução de Obras em Concreto Armado. Rio de Janeiro, 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-2: Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado. Rio de Janeiro, 1946.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-2: Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado. Rio de Janeiro, 1961.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-2: Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-6: Cargas Móveis em Pontes Rodoviárias. Rio de Janeiro, 1946.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-6: Cargas Móveis em Pontes Rodoviárias. Rio de Janeiro, 1960.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e Outras Estruturas. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres em Pontes, Viadutos, Passarelas e Outras Estruturas. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

LUZ, A.B.; GONÇALVES, J.H.D.; ROMERA, G.F.S. *ET AL.* Aplicação da madeira laminada colada (MLC) como vigas de pontes: uma análise sob o olhar do projeto de revisão da NBR 7190/1997. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8, p.59283-59306, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n8-372

MANUAL DE INSPEÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS [do] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2004.