

30-CONSIDERAÇÕES SOBRE DIRETRIZES PARA A DURABILIDADE DO CONCRETO, COM VISTA À REVISÃO DA NBR 6118:2003

1. INTRODUÇÃO

Tendo iniciado o seu viger no ano de 2004, a NBR 6118:2003 ainda apresenta resistência de uso por muitos projetistas de estruturas no que tange a cobrimentos nominais de armaduras de peças de concreto armado sob diferenciadas exposições ambientais que ocorrem no Brasil.

Atribui-se essa resistência de uso às dificuldades de interpretação do que consta da NBR 6118:2003 de forma aparentemente muito simplificada, confusa, dando liberdade à livre interpretação de muitos.

Visando dirimir dúvidas que ainda persistem sobre a interpretação do que consta da NBR 6118:2003, pertinentes a cobrimentos nominais de armaduras de peças de concreto armado sob diversas exposições ambientais, abordam-se alguns tópicos considerados importantes para esclarecê-las, identificados a seguir.

1)-Ilustram-se com dados oficiais do INMET e do IBGE as condições climatológicas do Brasil, buscando-se definir um parâmetro de referência para a Umidade Relativa moderada do ar, de crucial importância para a durabilidade das estruturas de concreto armado e pretendido.

2)- Mostram-se os mecanismos de ação dos ventos sobre o relevo e as edificações.

3)-Utilizam-se algumas figuras de trabalhos alemães recentemente divulgados identificando diversas peças estruturais sob as distintas classes ambientais a serem consideradas.

4)-Transcreve-se, para maior clareza, o texto da NORMA NPEN 1992-1-1-2010 (Portugal) pertinente à durabilidade.

5)-Transcreve-se a tabela de classes estruturais - Período de utilização – Valores do Anexo Nacional (França)

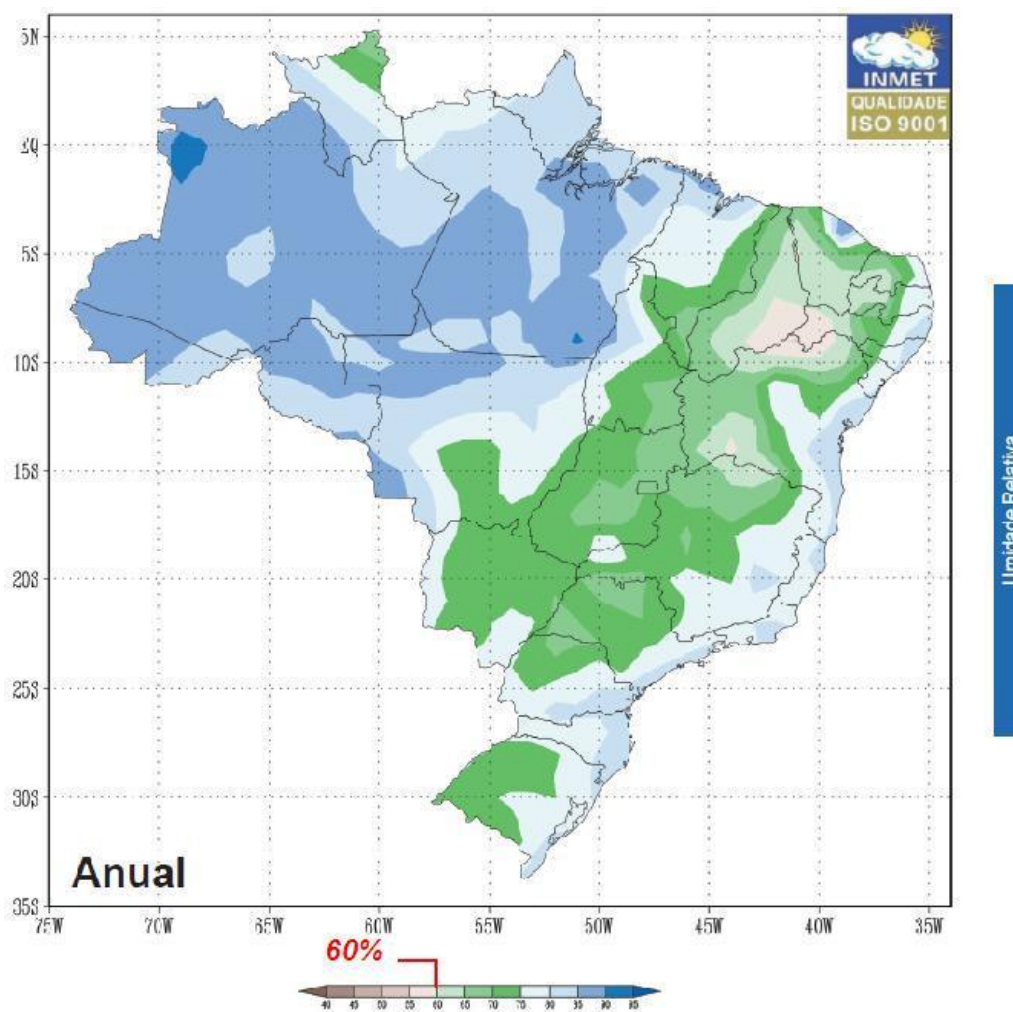
6)-Busca-se destacar os cobrimentos de armaduras de peças de concreto armado utilizados na Europa com vista à durabilidade e vida útil das edificações, que constam da NPEN 1992-1-1-2010 – Portugal, da DIN 1045 - Alemanha, e o que poderia ser preconizado pela NBR 6118:2003.

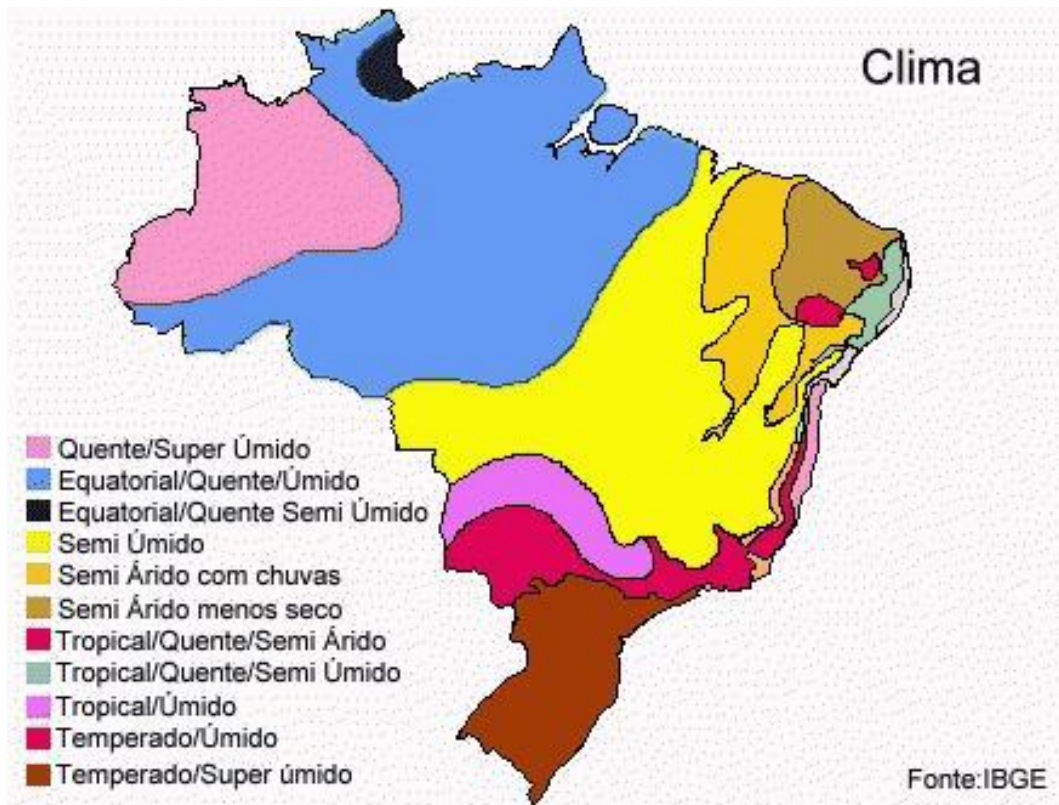
2. UMIDADE RELATIVA DO AR.

