

56° CBC  
**IBRACON**  
**SEMINÁRIO DAS NOVAS TECNOLOGIAS**  
Natal, 2014

**DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE  
CONCRETO: NORMALIZAÇÃO E  
REALIDADE BRASILEIRA**



Prof. Dr. Enio Pazini Figueiredo  
Universidade Federal de Goiás



Archie  
Re 1950



# Estruturas mistas pré-moldadas e moldadas no local no Maracanã



# Vigas “jacarés” e degraus pré-moldados do Maracanã



# INTRODUÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS NO PARADIGMA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO



### **5.1.2.3 Durabilidade**

Consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

## **6 Diretrizes para durabilidade das estruturas de concreto**

### **6.1 Exigências de durabilidade**

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

### **6.2 Vida útil de projeto**

**6.2.1** Por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme 7.8 e 25.3, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

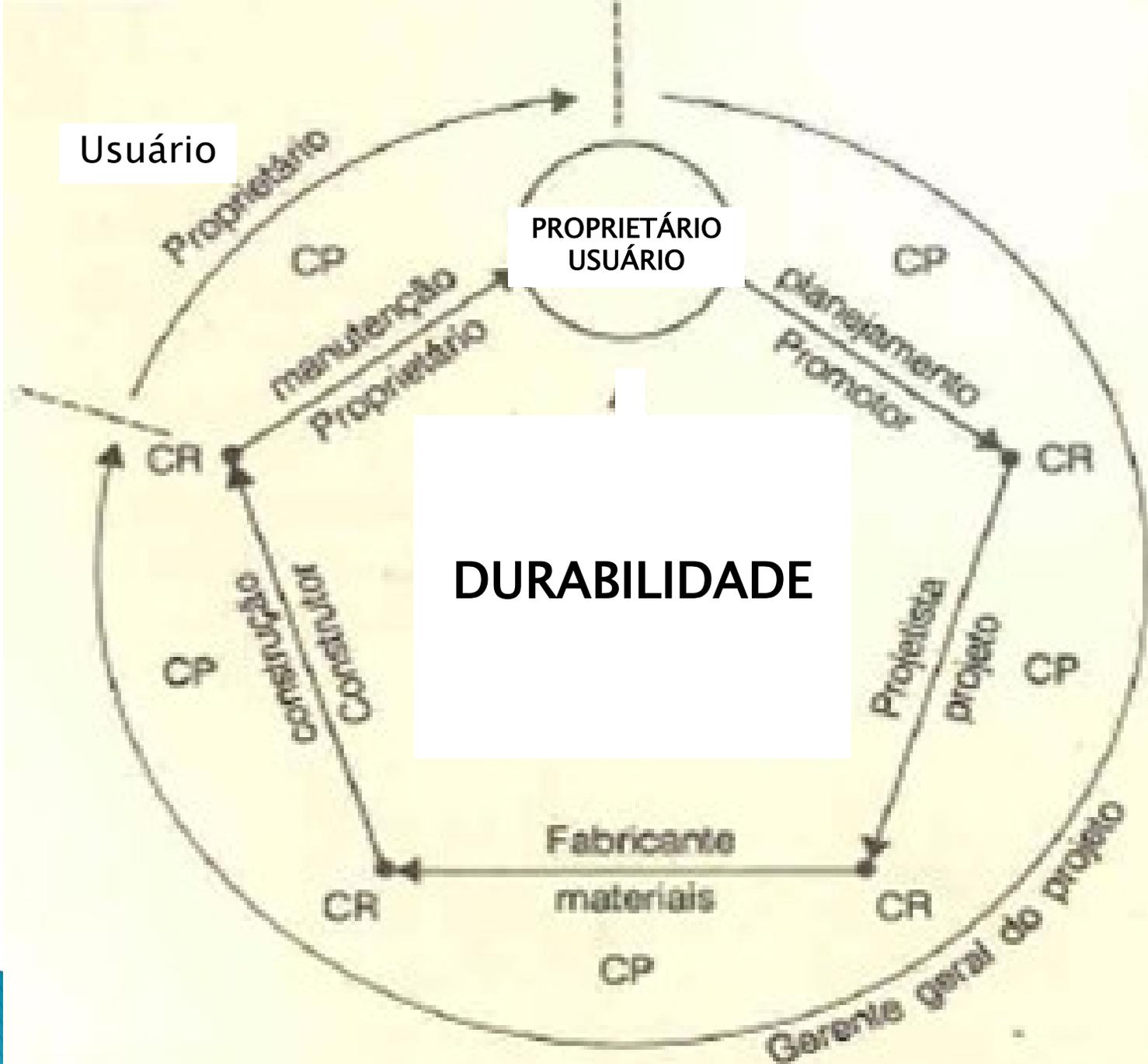
**6.2.2** O conceito de vida útil aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes. Dessa forma, determinadas partes das estruturas podem merecer consideração especial com valor de vida útil diferente do todo, como, por exemplo, aparelhos de apoio e juntas de movimentação.

