

**ascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

## Inspeções e ensaios não destrutivos em pontes localizadas em ambientes agressivos


Casos de estudo - Pontes localizadas em ambiente marítimo

Duarte Abecasis, Tiago Ribeiro  
OZ, Lda.

Organização:  

Com o apoio de:  

Univer. do Minho      Univer. de Coimbra




**ascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Ambientes agressivos**

Eurocódigo 2, Secção 4:

“A protecção das armaduras contra a corrosão depende da densidade, qualidade e espessura do betão de recobrimento e da fendilhação. A densidade e qualidade do betão de recobrimento é atingida controlando o valor máximo da relação A/C e o conteúdo mínimo de cimento, podendo estar relacionada com uma classe de resistência mínima do betão”




• **Ambientes agressivos**

“A protecção das armaduras contra a corrosão depende da densidade, qualidade e espessura do betão de recobrimento e da fendilhação.”

	Sem risco de corrosão ou ataque	Classes de exposição																
		Corrosão induzida por										Ataque pelo gelo/degelo				Ambientes químicos agressivos		
		carbonatação				Clorretos provenientes da água do mar						doutros origens		XF1	XF2	XF3	XF4	XA1
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	
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 <sup>3</sup> )	—	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Mínimo teor de ar (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	—	—	—
Outros requisitos												Agregados conformes com a EN 12620:2002 com suficiente resistência ao gelo/degelo				Cimento resistente aos sulfatos		

Valores limite para a composição e para as propriedades do betão (EN 206-1)



• **Ambientes agressivos**

“A protecção das armaduras contra a corrosão depende da densidade, qualidade e espessura do betão de recobrimento e da fendilhação.”

Environmental Requirement for $c_{min,dur}$ (mm)							
Structural Class	Exposure Class according to Table 4.1						
	X0	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

Valores do recobrimento mínimo de armaduras ordinárias (EN 10080)

**cascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Ambientes agressivos**

Pode concluir-se que o ambiente mais agressivo para os elementos de betão armado, quando o risco é a corrosão de armaduras, é o ambiente marítimo.

4 Corrosão induzida por cloretos da água do mar		
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

Classes de exposição ambiental (EN 206-1)

**cascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Ponte de Vila Nova de Milfontes**



- Localizada na EN 393, na foz do Rio Mira, junto a Vila Nova de Milfontes
- Projectista: Prof. Lobo Fialho
- Estrutura em betão armado
- Concluída em 1978 (33 anos)

**cascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- Ponte de Vila Nova de Milfontes



- Comprimento total de 373,20 m
- Tabuleiro com tramos do tipo “viga Gerber”
- Pilares em forma de duplo “V”
- Fundações constituídas por estacas e maciços de encabeçamento ou por sapatas

**cascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- Ponte de Vila Nova de Milfontes

Principais anomalias identificadas no decorrer da inspeção visual:

- Corrosão de armaduras e de outros elementos metálicos embutidos no betão dos pilares e dos maciços de encabeçamento





congresso **segurança e conservação de pontes** Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Ponte de Vila Nova de Milfontes**

Principais anomalias identificadas no decorrer da inspeção visual:

- Corrosão de armaduras e de outros elementos metálicos embutidos no betão dos pilares e dos maciços de encabeçamento



congresso **segurança e conservação de pontes** Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Ponte de Vila Nova de Milfontes**

Principais anomalias identificadas no decorrer da inspeção visual:

- Corrosão de armaduras e de outros elementos metálicos embutidos no betão dos pilares e dos maciços de encabeçamento



 congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- Ponte de Vila Nova de Milfontes

Principais anomalias identificadas no decorrer da inspeção visual:

- Manchas de colonização biológica nos tramos sobre os pilares



 congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- Ponte de Vila Nova de Milfontes

Principais anomalias identificadas no decorrer da inspeção visual:

- Lacunas na consola do lado montante



**ascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- Ponte de Vila Nova de Milfontes

**Ensaios realizados:**

- Detecção de armaduras e medição do seu recobrimento
- Determinação da profundidade de carbonatação
- Determinação do teor de cloretos a várias profundidades
- Medição dos potenciais eléctricos, resistividade e grau de humidade
- Determinação do teor de álcalis
- Análise petrográfica
- Determinação da resistência à compressão do betão