Umidade Absoluta é a massa de vapor d'água dividida pela massa de ar seco em um volume de ar a uma temperatura específica. Quanto mais quente o ar, mais água ele comporta.

Umidade Relativa é a razão entre a umidade absoluta atual e a maior umidade absoluta possível (que depende da temperatura atual do ar).

No Brasil, de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia a UR média anual é superior a 60%, mesmo em pleno semi-árido, conforme mostra o gráfico específico.





A diversidade de climas no Brasil aponta para se propor como moderada a UR de 60%. Umidade baixa $\leq 60\%$.

3. MECANISMOS DAS AÇÕES DOS VENTOS



Note:
 No caso de edificações observar a atuação do vento na face oposta a sua incidência, incluindo turbilhões.

4. FIGURAS DIVERSAS

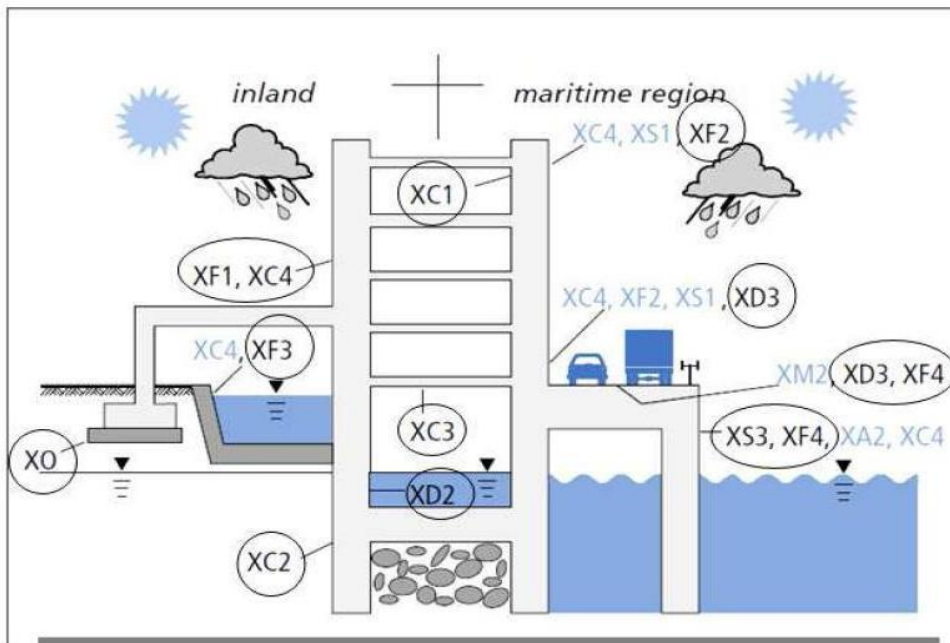


Figure 3: Examples of exposure classes acting jointly on typical components

Obs: **black type** indicates determining factor for durability design

Figura 3: exemplos de classes de exposição atuando conjuntamente em componentes típicos.

Obs. em preto indicam fator determinante para o projeto de durabilidade

Figura fornecida pelo Prof. Eduardo Thomaz

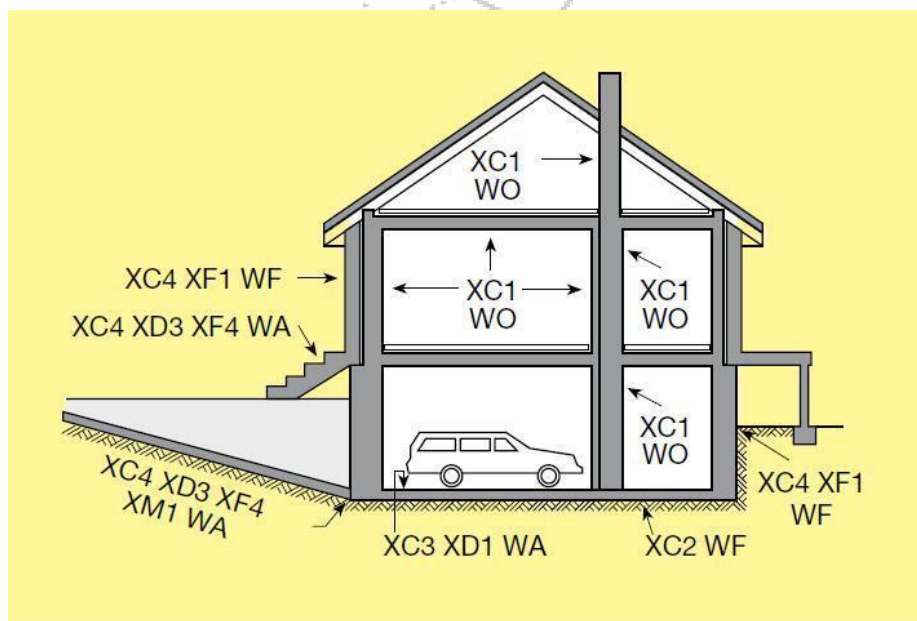


Bild 1: Beispiele für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositions-klassen an einem Wohnhaus

Exemplos de múltiplas classes de exposição, simultaneamente aplicáveis em uma casa residencial