**6.2.3** A durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e atitudes coordenadas de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização, devendo, como mínimo, ser seguido o que estabelece a ABNT NBR 12655, sendo também obedecidas as disposições de 25.3 com relação às condições de uso, inspeção e manutenção.

Usuário

PROPRIETÁRIO  
USUÁRIO

**DURABILIDADE**



# Referências bibliográficas

- ▶ [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ▶ [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12655: Concreto de cimento Portland. Preparo, controle e recebimento. Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ▶ [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14931. Execução de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ▶ [4] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). ACI 201.2R-08. Guide to Durable Concrete: reported by ACI Committee 201. 2008. p. 1-53.
- ▶ [5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 13823. General principles on the design of structures for durability. 2008.
- ▶ [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575-1. Edificações habitacionais – desempenho parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ▶ [7] BRITISH STANDARD INSTITUTION (BSI). Guide to Durability of Buildings and Building Element, Products and Components. BS 7543. London, 2003.
- ▶ [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8681. Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ▶ [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8953. Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ▶ [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 14037. Diretrizes para elaboração de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ▶ [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 9062. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ▶ [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 5674. Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ▶ EN 206-1:2005
- ▶ ACI 222R-01 (2001)

# Requisitos de desempenho NBR 15575-1 (2013)

**Tabela 49 - Prazos de vida útil de projeto**

(Fonte: Anexo C, Tabela C.5, pág 54 da NBR 15575-1)

Sistema	VUP anos		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 25	≥ 30

\* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8681. Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

# Mecanismos de envelhecimento e degradação

## **Relativos ao concreto**

- Lixiviação
- Expansão por sulfatos
- Reação álcali-agregado

## **Relativos à armadura**

- Despassivação por carbonatação
- Despassivação por cloretos

## **Relativos à estrutura propriamente dita**

- Ações mecânicas
- Movimentações térmicas
- Impactos
- Ações cíclicas
- Retração
- Fluência e relaxação

# Classe de agressividade ambiental

Classes de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>3)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

**Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA) NBR 6118 (2014)**

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
	I	Fraca	Rural Submersa
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup> Industrial <sup>a, b</sup>	Grande
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup> Respingos de maré	Elevado

