

Quadro 1 – Classes de exposição

Designação da classe	Descrição do ambiente	Exemplos informativos onde podem ocorrer as classes de exposição
1 Sem risco de corrosão ou ataque		
X0	Para betão não armado e sem metais embebidos: todas as exposições, excepto ao gelo/degelo, à abrasão ou ao ataque químico. Para betão armado ou com metais embebidos: ambiente muito seco.	Betão no interior de edifícios com muito baixa humidade do ar
2 Corrosão induzida por carbonatação		
Quando o betão, armado ou contendo outros metais embebidos, se encontrar exposto ao ar e à humidade, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue: <i>NOTA:</i> As condições de humidade são as do betão de recobrimento das armaduras ou de outros metais embebidos, mas, em muitos casos, as condições deste betão podem considerar-se semelhantes às condições de humidade do ambiente circunvizinho. Nestes casos, pode ser adequada a classificação do ambiente circunvizinho. Tal pode não ser aplicável, caso exista uma barreira entre o betão e o seu ambiente.		
XC1	Seco ou permanentemente húmido	Betão no interior de edifícios com baixa humidade do ar; Betão permanentemente submerso em água.
XC2	Húmido, raramente seco	Superfícies de betão sujeitas a longos períodos de contacto com água; Muitas fundações.
XC3	Moderadamente húmido	Betão no interior de edifícios com moderada ou elevada humidade do ar; Betão no exterior protegido da chuva.
XC4	Ciclicamente húmido e seco	Superfícies de betão sujeitas ao contacto com a água, fora do âmbito da classe XC2
3 Corrosão induzida por cloretos não provenientes da água do mar		
Quando o betão armado ou contendo outros metais embebidos se encontrar em contacto com água, que não água do mar, contendo cloretos, incluindo sais descongelantes, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue: <i>NOTA:</i> No que respeita às condições de humidade ver também a secção 2 deste quadro.		
XD1	Moderadamente húmido	Superfícies de betão expostas a cloretos trans-portados pelo ar
XD2	Húmido, raramente seco	Piscinas; Betão exposto a águas industriais contendo cloretos
XD3	Ciclicamente húmido e seco	Partes de pontes expostas a salpicos de água contendo cloretos; Pavimentos; Lajes de parques de estacionamento de automóveis
4 Corrosão induzida por cloretos da água do mar		

Designação da classe	Descrição do ambiente	Exemplos informativos onde podem ocorrer as classes de exposição
Quando o betão, armado ou contendo outros metais embebidos, se encontrar em contacto com cloretos provenientes da água do mar ou exposto ao ar transportando sais marinhos, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue:		
XS1	Ar transportando sais marinhos mas sem contacto directo com a água do mar	Estruturas na zona costeira ou na sua proximidade
XS2	Submersão permanente	Partes de estruturas marítimas
XS3	Zonas de marés, de rebentação ou de salpicos	Partes de estruturas marítimas
5 Ataque pelo gelo/degelo com ou sem produtos descongelantes		
Quando o betão, enquanto húmido, se encontrar exposto a um significativo ataque por ciclos de gelo/degelo, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue:		
XF1	Moderadamente saturado de água, sem produtos descongelantes	Superfícies verticais de betão expostas à chuva e ao gelo
XF2	Moderadamente saturado de água, com produtos descongelantes	Superfícies verticais de betão de estruturas rodoviárias expostas ao gelo e a produtos descongelantes transportados pelo ar
XF3	Fortemente saturado, sem produtos descongelantes	Superfícies horizontais de betão expostas à chuva e ao gelo
XF4	Fortemente saturado, com produtos descongelantes	Estradas e tabuleiros de pontes expostos a produtos descongelantes; Superfícies de betão expostas ao gelo e a salpicos de água contendo produtos descongelantes; Zona das estruturas marítimas expostas à rebentação e ao gelo
6 Ataque químico		
Quando o betão se encontrar exposto ao ataque químico proveniente de solos naturais e de águas subterrâneas, conforme indicado no quadro 2, a exposição ambiental deve ser classificada como estabelecido abaixo. A classificação da água do mar depende da localização geográfica, aplicando-se assim a classificação válida no local de utilização do betão.		
NOTA: Pode ser necessário um estudo especial para estabelecer condições de exposição relevantes quando há:		
<ul style="list-style-type: none"> - valores fora dos limites do quadro 2; - outros agentes químicos agressivos; - água ou solos poluídos quimicamente; - grande velocidade de água em conjunto com os agentes químicos do quadro 2. 		
XA1	Ligeiramente agressivo, de acordo com o quadro 2	
XA2	Moderadamente agressivo, de acordo com o quadro 2	
XA3	Fortemente agressivo, de acordo com o quadro 2	

