

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES CLASSES DE CONCRETO NA MESO E SUPERESTRUTURA DE UMA OBRA DE ARTE EM CONCRETO ARMADO

Luiz de Lacerda Júnior – Eng^o Civil, Mestre em Construção Civil pela Universidade FUMEC, Professor Titular da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC – lacerda@fumec.br

Luiz Antônio M. N. Branco – Eng^o Civil, Mestre e Doutor, Professor Adjunto da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC – luizmelg@fumec.br

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo o estudo comparativo da quantidade de armadura necessária para o dimensionamento dos elementos estruturais de uma “Obra de Arte” em concreto armado, variando-se as classes de resistência do concreto. A “Obra de Arte” escolhida para o desenvolvimento deste estudo é uma ponte de 39 metros de comprimento e 12 metros de largura, situada em perímetro urbano, com as dimensões dos elementos estruturais mantidas constantes. O dimensionamento das armaduras foi realizado para as classes de concreto C20, C30, C40 e C50 (20, 30, 40 e 50 MPa respectivamente) e o trem tipo TB-45 da **NBR-7187** e TB-60 da **DIN-1075**. Após a análise dos resultados, concluiu-se que a resistência do concreto tem participação preponderante no dimensionamento das armaduras dos pilares em relação aos outros elementos estruturais.

Palavras chave: pontes, concreto armado, classes de resistência.

ABSTRACT

This present work has for objective the comparative study of the quantity of necessary support for the dimension of the structural elements of a “work of art” in reinforced concrete, varying the classes of concrete resistance. The “work of art” chosen for the development of this study is a bridge of 39 meters of length and 12 meters of width situated in urban perimeter, with the dimensions of the structural elements maintained constant. The dimension of the armors was carried out for the concrete classes in C20, C30, C40 and C50 (20, 30, 40 and 50 MPa respectively) and the train kind TB-45 of the **NBR-7187** and TB-60 of the **DIN-1075**. After analysis of the results, it was concluded that the concrete resistance has predominant participation in the dimension of pillars support regarding the others structural elements.

Keywords: bridges, reinforced concrete, resistance classes.

INTRODUÇÃO

A importância dada atualmente à durabilidade das estruturas está representada nos principais códigos normativos relativos ao projeto de estruturas, incluindo a **NBR-6118 - “Projeto de Estruturas de Concreto”** (ABNT 2004), que já utiliza os conceitos mais contemporâneos do projeto, cálculo, construção e manutenção das estruturas em concreto, exigindo que as propriedades dos materiais concreto e aço sejam mais bem conhecidas.

Segundo França (2004), a **NBR-6118** reflete e destaca o aprofundamento da complexidade das estruturas, com a utilização de projetos mais arrojados, preocupando-se com a redução de problemas patológicos.

Durante muito tempo, o engenheiro de estruturas, ao projetar uma obra de concreto armado, preocupava-se quase que exclusivamente com a concepção e a garantia do sistema estrutural idealizado.

Do concreto, era exigido somente o valor de sua resistência característica à compressão, f_{ck} , determinado através de traços específicos por engenheiro de materiais, que pudesse atender à exigência do cálculo estrutural.

O que principalmente se espera é que as pontes possibilitem a travessia e garantam passagem segura. São elas que, aliando engenharia promissora e gênio artístico, têm facilitado a vida dos homens em suas idas e vindas, levando cargas e passageiros, esperança e progresso. Por isso, pode-se dizer que a arte de estender-se pelo espaço é realizar o encontro de fazer comunicação.

As pontes em concreto começaram a surgir a partir de 1900, executando-se, de início, arcos triarticulados, nos quais o concreto substituiria a pedra como material de construção. Já o concreto armado, nesta época, era utilizado nas lajes de superestrutura, sendo logo depois usado nas nervuras dos arcos.

Entre 1867 e 1878, quando *Monier* apresentou a sua patente utilizando o aço no concreto, surgiu o que hoje se conhece como Concreto Armado. A nova alternativa foi experimentada primeiramente na construção de um barco (LAMBERT, 1855) e não na construção de edificações.