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

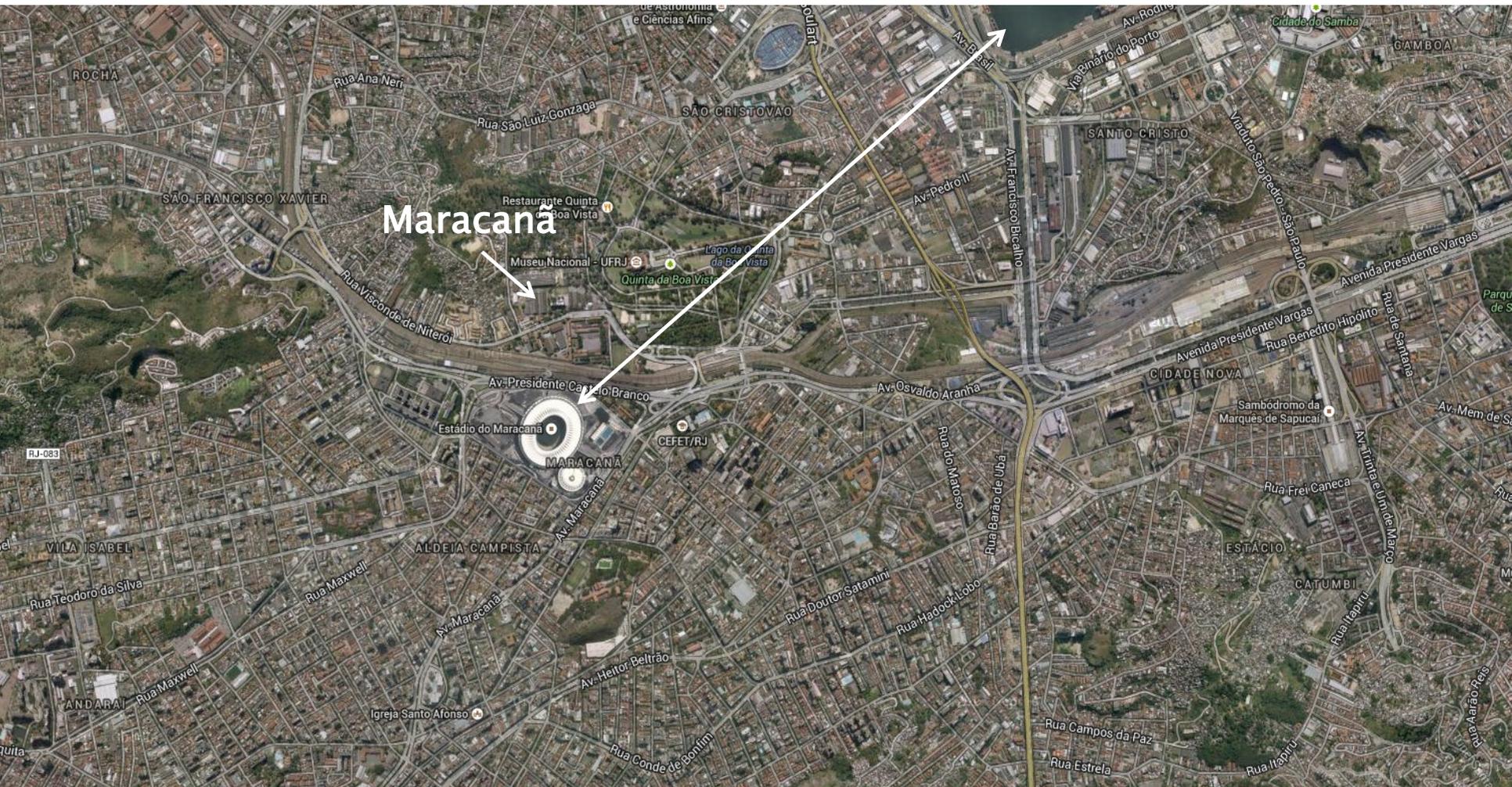
<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