Tipo de ensaios	Tipo de elemento estrutural			N.º total de ensaios	
	Encontros	Pilares	Maciços		Tabuleiro
Recobrimento de armaduras	1	5	2	13	21
Carbonatação		4		13	17
Potencial eléctrico		2			2
Resistividade		2			2
Teor de álcalis		2			2
Análise petrográfica		2			2
Teor de cloretos		4		13	17
Resistência à compressão				3	3

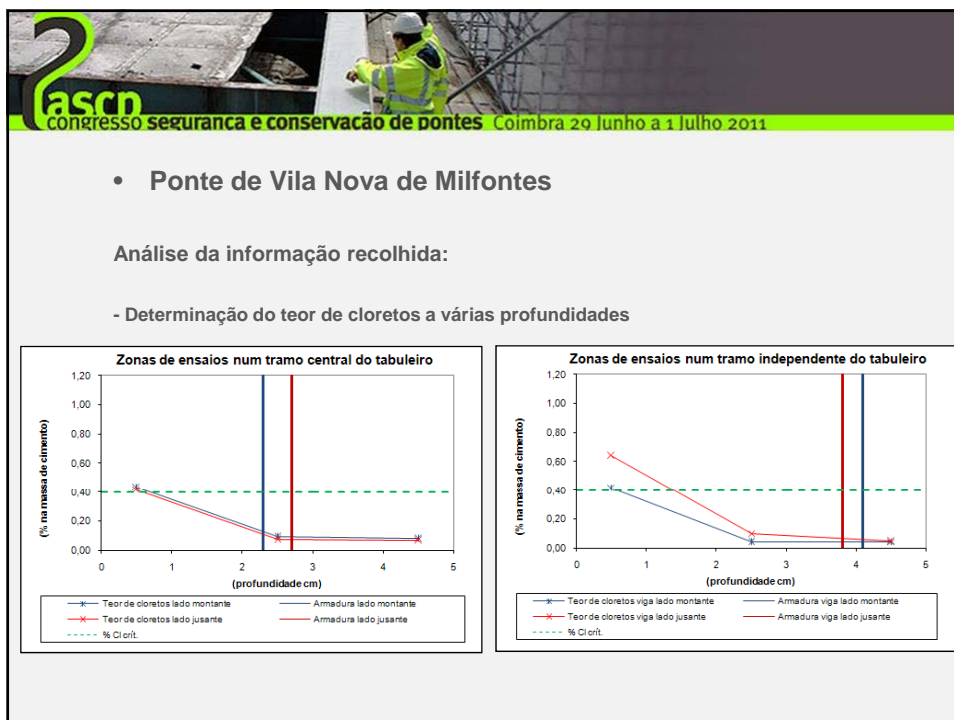
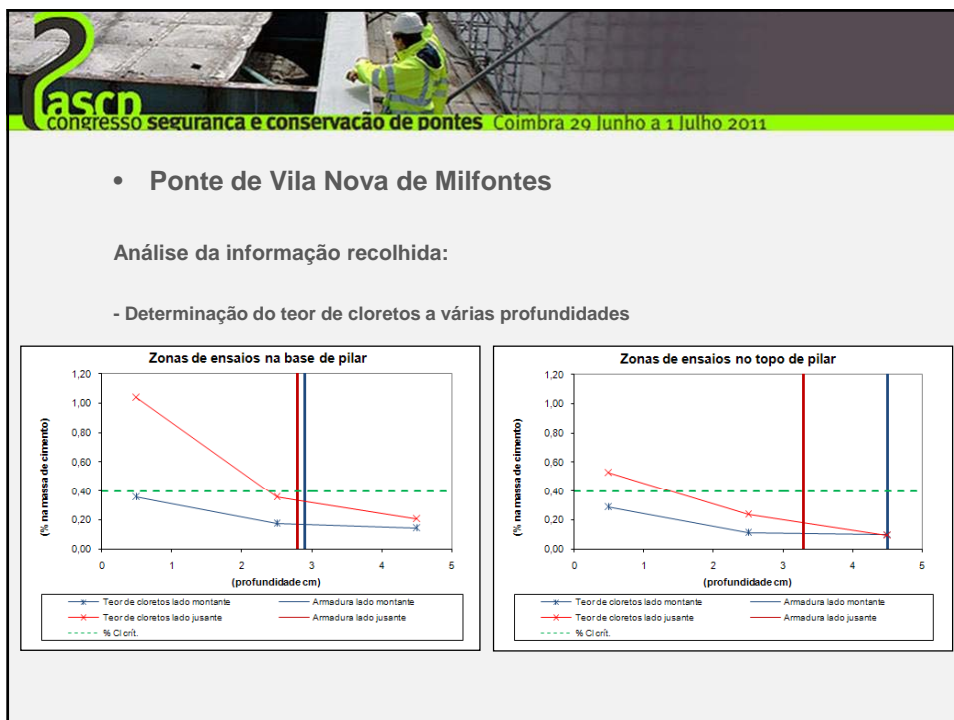
**ascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011