O desenvolvimento tecnológico acompanha o conhecimento da capacidade de cada material, isto é, o concreto com a capacidade de trabalho à compressão e o aço à tração, pode ser utilizado tanto em arcos, melhorando suas condições de trabalho e, portanto, econômicas, como em pontes com vigas retas.

No Brasil, as primeiras obras importantes em concreto armado foram executadas pelas companhias de estradas de ferro. A Ponte Herval, construída em 1930, sobre o Rio do Peixe, em Joaçaba, depois denominada de Ponte Emílio *Baumgart*, foi considerada como a de maior vão do mundo em viga reta de concreto armado, com 68 metros de vão livre.

Em 1939, a ponte sobre o Rio Mucuri, situada entre Caravelas (BA) e Teófilo Otoni (MG), projetada por Emílio *Baumgart*, foi considerada a maior ponte ferroviária em viga reta em concreto armado do mundo.

ALGUMAS PARTICULARIDADES DA NBR 6118

A partir da entrada em vigor da **NBR 6118** a partir de 2004, introduziu-se, dentre outros aspectos relevantes, a questão da intrínseca relação entre durabilidade e cobrimento das armaduras em função da classe de agressividade ambiental.

Segundo a **NBR 6118**, define-se cobrimento mínimo (C_{min}) como o cobrimento estritamente necessário para que as condições de durabilidade e proteção da armadura sejam satisfeitas de acordo com as prescrições normativas, e cobrimento nominal (C_{nom}) é o cobrimento a ser especificado em projeto que incorpora o desvio dimensional (Δ_c), assumido pela execução da obra. A FIG. 1 apresenta esquema do cobrimento nominal.

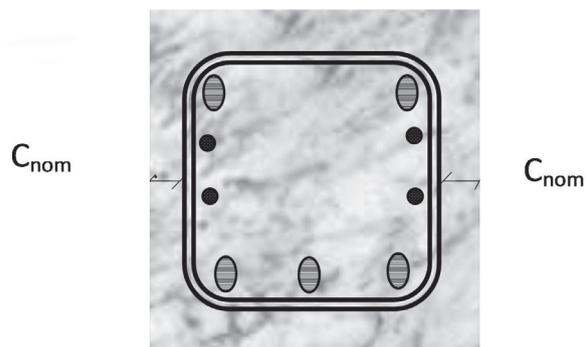


Figura 1: Esquema do cobrimento nominal
Fonte: Silva (2008).

Os valores mínimos recomendados são:

$$c_{nom} = c_{mim} + \Delta_c \quad (c_{nom} = \text{cobrimento nominal e } c_{mim} = \text{cobrimento mínimo})$$

$\Delta_c = 5$ mm, para obras com controle rigoroso de qualidade dimensional

$\Delta_c = 10$ mm, para as demais obras.

Os cobrimentos mínimos são sempre referidos à superfície da armadura externa, em geral em relação à face externa dos estribos. Eles devem sempre ser um dos seguintes valores, segundo item 7.4.7.6, da **NBR-6118**:

- $C_{nom} \geq \Phi$ barra
- $C_{nom} \geq \Phi$ feixe = $\Phi_n = \Phi \sqrt{n}$
- $C_{nom} \geq 0,5 \Phi$ bainha para o caso de protensão

A dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado no concreto não pode superar 20% a espessura nominal do cobrimento, ou seja:

$$d_{max} \leq 1,2 C_{nom0}$$

onde: d = diâmetro da barra ou do feixe, conforme o caso
 d_{max} = diâmetro máximo

QUALIDADE DO CONCRETO DE COBRIMENTO

Dentre os fatores que afetam a durabilidade das estruturas de concreto armado, a qualidade do concreto de cobrimento é de extrema importância. A espessura do cobrimento de concreto é fundamental para a proteção da armadura.

O binômio “compacidade do concreto” e “espessura do cobrimento”, atua em série, e de forma exponencial, em favor da durabilidade.