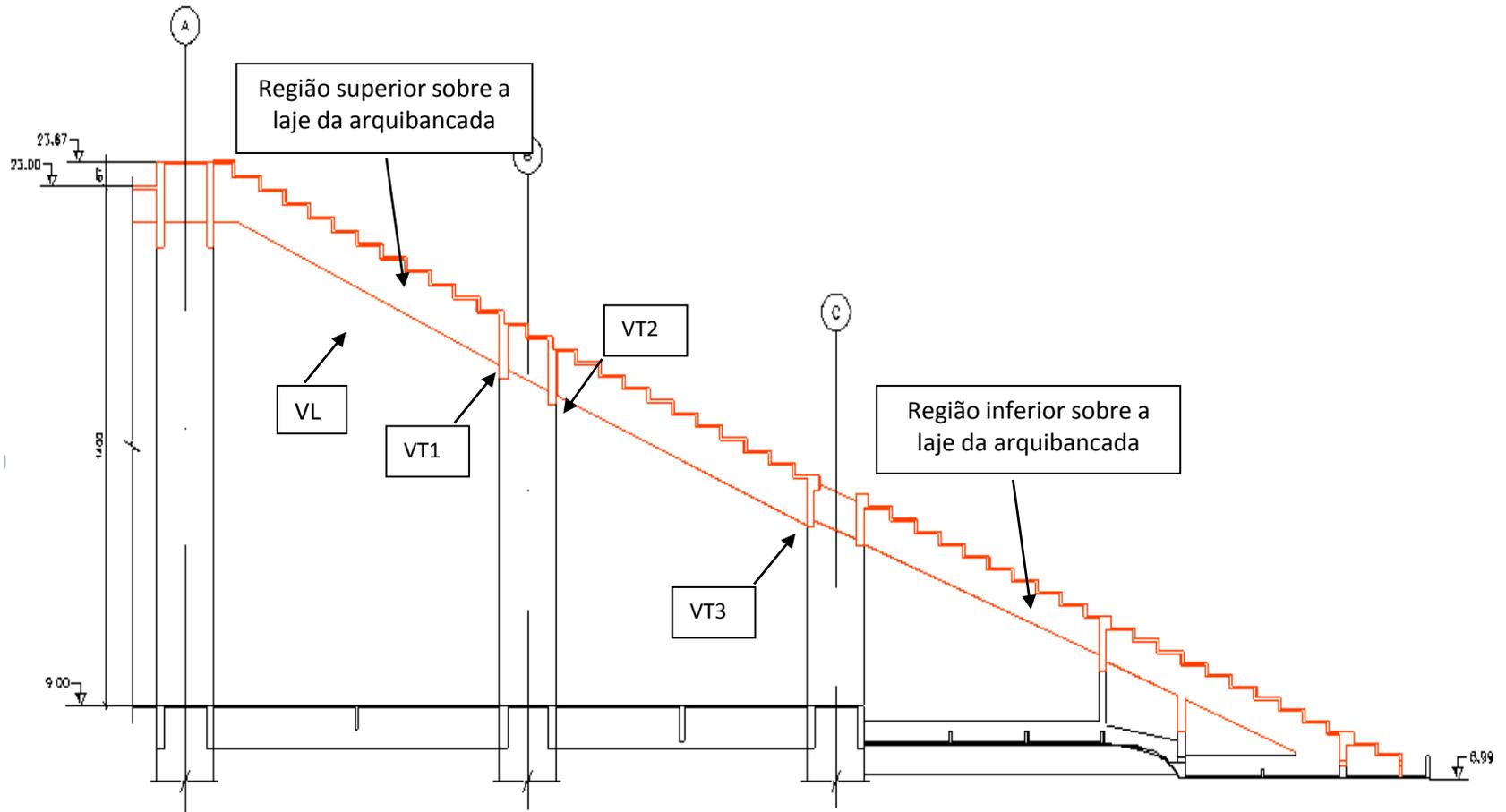
**6.4.3** O responsável pelo projeto estrutural, de posse de dados relativos ao ambiente em que será construída a estrutura, pode considerar classificação mais agressiva que a estabelecida na Tabela 6.1.

# Estádio Maracanã

Classe de agressividade ambiental II (Moderada) NBR 6118 (2014)