- Ponte de Vila Nova de Milfontes

**Plano de ensaios:**









congresso **segurança e conservação de pontes** Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Ponte de Vila Nova de Milfontes**

Principais conclusões extraídas dos ensaios realizados:

- 50% das zonas de ensaios não cumpriam os requisitos regulamentares para o recobrimento mínimo e para um tempo de vida útil de projecto de 50 anos
- 80% das zonas de ensaios não cumpriam os requisitos regulamentares para o recobrimento mínimo e para um tempo de vida útil de projecto de 100 anos
- A profundidade da frente de carbonatação era inferior ao valor médio do recobrimento em todas as zonas de ensaios
- O valor do teor de cloretos à profundidade média das armaduras era inferior ao valor crítico em todas as zonas de ensaios
- Os varões mais superficiais, no entanto, já se encontravam envolvidos por betão carbonatado e/ou com teores de cloretos superiores ao teor crítico, justificando assim os sintomas de corrosão observados
- Foi estimada uma classe de resistência à compressão do betão de C70/85, o que corresponde a um betão de excelente qualidade e está em conformidade com a regulamentação
- A análise petrográfica permitiu identificar reacções sulfáticas nas duas carotes analisadas, embora com diferentes concentrações em profundidade



congresso **segurança e conservação de pontes** Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Ponte Cais do Funchal**



- Localizada no Funchal, Madeira
- O estudo incidiu no troço entre os cabeços de amarração 15 e 29
- Estrutura em betão armado

**cascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- Ponte Cais do Funchal



- Comprimento total do troço inspeccionado de cerca de 260 m
- Tabuleiro assente em 3 alinhamentos longitudinais de pilares estaca entre os cabeços de amarração 15 e 26
- Estrutura em caixotão entre os alinhamentos 26 e 29

**cascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- Ponte Cais do Funchal

Principais anomalias identificadas no decorrer da inspeção visual na zona emersa e de maré:

- Corrosão de armaduras, com redução severa de secção dos varões associada a delaminação do betão de recobrimento em grandes extensões, em especial na laje maciça entre os cabeços de amarração 25 e 26, na viga de bordadura exterior e nas carlingas




**cascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- Ponte Cais do Funchal

Principais anomalias identificadas no decorrer da inspeção visual na zona emersa e de maré:

- Corrosão de armaduras, com redução severa de secção dos varões associada a delaminação do betão de recobrimento em grandes extensões, em especial na laje maciça entre os cabeços de amarração 25 e 26, na viga de bordadura exterior e nas carlingas



**cascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- Ponte Cais do Funchal

Principais anomalias identificadas no decorrer da inspeção visual na zona emersa e de maré:

- Lacuna de grandes dimensões num pilar estaca exterior (também identificada na inspeção subaquática)



Lacuna de grandes dimensões

Lacuna de grandes dimensões

**ascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Ponte Cais do Funchal**

**Ensaios realizados:**

- Detecção de armaduras e medição do seu recobrimento
- Determinação da profundidade de carbonatação
- Determinação do teor de cloretos a várias profundidades
- Determinação da resistência à compressão do betão

**Plano de ensaios:**

**ascp**  
congresso segurança e conservação de pontes Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Ponte Cais do Funchal**

**Análise da informação recolhida:**

- Medição do recobrimento das armaduras e profundidade de carbonatação

**Gráfico 1 - Vigas de bordadura**  
Gráfico de frequência do recobrimento (mm) para vigas de bordadura. O eixo X varia de 0 a 100 mm, e o eixo Y varia de 0% a 12%.