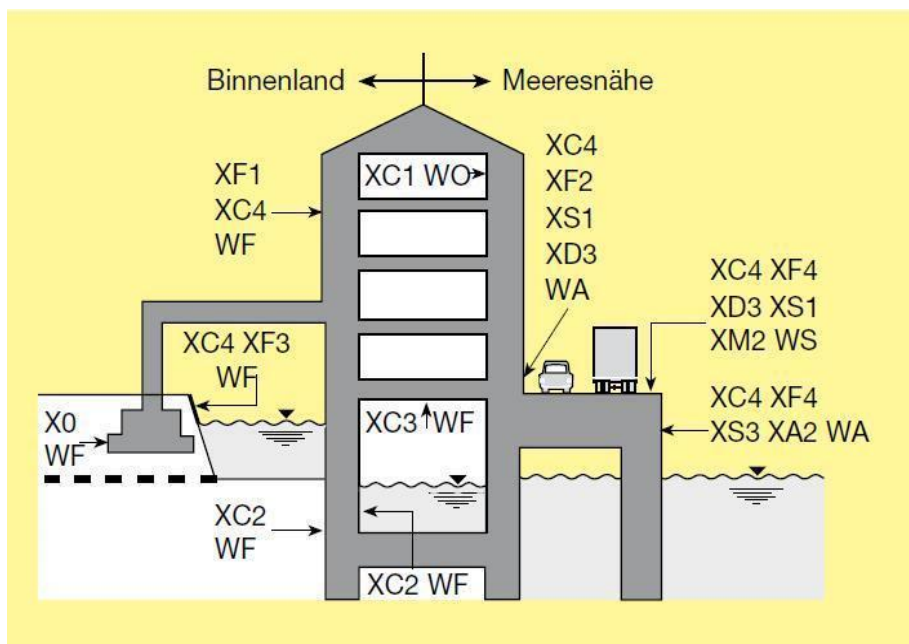


Bild 2: Beispiele für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositionsklassen im Hoch- und Ingenieurbau in Anlehnung an [3]

Exemplos de múltiplas classes de exposição, simultaneamente aplicáveis para a construção e engenharia civil, em conformidade com (3)

Figuras fornecidas pelo Prof. Eduardo Thomaz

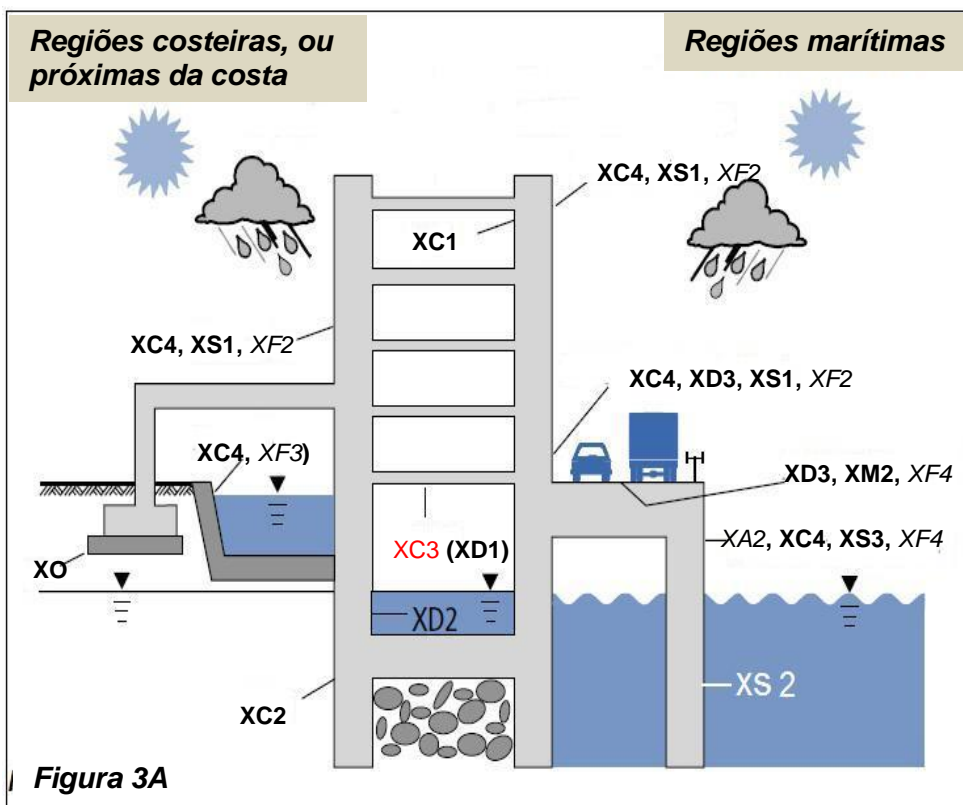
Constam das figuras 1 e 2 alguns parâmetros que se referem a classes de umidade:

WO - seco; **WA** - molhado sob alcalinidade externa; **WF**- úmido; **WS** - molhado sob alcalinidade externa e desgaste.

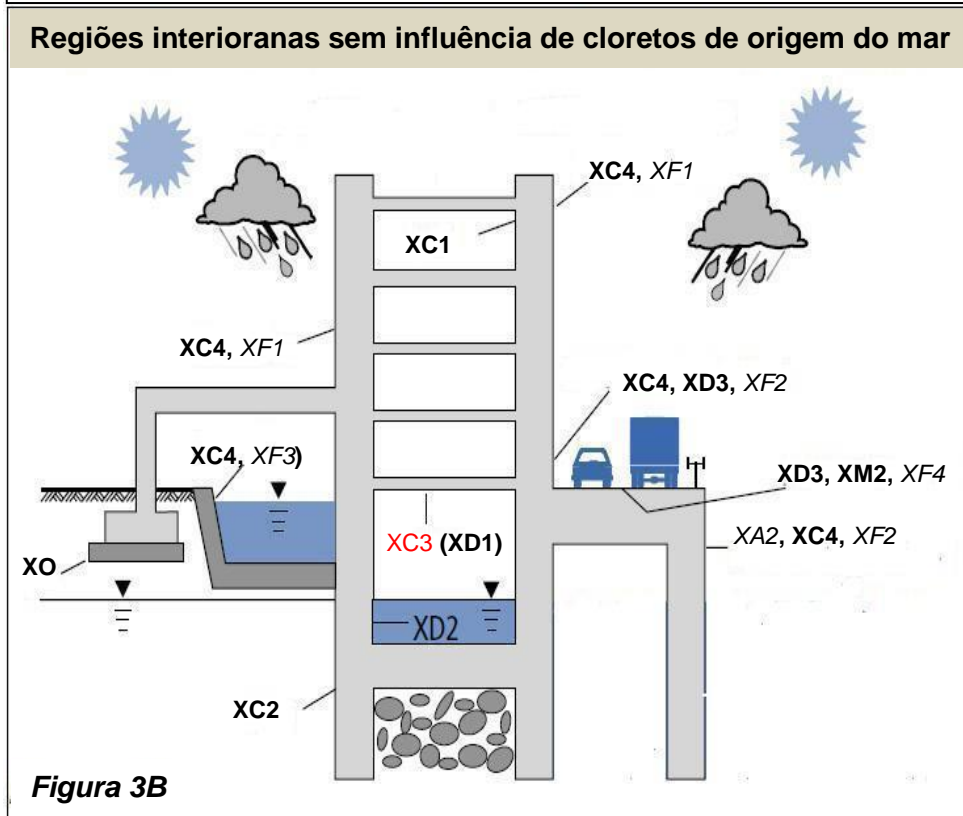
Para maior clareza, e fiel aos dados originais, a figura 3 foi desdobrada em duas, 3A e 3B reproduzidas abaixo com algumas observações.