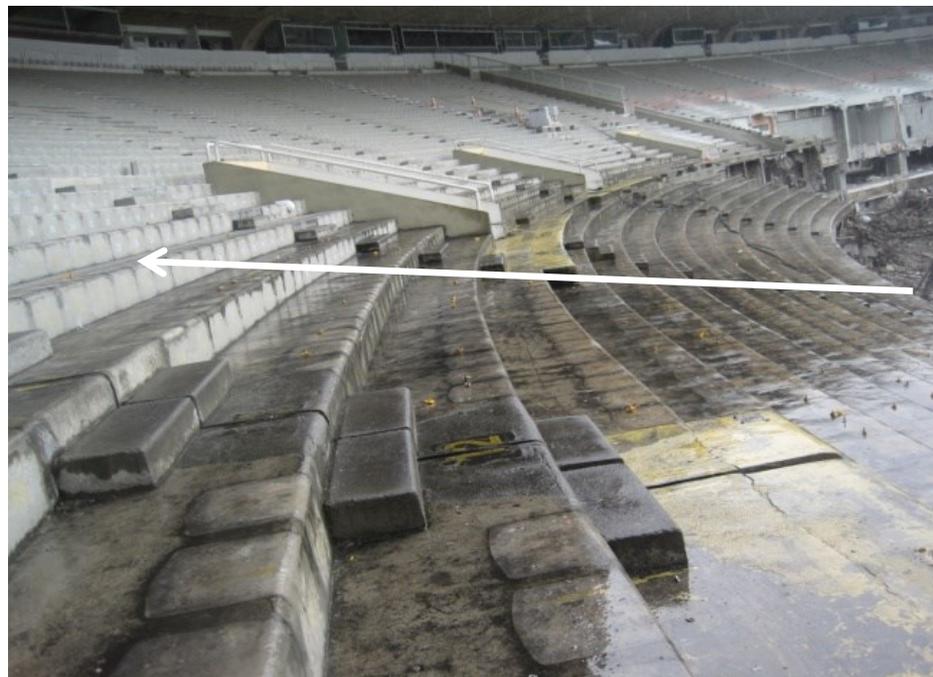


# ARQUIBANCADA SUPERIOR NORTE E SUL



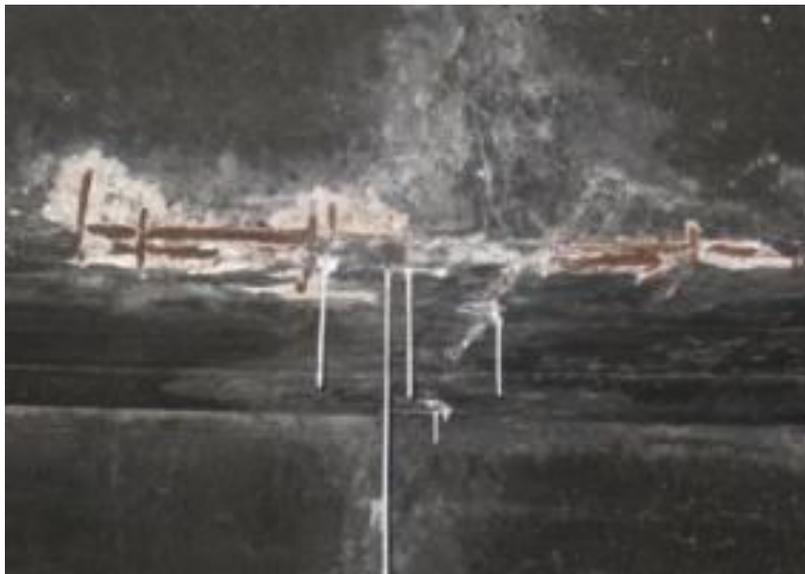
— Estruturas das arribancadas avaliadas

# Estado de conservação da parte inferior das arquibancadas



**Vista geral da Arquibancada Superior Norte e da região inferior sobre a arquibancada, na extremidade do balanço. Esta região encontra-se desprotegida e sujeita à ação da intempérie.**

# Estado de conservação da parte inferior das arquibancadas



# Requisito de desempenho NBR 12655 (2006)

Tabela 4 — Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

Condições de exposição em função da agressividade	Sulfato solúvel em água (SO <sub>4</sub> ) presente no solo % em massa	Sulfato solúvel (SO <sub>4</sub> ) presente na água ppm	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal*	Mínimo $f_{ck}$ (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Fraca	0,00 a 0,10	0 a 150	--	--
Moderada**	0,10 a 0,20	150 a 1 500	0,50	35
Severa***	Acima de 0,20	Acima de 1 500	0,45	40

\*Baixa relação água/cimento ou elevada resistência podem ser necessárias para a obtenção de baixa permeabilidade do concreto ou proteção contra a corrosão da armadura ou proteção a processos de congelamento e degelo.