Segundo a **NBR 6118:2003**:

“Ensaios comprobatórios de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e nível de agressividade previsto em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma forte correspondência ente a relação água/cimento, a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se adotar os requisitos mínimos expressos na tabela 7.1.”

A correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto está apresentada na TAB. 1.

Tabela 1 – Classe de Agressividade e Qualidade do Concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

Notas:
 * **CA** corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
 * **CP** corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (2004).

A TAB. 2 apresenta a correspondência entre a Classe de Agressividade Ambiental (CAA) e o Cobrimento Nominal Δ= 10mm.

Tabela 2 – Classe de Agressividade Ambiental e o Cobrimento Nominal

Tipos de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
Concreto Armado	Laje ²⁾	Cobrimento nominal (mm)			
	Viga/Pilar	20	25	35	45
Concreto protendido ¹⁾	Todos	25	30	40	50
		30	35	45	55

continua...

continuação...

Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.
 Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5 respeitado um cobrimento nominal ≥ 15mm.
 Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45mm.

Fonte: NBR-6118 (2004).

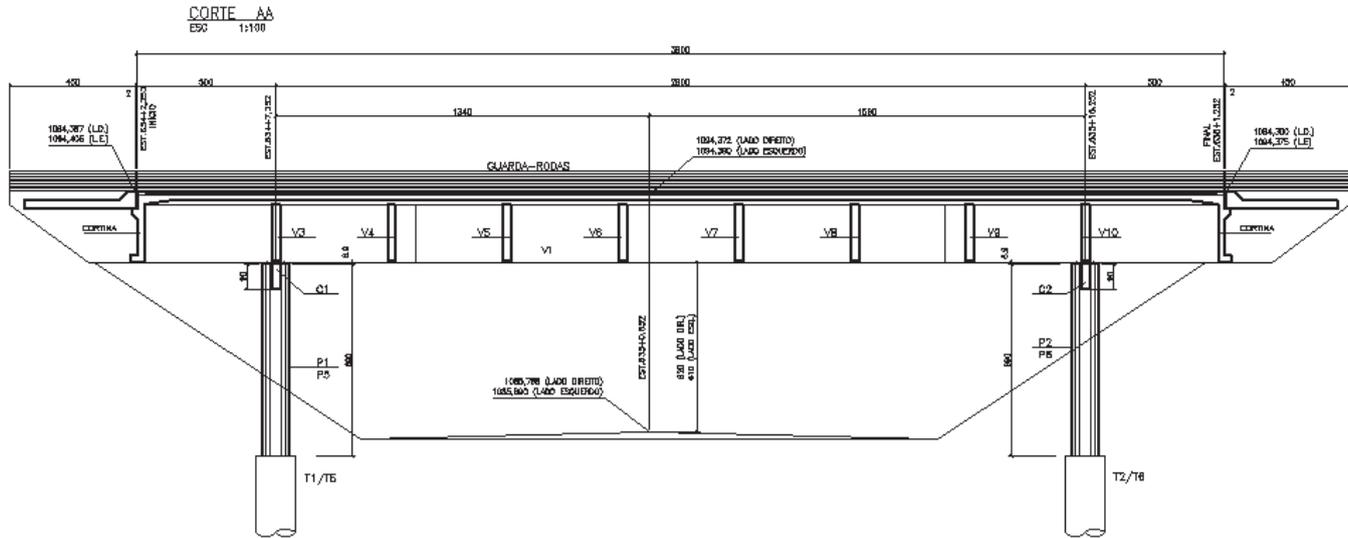
A PONTE ESTUDADA

A obra de arte escolhida para o desenvolvimento deste estudo é uma ponte de 39 metros de comprimento e 12 metros de largura, situada em perímetro urbano, com as dimensões dos elementos estruturais mantidas constantes. A escolha deste tipo de ponte reside no fato de que este tipo é bastante comum nas rodovias brasileiras. O dimensionamento das armaduras foi realizado para as classes de concreto C20, C30, C40 e C50 (20, 30, 40 e 50 MPa respectivamente) e o trem tipo TB-45 da NBR-7187 e TB-60 da DIN-1075.