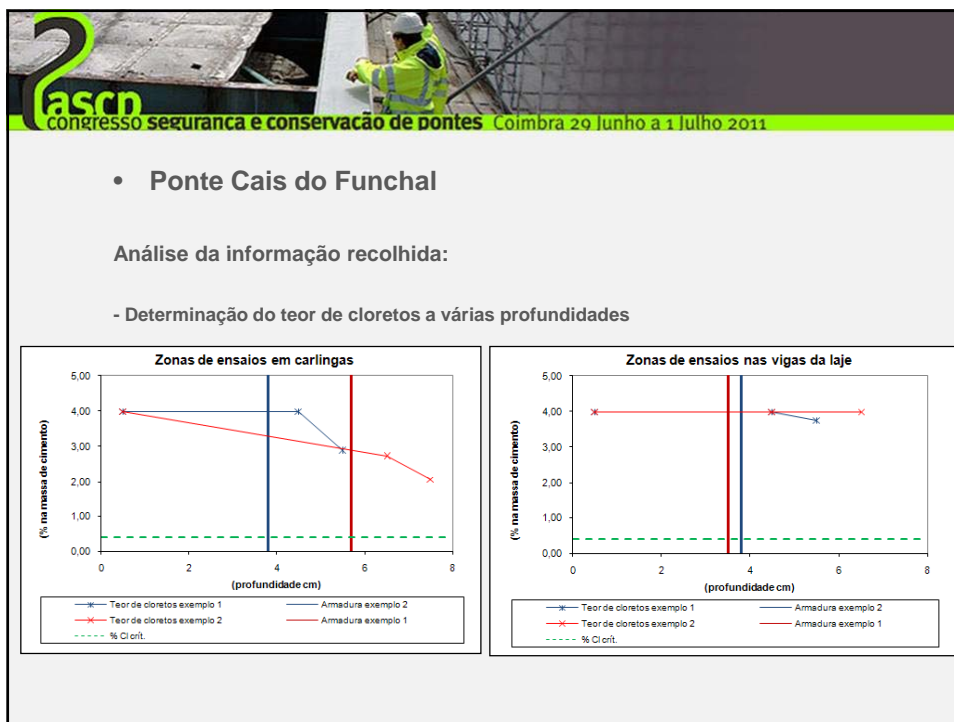
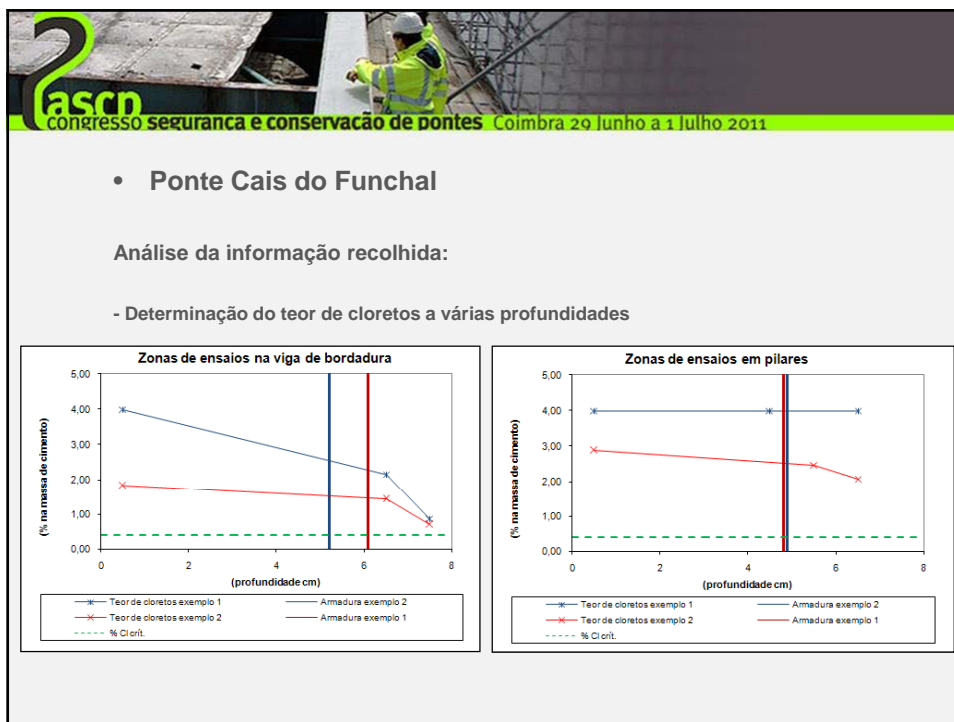
**Gráfico 2 - Vigas de bordadura**  
Gráfico de distribuição acumulada do recobrimento (mm) para vigas de bordadura. O eixo X varia de 0 a 100 mm, e o eixo Y varia de 0% a 100%. Inclui linhas para freq. acumulada, carbonatação mínima e carbonatação máxima.