\*\*Água do mar.

\*\*\*Para condições severas de agressividade, devem ser obrigatoriamente usados cimentos resistentes a sulfatos.

# Requisito de desempenho NBR 12655 (2006)

**Tabela 5 — Teor máximo de íons cloreto para proteção das armaduras do concreto**

Tipo de estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl <sup>-</sup> ) no concreto % sobre a massa de cimento
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,40
Outros tipos de construção com concreto armado	0,30

Se um concreto com armadura for exposto a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sal, água salgada, água do mar ou respingos ou borrifação desses três agentes, os requisitos da tabela 3 para a relação água/cimento e a resistência característica à compressão do concreto devem ser satisfeitos.

Não é permitido o uso de aditivos contendo cloretos em sua composição em estruturas de concreto armado ou protendido.

Autor/Normas	Teor máximo de cloretos (%)*				
European Standards EN 206-1 :2005	Utilização do Concreto		TEOR DE CLORETO CLASSE <sup>1</sup>	Teor máximo de Cl em massa, de cimento <sup>2</sup>	
	Sem armaduras de aço ou peças metálicas embutidas exceção de elementos de elevada resistência à corrosão (aço Inoxidável)		CL 1,0	1,00%	
	Com armaduras de aço ou peças metálicas embutidas.		CL 0,20	0,20%	
			CL 0,40	0,40%	
	Com armadura de aço de protensão		CL 0,10	0,10%	
			CL 0,20	0,20%	
	<p>1 Para um uso específico do concreto, a classe a ser aplicada depende das disposições válidas no local de utilização do concreto.</p> <p>2 Quando adições do tipo II são usadas e tomadas em conta para o teor de cimento, o teor de cloreto expressa-se como a percentagem de íons cloreto por massa de cimento mais a massa total das adições que são tomadas em consideração.</p>				
ACI 222R-01 (2001)	O ACI 222R-01 estabelece limites em função de três métodos de ensaio para verificação dos teores de cloretos:				
	(obs.: % de cloretos sobre a massa de cimento)		Solução em ácido	Solução em água	
	Categoria		ASTM C 1152	ASTM C 1218	Soxhlet (ACI 222.1)
	Concreto protendido		0,08%	0,06%	0,06%
	Concreto armado exposto a condições de umidade		0,10%	0,08%	0,08%
	Concreto armado seco ou protegido de umidade		0,20%	0,15%	0,15%

Autor/Normas	Teor máximo de cloretos (%)*	
BS 8110: Part 1 – BSI (1997)	Em 2010 foi substituída pela Norma Europeia.	
Andrade (1992)	0,40%	
Thomas (1996)	0,2% – para concretos com 50% cinza volante	
	0,7% – para concretos sem cinza volante	
NBR 6118:2007	Na NBR 6118 (2014) não foi encontrada especificação do teor máximo de cloretos, no entanto na NBR 12655:2006, existem tais índices.	
NBR 12655:2006	Tipo de estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl) no concreto % sobre a massa de cimento
	Concreto protendido	0,5
	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
	Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da humidade nas condições de serviço da estrutura)	0,4
	Outros tipos de construção com concreto armado	0,3
NBR 15900-1:2009	UTILIZAÇÃO DO CONCRETO	
	Concreto protendido ou Graute	500
	Concreto Armado	1000
	Concreto Simples ( Sem armadura)	4500

Detalhes de projeto que visam a durabilidade

**Drenagens**

**Formas arquitetônicas e estruturais**

**Qualidade e espessura do cobimento**

## NBR 6118 (ABNT, 2014)

**Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto**

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

# Requisito de desempenho NBR 12655 (2006)

**Tabela 2 — Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto**

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (Tabela 1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto $\text{kg/m}^3$	CA e CP	$\geq 260$	$\geq 280$	$\geq 320$	$\geq 360$

NOTA CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado; CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