Quadro 2 - Valores limite das classes de exposição para o ataque químico proveniente de solos naturais e de águas neles contidas

Os ambientes com agressividade química, abaixo classificados, têm como base o solo e a água nele contida, com temperaturas do solo ou da água entre os 5 °C e os 25 °C e com velocidades da água suficientemente lentas que possam ser consideradas próximas das condições estáticas.
A classe é determinada pelo valor mais elevado para qualquer característica química.
Quando duas ou mais características agressivas conduzirem à mesma classe, o ambiente deve ser classificado na classe imediatamente superior, a menos que um estudo especial para este caso específico prove que não é necessário.

Característica química	Método de ensaio de referência	XA1	XA2	XA3
Aguas				
SO ₄ ²⁻ mg/l	EN 196-2*	≥ 200 e ≤ 600	> 600 e ≤ 3000	> 3000 e ≤ 6000
pH	ISO 4316	≥ 5,5 e ≤ 6,5	≥ 4,5 e < 5,5	≥ 4,0 e < 4,5
CO ₂ agressivo mg/l	prEN 13577:1999	≥ 15 e ≤ 40	> 40 e ≤ 100	> 100 até à saturação
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1 ou ISO 7150-2	≥ 15 e ≤ 30	> 30 e ≤ 60	> 60 e ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	ISO 7980	≥ 300 e ≤ 1000	> 1000 e ≤ 3000	> 3000 até à saturação
Solos				
SO ₄ ²⁻ total ^{a)} mg/kg	EN 196-2 ^{b)}	≥ 2000 e ≤ 3000 ^{c)}	> 3000 ^{c)} e ≤ 12000	> 12000 e ≤ 24000
Acidez ml/kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann Gully	Não encontrado na prática	
a) Os solos argilosos com uma permeabilidade abaixo de 10 ⁻⁵ m/s podem ser colocados numa classe mais baixa.				
b) O método de ensaio prescreve a extracção do SO ₄ ²⁻ através de ácido clorídrico; em alternativa, pode usar-se a extracção aquosa, se houver experiência no local de utilização do betão.				
c) O limite de 3000 mg/kg deve ser reduzido para 2000 mg/kg, caso exista risco de acumulação de iões sulfato no betão devido a ciclos de secagem e molhagem ou à absorção capilar.				

Quadro 3 - Classes de abaixamento

Classe	Abaixamento em mm
S1	10 a 40
S2	50 a 90
S3	100 a 150
S4	160 a 210
S5 ¹⁾	≥ 220

Quadro 5 - Classes de compactação

Classe	Grau de compactabilidade
C0 ¹⁾	≥ 1,46
C1	1,45 a 1,26
C2	1,25 a 1,11
C3	1,10 a 1,04
C4 ^a	< 1,04

^a Aplica-se sómente ao betão leve

Quadro 4 - Classes Vêbê

Classe	Tempo Vêbê em segundos
V0 ¹⁾	≥ 31
V1	30 a 21
V2	20 a 11
V3	10 a 6
V4 ¹⁾	5 a 3

Quadro 6 - Classes de espalhamento

Classe	Diâmetro de espalhamento em mm
F1 ¹⁾	≤ 340
F2	350 a 410
F3	420 a 480
F4	490 a 550
F5	560 a 620
F6 ¹⁾	≥ 630

*

/

/

4.2.2 Classes relacionadas com a máxima dimensão do agregado

Quando o betão for classificado em relação à máxima dimensão do agregado, deve usar-se para a classificação a máxima dimensão do agregado mais grosso (D_{max}) do betão.