O consumo total de aço, considerando-se a superestrutura e a mesoestrutura, apresentou uma redução de 2,54% quando a classe de resistência do concreto passou de C20 para C30, de 2,06%, quando a classe de resistência do concreto passou de C30 para C40, e de 0.78%, quando a classe de resistência do concreto passou de C40 para C50.

A FIG. 3 apresenta o consumo de aço em para cada uma das classes de resistência do concreto, considerando o valor total do aço utilizado na superestrutura e na mesoestrutura.

Um perfil típico deste tipo de ponte é apresentado na FIG 3.



NOTAS :

- 1-MEDIDAS EM cm , ELEVACOES EM m .
- 2-CONCRETO fck = 20,0 MPa, 30,0 MPa, 40,0 MPa E 50,0 MPa.

Figura 2: Perfil típico da ponte estudada.

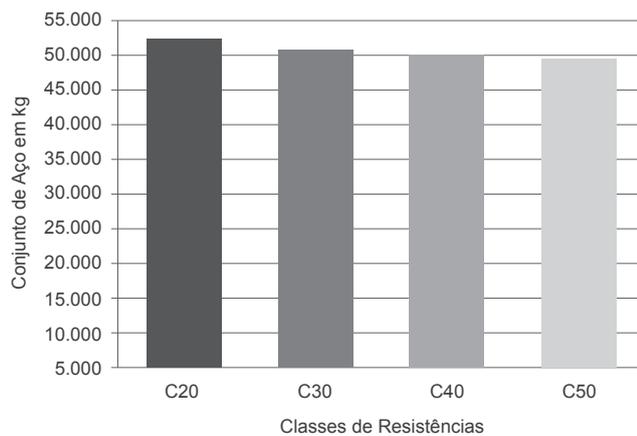


Figura 3: Consumo total de aço para superestrutura e mesoestrutura.

A FIG. 4 apresenta a o percentual do consumo de aço para cada classe de resistência do concreto, da superestrutura e da mesoestrutura.

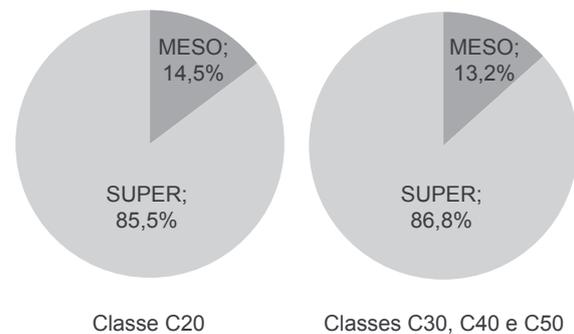


Figura 4: Percentual do consumo de aço da superestrutura e da mesoestrutura.

CONCLUSÕES

Na análise do consumo das armaduras da superestrutura, observou-se uma diminuição média da ordem de 2% no peso do aço das lajes, e 1,0% no peso do aço das longarinas. Nos outros elementos estruturais, não houve alteração dos pesos do aço em função da condição de armadura mínima da NBR 6118.

Para a mesoestrutura, verificou-se uma diminuição média da ordem de 14% nos elementos estruturais em função da condição da armadura mínima da NBR 6118.

Nos pilares, onde a solicitação predominante é a compressão, o concreto tem participação preponderante no dimensionamento das armaduras, levando a uma diminuição significativa no consumo de aço, com o aumento da classe de resistência do concreto, quando comparado com os outros elementos da ponte.