**Gráfico 3 - Pilares**  
Gráfico de frequência do recobrimento (mm) para pilares. O eixo X varia de 0 a 100 mm, e o eixo Y varia de 0% a 14%.

**Gráfico 4 - Pilares**  
Gráfico de distribuição acumulada do recobrimento (mm) para pilares. O eixo X varia de 0 a 100 mm, e o eixo Y varia de 0% a 100%. Inclui linhas para freq. acumulada, carbonatação mínima e carbonatação máxima.

**Gráfico 5 - Carlingas**  
Gráfico de frequência do recobrimento (mm) para carlingas. O eixo X varia de 0 a 100 mm, e o eixo Y varia de 0% a 24%.

**Gráfico 6 - Carlingas**  
Gráfico de distribuição acumulada do recobrimento (mm) para carlingas. O eixo X varia de 0 a 100 mm, e o eixo Y varia de 0% a 100%. Inclui linhas para freq. acumulada, carbonatação mínima e carbonatação máxima.






congresso **segurança e conservação de pontes** Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Ponte Cais do Funchal**

Principais conclusões extraídas dos ensaios realizados:


- 50% das zonas de ensaios não cumpriam os requisitos regulamentares para o recobrimento mínimo e para um tempo de vida útil de projecto de 50 anos
- 83% das zonas de ensaios não cumpriam os requisitos regulamentares para o recobrimento mínimo e para um tempo de vida útil de projecto de 100 anos
- A profundidade da frente de carbonatação era inferior ao valor dos recobrimentos em todas as zonas de ensaios
- O valor do teor de cloretos à profundidade média das armaduras era, em geral, bastante superior ao valor crítico em todas as zonas de ensaios
- Foi estimada uma classe de resistência à compressão do betão de C40/50, o que corresponde a um betão de boa qualidade e está em conformidade com a regulamentação



congresso **segurança e conservação de pontes** Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Conclusões**

- O principal factor de degradação do betão armado de pontes (e de outros tipos de estruturas) situadas em ambiente marítimo é a contaminação por cloretos da água do mar
- É fundamental seguir as recomendações regulamentares, não só no projecto de obras novas como também em intervenções de reabilitação, quer no que diz respeito aos recobrimentos mínimos, quer no que diz respeito à composição do betão
- Nas estruturas que apresentam este tipo de patologias, as intervenções de reabilitação devem ter como objectivos a reparação dos sintomas de corrosão e o aumento da protecção da estrutura face ao ambiente agressivo envolvente
- Em casos de degradação muito severa, poderá ser mais vantajoso optar-se por um encamisamento do betão armado dos elementos estruturais ou mesmo pela substituição parcial ou integral da estrutura



congresso **segurança e conservação de pontes** Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011

- **Bibliografia**
  - ASTM C876-91. 1991. Test Method for Half-cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
  - Eurocódigo 2. 2007. Projecto de estruturas de betão - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios
  - NP 1382. 1976. Inertes para argamassas e betões – Determinação do teor de álcalis.solúveis. Processo por espectrofotometria de chama”, 1976
  - NP EN 12504-1. 2003. Ensaio do betão nas estruturas. Parte 1: Carotes. Ensaio à compressão
  - NP EN 13791. 2008. Avaliação da resistência à compressão do betão nas estruturas e em produtos pré-fabricados
  - NP ENV 206-1. 2007. Betão – Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade



congresso **segurança e conservação de pontes** Coimbra 29 Junho a 1 Julho 2011




**OBRIGADO PELA VOSSA ATENÇÃO!**

[www.oz-diagnostico.pt](http://www.oz-diagnostico.pt)



Diagnóstico,  
Levantamento  
e Controlo de Qualidade  
em Estruturas  
e Fundações, Lda