NOTA: D é a abertura do maior peneiro que define a dimensão do agregado de acordo com a EN 12620.*

4.3 Betão endurecido

4.3.1 Classes de resistência à compressão

Quando o betão for classificado em relação à sua resistência à compressão, aplica-se o quadro 7 para betão de massa volúmica normal e betão pesado ou o quadro 8 para betão leve. Para a classificação utiliza-se a resistência característica aos 28 dias obtida a partir de provetes cilíndricos de 150 mm de diâmetro por 300 mm de altura ($f_{ck,cyl}$) ou a partir de provetes cúbicos de 150 mm de aresta ($f_{ck,cube}$).

NOTA: Em casos especiais e quando permitido pela norma de projecto relevante, podem ser utilizados valores de resistência intermédios aos dados nos quadros 7 e 8.

Quadro 7 - Classes de resistência à compressão para betão de massa volúmica normal e para betão pesado

Classe de resistência à compressão	Resistência característica mínima em cilindros $f_{ck,cyl}$ (N/mm²)	Resistência característica mínima em cubos $f_{ck,cube}$ (N/mm²)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

Anexo F (informativo)

Valores limite recomendados para a composição do betão

Este Anexo dá recomendações para a escolha dos valores limite para a composição e para as propriedades do betão em função das classes de exposição de acordo com 5.3.2.

Os valores do quadro F.1 foram estabelecidos com base num tempo de vida útil pretendido para a estrutura de 50 anos.

Os valores do quadro F.1 foram estabelecidos considerando o uso de cimento do tipo CEM I conforme com a EN 197-1* e de agregados com uma máxima dimensão do agregado mais grosso entre 20 mm e 32 mm.

As classes de resistência mínimas foram deduzidas a partir da relação entre a razão água/cimento e a classe de resistência do betão fabricado com cimento da classe de resistência 32,5.

Os valores limite para a máxima razão água/cimento e para a mínima dosagem de cimento aplicam-se sempre, enquanto que os requisitos para a classe de resistência do betão podem ser especificados adicionalmente.

Quadro F.1 – Valores limite para a composição e para as propriedades do betão

	Classes de exposição																	
	Sem risco de corrosão ou ataque	Corrosão induzida por										Ataque pelo gelo/degelo				Ambientes químicos agressivos		
		carbonatação				Cloretos provenientes												
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Máxima razão A/C	—	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Mínima classe de resistência	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Mínima dosagem de cimento (kg/m ³)	—	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Mínimo teor de ar (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	—	—	—
Outros requisitos												Agregados conformes com a EN 12620:2002 com suficiente resistência ao gelo/degelo				Cimento resistente aos sulfatos		

^a Se o betão não tiver ar incorporado, convém que o seu desempenho seja avaliado com um método de ensaio apropriado, tendo como referência um betão cuja resistência ao gelo/degelo, para a classe de exposição aplicável, se encontre estabelecida

^b Quando o SO_4^{2-} conduzir às classes de exposição XA2 e XA3, é essencial utilizar cimento resistente aos sulfatos. Se o cimento estiver classificado quanto à resistência aos sulfatos, convém utilizar cimento de moderada ou elevada resistência aos sulfatos na classe de exposição XA2 (e quando aplicável na XA1) e cimento de elevada resistência aos sulfatos na classe de exposição XA3

NP EN 12620 Anexo B

(informativo)

Orientações sobre a descrição da finura das areias

Os quadros B.1 e B.2 são utilizados quando o especificador deseja descrever adicionalmente a finura das areias. Pode utilizar-se qualquer dos quadros mas nunca os dois.

Neste quadros as areias grossas são designadas pela letra C, as médias por M e as finas por F.

Adicionalmente, quando for seleccionado o quadro B.1, a letra P designando a percentagem que passa no peneiro 0,500 mm é acrescentada após as letras C, M ou F (por exemplo, MP para uma areia média).

Do mesmo modo, quando for seleccionado o quadro B.2, a letra F designando módulo de finura é acrescentada após as letras C, M ou F (por exemplo, FF para uma areia fina).