Outras considerações também podem ser apresentadas, a saber:

- para o sucesso do desenvolvimento sustentável, é necessário a utilização de concretos duráveis;
- existem causas da redução da durabilidade do concreto, apesar de se obter resistências cada vez maiores;
- os materiais e a prática construtiva desenvolvidos para atender à meta de construção a curto prazo demonstram-se prejudiciais à durabilidade das estruturas de concreto expostas a condições agressivas, e, conseqüentemente, ao desenvolvimento sustentável;
- a crença de que quanto maior a resistência do concreto mais durável a estrutura não encontra apoio nas observações de campo. Concretos com alta resistência inicial são mais sensíveis à fissuração e, com isso, as estruturas se deterioram mais rapidamente;
- a deterioração das estruturas está intimamente vinculada à fissuração do concreto, e, não, à sua resistência;
- garantir a durabilidade das estruturas pela limitação de valores da relação a/c (água/materiais-cimentícios) não parece correto, pois a fissurabilidade do concreto não é controlada pela relação a/c, mas, sim, pelo teor de água na mistura;
- as especificações de cimento deveriam prever valores limites máximos para a finura e para o teor de silicato tricálcio (C3S), compatíveis com a resistência desejada, mantendo sob controle o processo de hidratação;
- para construir estruturas de concreto ambientalmente sustentáveis, deveremos substituir as prioridades atuais com prazo e resistência pela atenção com a durabilidade;
- em estruturas de pontes, o consumo final de aço não sofre variação significativa com o aumento da classe de resistência do concreto.

BIBLIOGRAFIA

ARAUJO, J. M. *Curso de concreto armado*. Rio Grande: Dunas, 2003. 4 v.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118*: projeto de estruturas de concreto armado: procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 170p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6120*: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6123*: forças devidas ao vento em edificações: procedimento. Rio de Janeiro, 1980. 84p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7187*: projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido: procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7188*: carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro, 1984. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9452*: vistoria de pontes e viadutos de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 1986. 13p.

CLÍMACO, J.C.T.S. *Estruturas de concreto armado*: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. Brasília: Ed. UNB, 2005. 410p.

DEUSTECHES INTITUT FÜR NORMUNG. *DIN 1072*: Road and foot bridges; design loads. Berlin, 1985.

FRANÇA, Ricardo Leopoldo e Silva. *NBR 6118*: a busca da durabilidade. *Téchne*: revista de tecnologia da construção. São Paulo, n. 86, p. 24-30, maio 2004.

GRAZIANO, F.P. *Projeto e execução de estruturas de concreto armado*. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005. 160p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO. *Prática recomendada Ibracon comentários técnicos da NB1*. São Paulo: Ibracon, 2003. 20p.

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. *Manual de projeto de obras de arte especiais*. Rio de Janeiro, 1975. 105p.

LARANJEIRAS, Antônio Carlos Reis. *Estruturas de concreto duráveis*: uma chave para o sucesso do desenvolvimento sustentável (Parte II): a durabilidade das estruturas de concreto. 2003. Disponível em: <[http://www.altoqi.com.br/suporte/Eberick/duvidas_usuais/Textos_explicativos/Estruturas_de_Concreto_Duraveis\(Parte2\).htm](http://www.altoqi.com.br/suporte/Eberick/duvidas_usuais/Textos_explicativos/Estruturas_de_Concreto_Duraveis(Parte2).htm)>. Acesso em: 1 mar. 2010.

LEONHARDT, Fritz. *Construções de concreto*: princípios básicos da construção de pontes de concreto: vol. 6. Rio de Janeiro: Interciência, 1979. 305p.

MEYER, Karl Fritz. *Estruturas metálicas*: pontes rodoviárias e ferroviárias: volume I: projeto. Rio de Janeiro: KM Engenharia, 1999. 384p.

PFEIL, Walter. *Cimbramentos*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987. 431p.

SCADELAI, M.A. *Dimensionamento de Pilares de acordo com a NBR 6118:2003*. 2004. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

SILVA, Marcelo dos Santos. *Análise comparativa entre a utilização de diferentes classes de resistência de concreto em edifícios de concreto armado*. 2008. 162 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)–Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade FUMEC, Belo Horizonte, 2008.

SILVA, Ney Amorim. *Concreto Armado I: notas de aula*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

TEPEDINO, J.M. *Concreto armado: flexão normal composta*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1988. 57 p.