XA – risco de ataque químico (3 subclasses); **XC** – corrosão induzida por carbonatação (4 subclasses); **XD** – corrosão induzida por cloretos (3 subclasses); **XF** – ataque por congelamento e descongelamento (4 subclasses); **XM** – abrasão do concreto, com 3 níveis; **XO** – sem risco de corrosão ou ataque químico; **XS** – corrosão induzida por cloretos da água do mar (3 subclasses).

Subclasses: **XA1**-corrosão fraca, **XA2**-corrosão moderada, **XA3**-corrosão forte; **XC1**-seco, **XC2**-sempre molhado, **XC3**- moderadamente úmido, **XC4**-úmido/seco; **XD1**-moderadamente úmido, **XD2**-constantemente molhado, **XD3**-molhado/seco; **XF1**-moderada saturação de água sem sal, **XF2**-moderada saturação de água com sal, **XF3**-alta saturação de água sem sal, **XF4**-alta saturação de água com sal; **XM1**-desgaste moderado, **XM2**-desgaste severo, **XM3**-Desgaste muito severo; **XS1**--moderada saturação de água sem sal, **XS2**-moderada saturação de água com sal, **XS3**-alta saturação de água sem sal, **XS4**-alta saturação de água com sal.



NOTA DO AUTOR: consta da figura original a classe de exposição XC3 na face inferior da laje sobre o reservatório, válida em ambiente ventilado; em ambiente fechado, úmido sob ação de água e cloro condensados, deve prevalecer a exposição XD1. XS2 foi inserida. Esta Figura 3A visa destacar que as zonas costeiras/litoral têm exposição mais agressiva que outras distantes do oceano.



5. Durabilidade e recobrimento das armaduras - NPEN 1992-1-1-2010 (Portugal) – escolhida por ser a EN da Europa sem carecer de tradução – itens compilados abaixo, em itálico.

Quadro 4.1-Classes de exposição em função das condições ambientais de acordo com a EN 206-1

Descrição da classe	Descrição do ambiente	Exemplos informativos de condições em que poderão ocorrer as classes de exposições
1-NENHUM RISCO DE CORROSÃO OU ATAQUE		
X0	<i>Para betão sem armadura ou elementos metálicos embebidos: todas as exposições exceto de gelo/degelo, abrasão ou ataque químico. Para betão com armadura ou elementos metálicos embebidos: muito seco</i>	<i>Betão no interior de edifícios com umidade do ar ambiente muito baixa</i>
2-CORROSÃO INDUZIDA POR CARBONATAÇÃO		
XC1	<i>Seco ou permanentemente úmido</i>	<i>Betão no interior de edifícios com umidade do ar ambiente baixa</i>
XC2	<i>Úmido, raramente seco</i>	<i>Superfícies de betão sujeitas a contato prolongado com água. Um grande número de fundações</i>
XC3	<i>Umidade moderada</i>	<i>Betão no interior de edifícios com umidade do ar ambiente moderada ou elevada. Betão exterior protegido da chuva.</i>
XC4	<i>Alternadamente úmido e seco</i>	<i>Superfícies de betão sujeitas a contato com água, não incluídas na classe de exposição XC2</i>
3-CORROSÃO INDUZIDA POR CLORETOS		
XD1	<i>Umidade moderada</i>	<i>Superfícies de betão expostas a cloretos transportados pelo ar.</i>
XD2	<i>Úmido, raramente seco</i>	<i>Piscinas. Elementos de betão expostos a águas industriais contendo cloretos.</i>
XD3	<i>Alternadamente úmido e seco</i>	<i>Elementos de pontes expostos a pulverizações contendo cloretos. Pavimentos. Lajes de parques de estacionamento de veículos.</i>
4-CORROSÃO INDUZIDA POR CLORETOS PRESENTES NA ÁGUA DO MAR		
XS1	<i>Exposto ao sal transportado pelo ar, mas não em contato direto com a água do mar</i>	<i>Estruturas próximas da costa, ou na costa</i>
XS2	<i>Permanentemente submerso</i>	<i>Elementos de estruturas marítimas</i>
XS3	<i>Zonas sujeitas aos efeitos das marés, da rebentação e da neblina marítima</i>	<i>Elementos de estruturas marítimas</i>
5-ATAQUE GELO/DEGELO		
XF1	<i>Saturação moderada em água sem produto descongelante</i>	<i>Superfícies verticais de betão, expostas à chuva e ao gelo</i>
XF2	<i>Saturação moderada em água com produto descongelante</i>	<i>Superfícies verticais de betão de estruturas rodoviárias expostas ao gelo e a produtos descongelantes transportados pelo ar</i>
XF3	<i>Saturação elevada em água, sem produtos descongelantes</i>	<i>Superfícies horizontais de betão expostas à chuva e ao gelo</i>
XF4	<i>Saturação elevada em água com produtos descongelantes ou com água do mar</i>	<i>Estradas e tabuleiros de pontes expostos a produtos descongelantes. Superfícies de betão expostas a pulverizações diretas contendo produtos descongelantes e expostas ao gelo. Zonas sujeitas aos efeitos da rebentação de estruturas marítimas expostas ao gelo.</i>
6-ATAQUE QUÍMICO		
XA1	<i>Ambiente químico ligeiramente agressivo de acordo com a EN 206-1</i>	<i>Terrenos naturais e água do terreno</i>
XA2	<i>Ambiente químico moderadamente agressivo de acordo com a EN 206-1</i>	<i>Terrenos naturais e água do terreno</i>
XA3	<i>Ambiente químico altamente agressivo de acordo com a EN 206-1 (Quadro 2)</i>	<i>Terrenos naturais e água do terreno</i>

Nota: A composição do betão afeta quer a proteção das armaduras quer a resistência do betão aos ataques. O Anexo E fornece classes de resistências indicativas para as diferentes classes de exposição. Tal poderá conduzir à escolha de classes de resistência mais elevada do que as que seriam necessárias ao cálculo estrutural. Neste caso, deverá adotar-se o valor de f_{ctm} associado à resistência mais elevada para o cálculo da armadura mínima e para o controle da largura de fendas (ver 7.3.2 a 7.3.4)

Anexo E (informativo-NP)

Classes indicativas de resistência para a durabilidade

E1-Generalidades

(1)-A escolha de um betão de durabilidade conveniente tendo em vista a proteção do betão e a proteção das armaduras contra a corrosão passa pela apreciação da composição do betão. Tal poderá conduzir à escolha de uma resistência do betão à compressão mais elevada do que a requerida pelo cálculo estrutural. A relação entre as classes de resistência e as classes de exposição (ver Quadro 4.1) poderá ser caracterizada através de classes indicativas de resistência.

(2)-Quando a resistência escolhida é superior à requerida pelo cálculo estrutural, o valor de f_{ctm} deverá ser associado à resistência mais elevada no cálculo da armadura mínima de acordo com 7.3.2 e 9.2.1.1 e no controle da largura de fendas de acordo com 7.3.3 e 7.3.4.

Nota: Os valores das classes indicativas da resistência a utilizar num determinado país poderão ser indicados no respectivo Anexo Nacional. Os valores recomendados são indicados no Quadro E.1N.