Quadro B.1 - Finura da areia baseada na percentagem que passa no peneiro 0,500 mm

Percentagem de passados, em massa		
<i>CP</i>	<i>MP</i>	<i>FP</i>
5 a 45	30 a 70	55 a 100

Quadro B.2 - Finura da areia baseada no módulo de finura

Módulo de finura		
<i>CF</i>	<i>MF</i>	<i>FF</i>
4,0 a 2,4	2,8 a 1,5	2,1 a 0,6

O módulo de finura (*FM*) permite controlar a regularidade. Quando requerido adicionalmente, convém que o módulo de finura numa remessa se situe dentro dos limites do valor *FM* declarado $\pm 0,50$ ou dentro doutros limites especificados.

NOTA: Geralmente o módulo de finura (*FM*) é calculado como a soma das percentagens, em massa, dos retidos acumulados na série de peneiros seguinte (mm) e expressa como percentagem, isto é:

Módulo de Finura de um agregado grosso

(Definição NÃO INCLUÍDA NA NP EN 12620 mas que abarca a definição da norma)

$$FM = \frac{\Sigma[(> 63) + (> 31,5) + (16) + (> 8) + (> 4) + (> 2) + (> 1) + (> 0,5) + (> 0,25) + (> 0,125)]}{100}$$

Módulo de finura de uma Mistura X

$$X = \sum_{i=1}^n A_i \text{ com } \sum_{i=1}^n p_i = 100\% \text{ (} p_i \rightarrow \text{percentagem de } A_i \text{ na mistura } X\text{)}$$

$$\text{ENTÃO: } FM_x = \sum_{i=1}^n p_i \times FM_i$$

Existem **tantas soluções** (1 solução= (p_A, p_B, p_C) = 1 curva real) **quantos os diferentes conjuntos de pontos** (d_i, y_{CTi}) por **onde** se faz passar a curva real.

DEVE-SE ESCOLHER (POR TENTATIVAS) A SOLUÇÃO CUJA CURVA REAL MAIS SE APROXIMA DA IDEAL.

Na **PRÁTICA** uma boa solução é uma **curva real** que passa “acima” da ideal na zona dos finos e cujas áreas acima e abaixo, se compensem (FM - módulo de finura da **curva real** igual a FM da curva teórica dos agregados).

COMO RESOLVER ???

1. Determinar **D** (mm) → máxima dimensão do agregado

2. Arbitrar **C** (kg) → dosagem de cimento

$C_{\text{mínimo}}$ → ver Normas

$C_{\text{aconselhado}}$

$$C_{\text{aconselhado}} = \frac{20 \times (f_{ck} + 10)}{\sqrt[5]{D}}$$

3. Arbitrar A\C

A/C máximo → ver Normas

$$A = 165 + 0.2 (C - 300)$$

4. Fixar A, B e R/D

5. Determinar $Y_{D/2}$

$$Y_{D/2} = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{R/D - 0.75}$$

6. Fixar V_v (volume de vazios).

$$V_v = \frac{45 - 0,03C}{D^{0.2}}$$

7. Determinar m (volume de agregados)

$$c + m + a + V_v = 1$$

com por ex.