# Requisito Normativo NBR 12655 (2006)

((Tabela 4)) Requisitos para o concreto em condições especiais de exposição [2]

Condições de exposição	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal.	Mínimo valor de $f_{ck}$ (para concreto com agregado normal ou leve) MPa.
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água.	0,50	35
Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agentes químicos de degelo.	0,45	40
Exposição a cloretos proveniente de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes.	0,40	45

**Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para  $\Delta c = 10$  mm**

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> 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, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Para concretos de classe de resistência superior ao mínimo exigido, os cobrimentos definidos na Tabela 7.2 podem ser reduzidos em até 5 mm.

**7.4.7.7** No caso de elementos estruturais pré-fabricados, os valores relativos ao cobrimento das armaduras (Tabela 7.2) devem seguir o disposto na ABNT NBR 9062.



# Cobrimentos mínimos

**7.4.7.3** Nas obras correntes, o valor de  $\Delta c$  deve ser maior ou igual a 10 mm.

**7.4.7.4** Quando houver um controle adequado de qualidade e limites rígidos de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução, pode ser adotado o valor  $\Delta c = 5$  mm, mas a exigência de controle rigoroso deve ser explicitada nos desenhos de projeto. Permite-se, então, a redução dos cobrimentos nominais, prescritos na Tabela 7.2, em 5 mm.

**7.4.7.5** Os cobrimentos nominais e mínimos estão sempre referidos à superfície da armadura externa, em geral à face externa do estribo. O cobrimento nominal de uma determinada barra deve sempre ser:

- a)  $c_{\text{nom}} \geq \phi$  barra;
- b)  $c_{\text{nom}} \geq \phi$  feixe =  $\phi_n = \phi \sqrt{n}$ ;
- c)  $c_{\text{nom}} \geq 0,5 \phi$  bainha.

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

$$d_{\text{máx}} \leq 1,2 c_{\text{nom}}$$

# NBR 9062 (2013) - Pré-Moldados

**Redução dos cobrimentos em 5 mm em relação aos estabelecidos pela NBR 6118 (2014) se  $f_{ck} \geq 40$  MPa e  $a/c \leq 0,45$ , limitando os seguintes valores de cobrimentos:**

- Lajes em concreto armado 15 mm;
- Demais peças em concreto armado (vigas / pilares) 20 mm;
- Peças em concreto protendido 25 mm;
- Peças delgadas protendidas (telhas/nervuras) 15 mm;
- Lajes alveolares protendidas 20 mm.

**Tabela 13.4 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental NBR 6118 (2014)**

<b>Tipo de concreto estrutural</b>	<b>Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão</b>	<b>Exigências relativas à fissuração</b>	<b>Combinação de ações em serviço a utilizar</b>
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação frequente

<sup>a</sup> A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com  $a_p = 50$  mm (Figura 3.1).

**NOTAS**

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

## 7.7 Medidas especiais

Em condições de exposição adversas, devem ser tomadas medidas especiais de proteção e conservação do tipo: aplicação de revestimentos hidrofugantes e pinturas impermeabilizantes sobre as superfícies do concreto, revestimentos de argamassas, de cerâmicas ou outros sobre a superfície do concreto, galvanização da armadura, proteção catódica da armadura e outros.

Inibidores de corrosão, fibras, sílica ativa e polímeros na composição do concreto.

## 7.8 Inspeção e manutenção preventiva

**7.8.1** O conjunto de projetos relativos a uma obra deve orientar-se sob uma estratégia explícita que facilite procedimentos de inspeção e manutenção preventiva da construção.

**7.8.2** O manual de utilização, inspeção e manutenção deve ser produzido conforme 25.3.

# Conclusões

## **Incidência das manifestações patológicas**

**Temos normas que contribuem para o projeto, execução e manutenção das estruturas de concreto**

**É necessária a avaliação holística da estrutura, unindo a agressividade ambiental, os microclimas e o comportamento estrutural**

**Necessidade de formação dos clientes, concessionárias, administração pública e órgãos licitantes**