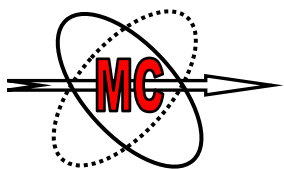
Quadro E.1N – Classes indicativas de resistência

Classes de exposição de acordo com o Quadro 4.1										
Corrosão										
	Corrosão induzida por carbonatação				Corrosão induzida por cloretos			Corrosão induzida por cloretos da água do mar		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Classe indicativa de resistência	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45	
Danos no betão										
	Sem risco	Ataque gelo/degelo			Ataque químico					
	X0	XF1	XF2	XF3	XA1		XA2		XA3	
Classe indicativa de resistência	C12/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37		C30/37		C35/45	

4.4.1-Recobrimento das armaduras (NP)

4.4.1.1-Generalidades

1(P) O recobrimento das armaduras é a distância entre a superfície da armadura (incluindo ganchos, cintas, estribos e armadura de pele, quando relevante) que fica mais próxima da superfície de betão mais próxima e esta última.



2(P) O revestimento nominal deve ser especificado nos desenhos. É definido como um revestimento mínimo c_{min} (ver 4.4.1.2), mais uma margem de cálculo para as tolerâncias de execução, Δc_{dev} (ver 4.4.1.3):

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

4.4.1.2 Revestimento mínimo, c_{min}

1(P) O revestimento mínimo das armaduras, deve assegurar:

- a transmissão eficaz das forças de aderência (ver também secções 7 e 8);
- a proteção do aço contra a corrosão (durabilidade);
- uma adequada resistência ao fogo (ver a EN 1992-1-2).

2(P) Deve utilizar-se o maior valor de c_{min} que satisfaça simultaneamente os requisitos de aderência e de condições ambientais.

$$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur} + \Delta C_{dur,y} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

em que:

$C_{min,b}$ revestimento mínimo para os requisitos de aderência – o diâmetro da barra isolada ou o diâmetro equivalente do feixe - ver 4.4.1.2 (3);

$C_{min,dur}$ revestimento mínimo relativo às condições ambientais, ver 4.4.1.2 (5);

$\Delta C_{dur,y}$ margem de segurança, fornecida pelo Anexo nacional. Na ausência de especificações suplementares o valor recomendado é 0 - ver 4.4.1.2 (6)

$\Delta C_{dur,st}$ redução do revestimento mínimo no caso de utilização de aço inoxidável, fornecido pelo Anexo nacional. Na ausência de especificações suplementares o valor recomendado é 0 - ver 4.4.1.2 (7)

$\Delta C_{dur,add}$ redução do revestimento mínimo no caso de proteção adicional. Na ausência de especificações suplementares o valor recomendado é 0 - ver 4.4.1.2 (8)

(3) Para assegurar simultaneamente a transmissão correta das forças de aderência e a adequada compactação do betão, o revestimento das armaduras não deverá ser inferior a $c_{min,b}$ indicado no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – revestimento mínimo, $c_{min,b}$, requisitos relativos à aderência

Requisito de aderência	
Disposição dos varões	Revestimento mínimo $c_{min,b}$ ^{*)}
Isolados	Diâmetro do varão
Agrupados	Diâmetro equivalente (\varnothing_n)-ver 8.9.1

^{*)} Se a máxima dimensão do agregado for superior a 32 mm, $c_{min,b}$ deverá ser aumentado de 5 mm

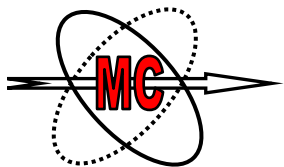
NOTA: Os valores de $c_{min,b}$ a utilizar num determinado país para bainhas circulares e retangulares de armaduras – pós-tensadas aderentes e para armaduras pré-tensionadas poderão ser indicados no respectivo Anexo Nacional. Os valores recomendados para bainhas de pré-esforço por pós-tensão são:

- bainhas circulares: diâmetro; - bainhas retangulares: maior do que a menor dimensão, mas não inferior à metade da maior dimensão.

Não há requisitos superiores a 80 mm para as bainhas circulares ou retangulares.

Os valores recomendados para armaduras pré-tensionadas são os seguintes:

- 1,5 x diâmetro do cordão ou do fio liso; - 2,5 x diâmetro do fio indentado.



(4) O recobrimento nominal da amarração das armaduras de pré-esforço deverá ser assegurado de acordo com a Aprovação Técnica Européia aplicável.

(5) O valor do recobrimento nominal das armaduras para betão armado e das armaduras de pré-esforço no betão de massa volúmica normal, que tem em conta as classes de exposição e as classes estruturais, é representado por $C_{min,dur}$.

NOTA: a classificação estrutural e os valores de $C_{min,dur}$ a utilizar num determinado país poderão ser indicadas no respectivo Anexo Nacional. A Classe Estrutural recomendada (tempo de vida útil de projeto de 50 anos) é S4 para as resistências indicativas do betão indicadas no Anexo E, e as modificações recomendadas da Classe Estrutural são indicadas no Quadro 4.3N. A Classe Estrutural mínima recomendada é S1.

Os valores recomendados de $C_{min,dur}$ são indicados no Quadro 4.4N (armaduras para betão armado) e no Quadro 4.5N (armaduras de pré-esforço)

Quadro 4.3N – Classificação estrutural recomendada

Classe Estrutural							
Critério	Classe de Exposição de acordo com o Quadro 4.1						
	XO	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Tempo de vida útil de Projeto de 100 anos	Aumentar 2 classes	Aumentar 2 classes	Aumentar 2 classes	Aumentar 2 classes	Aumentar 2 classes	Aumentar 2 classes	Aumentar 2 classes
Classe de resistência ^{1) 2)}	≥C30/37 Reduzir 1 classe	≥C30/37 Reduzir 1 classe	≥C35/45 Reduzir 1 classe	≥C40/50 Reduzir 1 classe	≥C40/50 Reduzir 1 classe	≥C40/50 Reduzir 1 classe	≥C45/55 Reduzir 1 classe
Elemento com geometria de laje (posição das armaduras não afetada pelo processo construtivo)	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe
Garantia especial do controle de qualidade da produção do betão	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe	Reduzir 1 classe

Notas do Quadro 4.3N

¹⁾ Considera-se que a classe de resistência e a razão água-cimento estão relacionadas. Poderá considerar-se uma composição especial (tipo de cimento, razão água-cimento, enchimento de finos) a fim de obter uma baixa permeabilidade.

²⁾ O limite poderá ser reduzido de uma classe de resistência se a introdução de ar for superior a 4%.

NOTA DO AUTOR: as tabelas abaixo informam o cobrimento mínimo.

Quadro 4.4N – Valor do recobrimento mínimo, $c_{min,dur}$, requisitos relativos à durabilidade das armaduras para betão armado de acordo com a EN 10080.

Classe estrutural	Requisito ambiental para $c_{min,dur}$ (mm)						
	Classe de exposição de acordo com o Quadro 4.1						
	XO	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Quadro 4.5N – Valor do recobrimento mínimo, $c_{min,dur}$, requisitos relativos à durabilidade das armaduras de pré-esforço

Classe estrutural	Requisito ambiental para $c_{min,dur}$ (mm)						
	Classe de exposição de acordo com o Quadro 4.1						
	XO	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

(6) O cobrimento das armaduras deverá ser aumentado da margem de segurança $\Delta c_{dur,y}$.