$$c = C/3100$$

$$a = A/1000$$

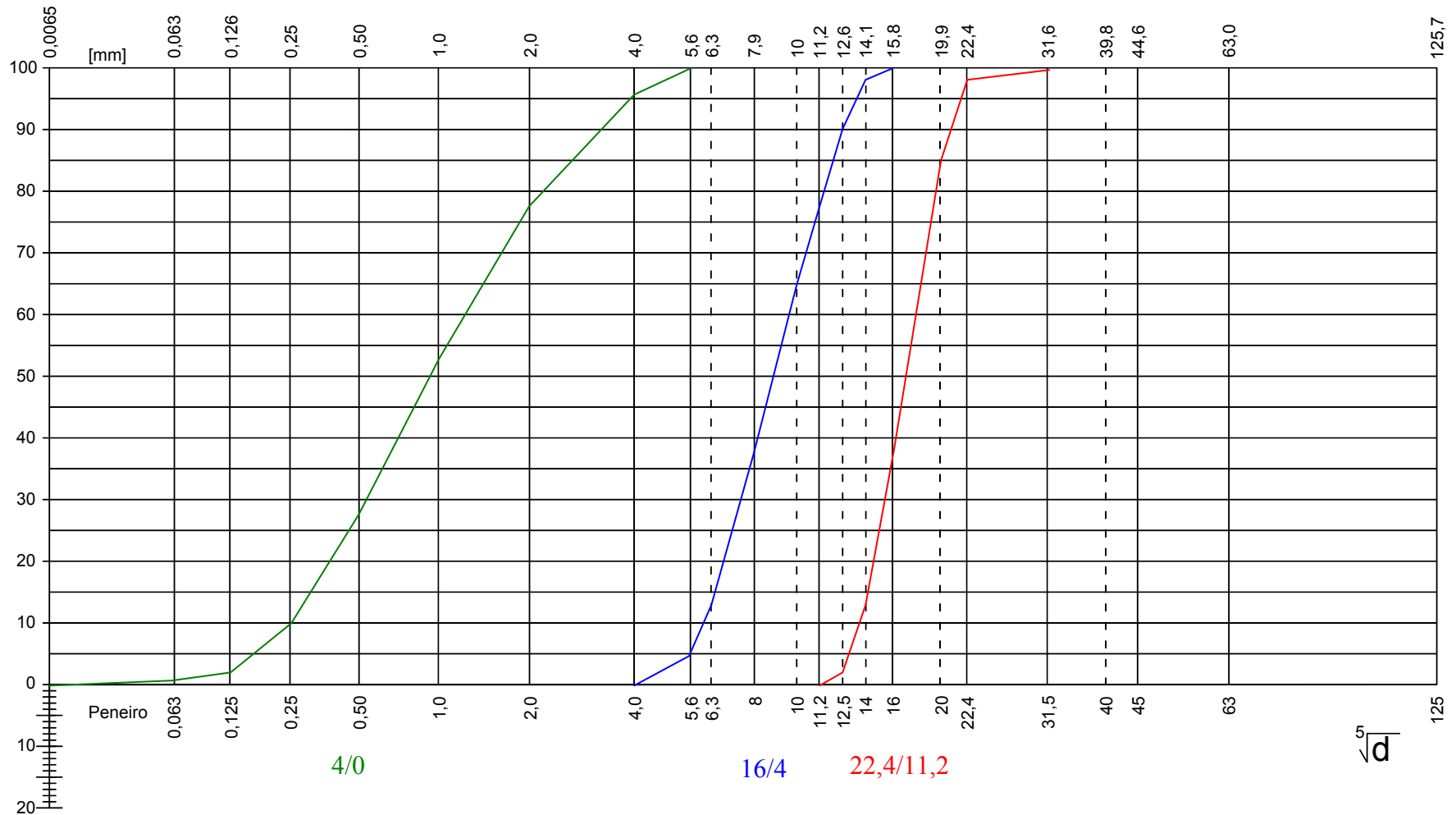
8. Determinar p_c

$$p_c = \frac{c}{c + m}$$

Determine a composição do betão pelo método de Faury considerando o seguinte:

- ☞ betão para as fundações de um edifício de habitação localizado em Braga
- ☞ Classe exigida em termos de resistência às cargas C25/30
- ☞ Solo e águas classificadas como não agressivos
- ☞ Curvas granulométricas dadas em anexo de uma areia e duas brita cujas granulometrias foram avaliadas no LEM
- ☞ Consistência da classe S1 (plástica) e a utilizar meios de vibração média (sem adjuvantes)

Determine as quantidades necessárias para se fabricar 40 litros de betão.



Determine a composição do betão pelo método de Faury considerando o seguinte:

- ☞ betão para as fundações de um edifício de habitação localizado em Braga
- ☞ Classe exigida em termos de resistência às cargas C25/30
- ☞ Solo e águas classificadas como não agressivos
- ☞ Curvas granulométricas dadas em anexo de uma areia e duas brita cujas granulometrias foram avaliadas no LEM
- ☞ Consistência da classe S1 (plástica) e a utilizar meios de vibração média (sem adjuvantes)

Determine as quantidades necessárias para se fabricar 40 litros de betão.