NOTA: O valor $\Delta c_{dur,y}$ a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado é 0 mm.

(7) Quando se utiliza aço inoxidável ou quando tiverem sido tomadas outras medidas especiais, o recobrimento mínimo poderá ser reduzido de $\Delta c_{dur,y}$. Nestes casos, deverão considerar-se os seus efeitos sobre todas as propriedades dos materiais relevantes, incluindo a aderência.

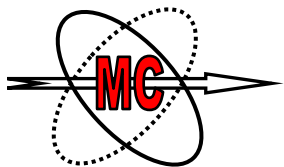
NOTA: O valor $\Delta c_{dur,y}$ a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado, na ausência de outras especificações, é 0 mm.

(8) No caso de betão com proteção adicional (por exemplo, revestimento), o recobrimento mínimo poderá ser reduzido de $\Delta c_{dur,add}$.

NOTA: O valor $\Delta c_{dur,add}$ a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado, na ausência de outras especificações, é 0 mm.

(9) No caso de uma betonagem contra outros elementos de betão (pré-fabricado ou betonado in situ), o recobrimento mínimo das armaduras medidas em relação à interface poderá ser reduzido para um valor correspondente ao requerido para a aderência (ver (3) acima), desde que:

- a classe de resistência do betão seja pelo menos C25/30;
- o tempo de exposição da superfície de betão ao ambiente exterior seja de curta duração (< 28 dias);
- a interface tenha sido tornada rugosa.



(10) Para armaduras não aderentes, o revestimento deverá ser conforme a Aprovação Técnica Européia aplicável.

(11) No caso de paramentos irregulares (por exemplo, betão com agregado à vista), o revestimento mínimo deverá ser aumentado pelo menos de 5 mm.

(12) Quando se prevê gelo/degelo ou ataque químico ao betão (Classes XF e XA), deverá prestar-se especial atenção à composição do betão (ver a EM 206-1, seção 6). Em situação deste tipo, um revestimento de acordo com 4.4 será normalmente suficiente.

(13) No que respeita à abrasão do betão, deverá prestar-se especial atenção aos agregados, de acordo com a EN 206-1. Uma opção consiste em ter em conta a abrasão do betão aumentando o revestimento das armaduras (espessura sacrificial). Neste caso, o revestimento mínimo c_{min} deverá ser aumentado de k_1 para a classe de abrasão XM1, de k_2 para XM2 e de k_3 para XM3.

NOTA: a Classe de Abrasão XM1 corresponde a uma abrasão moderada, idêntica a dos elementos de parques industriais sujeitos à circulação de veículos com pneus. A Classe de Abrasão XM2 corresponde a uma abrasão forte, idêntica a dos elementos de parques industriais sujeitos à circulação de empilhadeiras com pneus ou rodas de borracha maciças. A Classe de Abrasão XM3 corresponde a uma abrasão extrema, idêntica a dos elementos de parques industriais sujeitos à circulação de empilhadeiras com rodas de elastômero ou metálicas ou de veículos com lagartas.

Os valores de k_1 , k_2 e k_3 a utilizar num determinado país poderão ser indicados no respectivo Anexo Nacional. Os valores recomendados são 5 mm, 10 mm e 15 mm.

4.4.1.3 Margem de cálculo para tolerância de execução

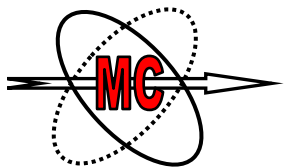
(1)P Para o cálculo do revestimento nominal c_{nom} , deve majorar-se ao nível do projeto, o revestimento mínimo para ter em conta as tolerâncias de execução (Δc_{dev}). O revestimento mínimo deve ser aumentado do valor absoluto do desvio negativo da tolerância aceitável.

NOTA: O valor de Δc_{dev} a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado é de 10 mm.

(2) Para edifícios indica-se a tolerância de execução aceitável na ENV 13670-1. Esta tolerância normalmente também é suficiente para outros tipos de estruturas. Deverá ser considerado quando se escolhe, no projeto, o valor do revestimento nominal. O valor nominal do revestimento de projeto deverá ser utilizado nos cálculos e deverá ser indicado nos desenhos. A não ser que seja especificado um outro valor que não o revestimento nominal (por exemplo, valor mínimo).

(3) Em determinadas situações, a tolerância de execução admissível e, por conseguinte, a margem Δc_{dev} poderão ser reduzidas.

NOTA: Nessas situações, a redução de Δc_{dev} a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional.



Os valores recomendados são:

- quando o fabrico está sujeito a um sistema de garantia de qualidade, no qual a monitoração inclui medições do recobrimento das armaduras, poderá reduzir-se a margem de cálculo para desvios das tolerâncias de execução Δc_{dev} .

$$10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 5 \text{ mm} \quad (4.3 \text{ N})$$

- quando na monitorização é utilizado um dispositivo de medição muito exato, e que os elementos não conformes são rejeitados (por exemplo, elementos préfabricados), poderá reduzir-se a margem de cálculo para desvios das tolerâncias de execução Δc_{dev} .

$$10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 0 \text{ mm} \quad (4.4 \text{ N})$$

(4) No caso de betonagens sobre superfícies irregulares, o recobrimento nominal deverá em geral ser aumentado adotando maiores tolerâncias no cálculo. O aumento deverá ser função da diferença provocada pela irregularidade, mas o recobrimento nominal deverá ser pelo menos k_1 mm para a betonagem sobre terreno preparado (incluindo betão de limpeza) e k_2 mm para a betonagem direta contra o terreno.

O recobrimento das armaduras para superfícies com características especiais, como superfícies estriadas ou com agregados à vista, também deverá ser aumentado para ter em conta a irregularidade da superfície (ver 4.4.1.2 (11)).

NOTA: Os valores de k_1 e k_2 a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional. Os valores recomendados são 40 mm e 75 mm.

6. PERÍODOS DE UTILIZAÇÃO – VALORES DO ANEXO NACIONAL (FRANÇA)

Classe estrutural	Período de utilização	Exemplos
S1	10 anos	Estruturas provisórias
S2	25 anos	Elementos estruturais substituíveis - aparelhos de apoio como exemplo
S3	25 anos	Estruturas agrícolas e similares
S4	50 anos	Estruturas de edifícios e estruturas correntes
S5	100 anos	Estruturas monumentais de edifícios, pontes e outras obras de engenharia civil

7-DIRETRIZES PARA A DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO – NBR 6118:2003.

No texto que se segue, apresenta-se em itálico um resumo das prescrições mais relevantes compiladas da NBR 6118:2003.

Tabela 6.1 – Classe de agressividade ambiental

Classe 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 ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^{1),}	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

1)-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 ambiente com concreto revestido com argamassa e pintura).

2)-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.

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

Tabela 7.1 – Correspondência entre 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 (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS

1- O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

2-CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3-CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

7.4.3 – Os requisitos das tabelas 7.1 e 7.2 são válidos para concretos executados com cimento Portland que atenda, conforme seu tipo e classe, às especificações das seguintes normas da ABNT: NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735, NBR 5736, NBR 5737, NBR 11578, NBR 12989 e NBR 13116, com consumos mínimos de cimento por metro cúbico de acordo com a NBR 12655.

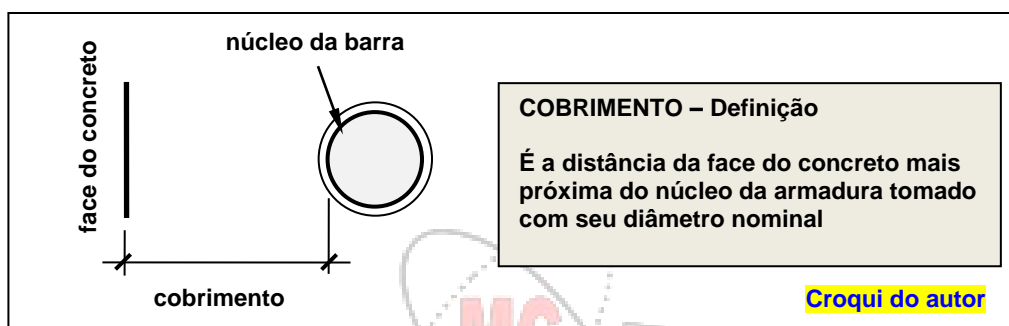
7.4.4 – Não é permitido o uso de aditivos contendo cloreto na sua composição em estruturas de concreto armado ou protendido.

7.4.5. – A proteção das armaduras ativas externas deve ser garantida pela bainha, completada por graute, calda de cimento Portland sem adições, ou graxa especialmente formulada para esse fim.

7.4.6 – Atenção especial deve ser dedicada à proteção contra a corrosão das ancoragens das armaduras ativas.

7.4.7 – Para o cobrimento deve ser observado o prescrito em 7.4.7.1 a 7.4.7.7.

7.4.7.1 – Para atender aos requisitos estabelecidos nesta Norma, o cobrimento mínimo da armadura é o maior valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado e que se constitui num critério de aceitação.



7.4.7.2 – Para garantir o cobrimento mínimo (c_{min}) o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal (c_{nom}), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δc). Assim, as dimensões das armaduras e os espaçadores devem respeitar os cobrimentos nominais, estabelecidos na Tabela 7.2 para $\Delta c = 10 \text{ mm}$.

7.4.7.3 – Nas obras correntes o valor de Δc deve ser maior ou igual a 10 mm.

7.4.7.4 – Quando houver um adequado controle de qualidade e rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução pode ser adotado o valor $\Delta c = 5 \text{ mm}$, mas a exigência do 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 externa, em geral à face externa do estribo. O cobrimento nominal de uma determinada barra deve sempre ser:

a) $c_{nom} \geq \emptyset$ barra; b) $c_{nom} \geq \emptyset$ feixe = $\emptyset_n = \emptyset n^{1/2}$; c) $c_{nom} \geq \emptyset$ 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: $d_{m\acute{a}x} \leq 1,2 c_{nom}$

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.

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

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

1)-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.
 2)-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 ≥ 15 mm.
 3)-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 ≥ 45 mm.

7.5 – Detalhamento das armaduras

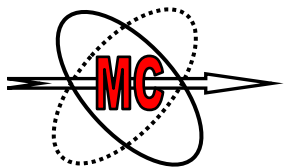
7.5.1 – As barras devem ser dispostas dentro do componente ou elemento estrutural, de modo a permitir e facilitar a boa qualidade das operações de lançamento e adensamento do concreto.

7.5.2 – Para garantir um bom adensamento é vital prever no detalhamento da disposição das armaduras espaço suficiente para entrada da agulha do vibrador.

Nota do autor. São os seguintes os diâmetros comerciais de agulhas de vibradores: 35-50-75-100 mm, este último usado em obras de grande porte. Para edificações convencionais os diâmetros mais usados são os de 50 mm e 75 mm. Entende-se da necessidade de definir um espaçamento mínimo interfaces de barras superiores de vigas e paredes - 55 mm e 80 mm - respectivamente, evitando-se o que se vê em obras: desenhos automatizados por softwares – sem configurar o vibrador a ser utilizado - atendo-se ao espaçamento interbarras como se fossem positivas, e operários vibrando formas e armaduras negativas onde não há espaço para a agulha do vibrador.

7.6 – Controle da fissuração

7.6.1 – O risco e a evolução da corrosão do aço na região das fissuras de flexão transversais à armadura principal dependem essencialmente da qualidade e da espessura do concreto de cobrimento da armadura. Aberturas características limites de fissuras na superfície do concreto dadas em 13.4.2, em componentes ou elementos de concreto armado, são satisfatórias para as exigências de durabilidade.



Nota do autor: entende-se de aqui destacar o item “17.3.5.2.2 – Valores mínimos para a armadura de tração sob deformações impostas”, cujo desprezo é responsável por grande volume de fissuras em lajes com $h > 30$ cm concretadas sobre o solo, reservatórios, vigas, paredes, pilares-parede, muros e outras peças impedidas de se deformarem livremente.

7.6.2 – Devido à sua maior sensibilidade à corrosão sob tensão, o controle de fissuras na superfície do concreto na região das armaduras ativas deve obedecer ao disposto em 13.4.2.

7.7 – Medidas especiais

Em condições de exposição adversas devem ser tomadas medidas especiais de proteção e conservação 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.

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 25.4.

Nota do autor: Manual de Garantias publicado pela Associação das Empresas do Mercado Imobiliário de Alagoas – 2011.

“5- Manutenção Preventiva e Inspeção de procedimentos.

A realização da manutenção preventiva e das inspeções de procedimentos é da responsabilidade exclusiva do condomínio e/ou dos proprietários das unidades, devendo os mesmos seguirem, rigorosamente, as formas e prazos estabelecidos no presente manual, ficando certo, inclusive, que a sua inobservância é causa de excludente de cobertura pela garantia.

5.7.1 Estruturas de Concreto – Manutenção preventiva.

Verificação da integridade da estrutura - a cada ano; Teste da profundidade da carbonatação - a cada ano; Verificação do aparecimento de manchas superficiais no concreto - a cada ano; Verificação da descoloração do concreto - a cada ano; Verificação do aparecimento de estalactites e estalagmites nos tetos e pisos de concretos – a cada ano (todos por profissional, empresa habilitada e/ou especializada).

Prazo de garantia: - integridade física superficial do concreto (brocas e vazios)-um ano; - revestimento hidrofugante - 02 anos; - pinturas superficiais das estruturas - 02 anos; - integridade física superficial do concreto no tocante à formação de estalactites e estalagmites - 5 anos; - Segurança, solidez e estabilidade global - 05 anos”.

8-CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO

8.1- NPEN 1992-1-1-2010

Concreto Armado - Cobrimento Nominal considerado:

$$C_{nom} = C_{min} + 10 \text{ mm}$$

Concreto Armado - Cobrimento nominal com $\Delta c = 10 \text{ mm}$ – valores em mm							
Classe estrutural	Classe de exposição ambiental						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
País	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
S1	20	20	20	25	30	35	40
S2	20	20	25	30	35	40	45
S3	20	20	30	35	40	45	50
S4	20	25	35	40	45	50	55
S5	25	30	40	45	50	55	60
S6	30	35	45	50	55	60	65

8.2- NPEN 1992-1-1-2010

Concreto Protendido - Cobrimento Nominal considerado:

$$C_{nom} = C_{min} + 10 \text{ mm}$$

Concreto Protendido - Cobrimento nominal com $\Delta c = 10 \text{ mm}$ – valores em mm)							
Classe estrutural	Classe de exposição ambiental						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
País	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
S1	20	25	30	35	40	45	50
S2	20	25	35	40	45	50	55
S3	20	30	40	45	50	55	60
S4	20	35	45	50	55	60	65
S5	20	40	50	55	60	65	70
S6	30	45	55	60	65	70	75

8.3- DIN 1045 – Cobrimento Nominal considerado com $\Delta c = 15 \text{ mm}$

Concreto Armado e Protendido - Cobrimentos segundo a DIN 1045 – valores em mm													
Tipo de ataque	Corrosão induzida por carbonatação				Corrosão induzida por cloretos			Corrosão Induzida por cloretos da água do mar			Pavimentos com desgaste por abrasão - com armaduras		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3	XM1	XM2	XM3
Concreto armado	20	35	35	40	55	55	55	55	55	55	45	50	55
Concreto protendido	30	45	45	50	65	65	65	65	65	65	55	60	65

Tabela fornecida pelo Prof. Eduardo Thomaz

8.4 NORMA ABNT NBR 6118:2007

De acordo com as notações européias, já consagradas em nível internacional, repetimos os seguintes parâmetros:

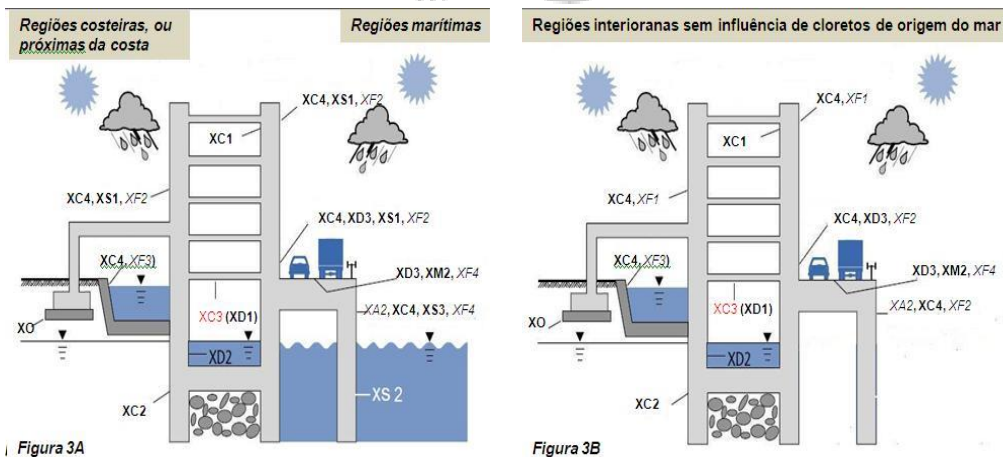
WO - seco; **WA** - molhado sob alcalinidade externa; **WF** - úmido; **WS** - molhado sob alcalinidade externa e desgaste.

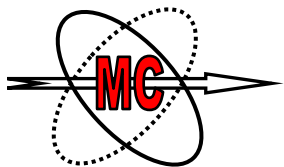
XA – risco de ataque químico (3 subclasses); **XC** – corrosão induzida por carbonatação (4 subclasses); **XD** – corrosão induzida por cloretos (3 subclasses); **XF** – ataque por congelamento e descongelamento (4 subclasses); **XM** – abrasão do concreto, com 3 níveis; **XO** – sem risco de corrosão ou ataque químico (1 subclasse); **XS** – corrosão induzida por cloretos da água do mar (3 subclasses).

Observação do autor - pode-se associar as siglas do inglês para o português, exceto o F:

X-eXposure (eXposição); **A-Attak** (Ataque); **C-Carbonation** (Carbonatação); **D-Damper** (umiDade); **F-Freeze Thaw** (congelamento/descongelamento); **M-Mechanical** (desgaste por abrasão – Mecânica); **O-NO** risc (sem riscO); **S-Sea water** (água **S**algada-do mar).

Sob essas similaridades sugere-se utilizar na NBR 6118:2011 as tabelas listadas nos itens 6.1 e 6.2 da **NPEN 1992-1-1-2010**, associadas às Figuras 3A e 3B mostradas no Item 3 e abaixo reproduzidas.





9 CONCLUSÕES

A proposta de realizar esse trabalho surgiu quando tomei conhecimento do evento da ABECE a se realizar em São Paulo para discutir a revisão da NBR 6118:2003. Pretendia elaborar uma síntese, porém, sob a importância do tema que envolve a vida útil das estruturas, o texto se alongou, na busca de esclarecer as principais dúvidas que persistem no meio profissional pertinente aos cobrimentos de armaduras em peças de concreto armado, prescritos na NBR 6118:2003.

O assunto foi discutido com diversos calculistas. Foram ouvidas as mais diversas justificativas para uso de cobrimentos inferiores aos normativos em zonas litorâneas, em geral, como exigência de construtores que entregam aos condomínios manuais de garantia e de manutenção. Colegas do exterior foram ouvidos e forneceram material, entre eles: Rui Travanca, de Portugal, e Nilson Menezes, da França. Foram utilizados dados divulgados pelo Prof. Eduardo Thomaz - IME.

Não importa se o prazo de “garantia” de edifícios ou de outras construções seja de 5 anos, como consta do Art.618 do Código Civil. Cabe aos engenheiros calculistas projetar as obras para uma vida útil de 50 anos, assim consideradas aquelas em que a edificação mantém a capacidade resistente, o desempenho em serviço, e a durabilidade sem necessitar de intervenções significativas.

A ABNT deve elaborar uma nova versão da NBR 6118:2003 sem deixar nenhuma dúvida de procedimentos, sob pena de, se assim não proceder, todos verão a deterioração precoce de obras, principalmente, as residenciais e comerciais cujas responsabilidades de inspeção e manutenção ora estão atribuídas a pessoas leigas no assunto.

Maceió, 20 de outubro de 2011

Marcos Fernando Carneiro Carnaúba
Eng.º Civil Consultor
Maceió – Alagoas - Brasil

Bibliografia

- 1-NBR 6118:2003
- 2-NPEN 1992-1-1-2010 - Portugal
- 3-EN-Anexo Nacional – França
- 4-Die neuen deutschen Betonnormen DIN EM 201-1 und Din 1045-2 für die Planung dauerhafter Bauwerke.
- 5-Zement-Merkblatt Betontechnik – B9-2010
- 6-Dauerhafter Beton bei chemischem Angriff – Beton Seminaire 2009
- 7-INMET-Normais Climatológicas do Brasil-2009 – www.inmet.gov.br
- 8-IBGE