





*Fig. 1 – Aspecto geral das patologias do cais da Princesa*



*Fig. 2 – Detalhe do avançado estado de corrosão das armaduras*

O projecto de reabilitação desenvolvido consistiu nas seguintes tarefas:

- Reabilitação da superfície de betão, correcção das armaduras e da delaminação do betão nas lajes e vigas;
- Protecção das superfícies reparadas, através da aplicação de uma tinta de elevada resistência e elasticidade;
- Limpeza e reparação de fissuras e pintura da cobertura

### 3. Descrição dos trabalhos

Os trabalhos iniciaram-se com a vedação da área e a instalação de uma plataforma por baixo da estrutura. Seguiu-se a limpeza e demolição do betão degradado das lajes e vigas, que mais detalhadamente se descreve.

#### 3.1 Reparação das lajes

No decorrer da operação de remoção do betão deteriorado das lajes verificou-se que os varões da armadura superior se encontravam também em mau estado, mostrando sinais de corrosão e fissuras no betão envolvente.

Neste caso, a solução de remoção do betão deteriorado para posterior substituição revelou-se inadequado, devido à reduzida espessura da laje (fig. 3). Decidiu-se pela demolição integral das lajes e execução de lajes pré-fabricadas.

Concluiu-se que esta situação (corrosão da armadura superior da laje) deveu-se às seguintes razões: (i) insuficiente drenagem e pendente no pavimento, agravada pela existência de uma bordadura elevada que aprisionava a água da chuva, que se infiltrava na laje (ii) elevada concentração de cloretos na superfície das lajes, trazidos pelo vento e salpicos ao longo dos anos, o que levou ao grau de corrosão encontrado na armadura superior das lajes.

Esta solução obrigou a uma reformulação do planeamento, de forma a contemplar a demolição das lajes deterioradas e a execução e montagem das novas lajes. Estas actividades foram executadas após a reabilitação das vigas.



Fig. 3 – Detalhe do avançado estado de corrosão encontrado nas armaduras das vigas (Esq.) e demolição integral das lajes (dir.).

#### 3.2 Reabilitação das vigas

A reabilitação das vigas foi efectuada por troços, para evitar sobrecargas excessivas na estrutura durante a betonagem.

Os trabalhos iniciaram-se com a remoção do betão deteriorado, usando martelos de baixa energia para evitar a fissuração da viga. Procedeu-se à remoção do betão delaminado de forma a expor os varões da armadura em cerca de 1cm.

Os varões com pouca corrosão, isto é com menos de 50% de perda de secção foram limpos com jacto de areia húmida. Os que apresentavam perda de secção superior a 50% foram removidos e substituídos por varões novos de secção equivalente, garantindo as necessárias sobreposições. A fixação dos novos varões à estrutura existente foi efectuada com resina epoxi (fig. 4)



Fig. 4 – Viga preparada para ser betonada (Esq.) e detalhe dos varões de aço após a limpeza e substituição (dir.)

### 3.3 Reabilitação da cobertura

A reparação da cobertura foi efectuada em simultâneo com a reabilitação das vigas, e estava em melhores condições que a restante estrutura, apenas necessitando de reparação de fissuras, limpeza e pintura (Fig. 5).



Fig. 5 – Reparação de fissuras com fibra de vidro (esq) e pintura do tecto (dir.)

### 3.4 Reparação de fissuras

Foram detectadas fissuras de origem estrutural, que revelaram a necessidade de devolver à estrutura o seu monolitismo. Para tal, recorreu-se à injeção de resina epoxi (fig. 6).

Essas fissuras foram motivadas pela corrosão do aço e agravadas pelo embate das embarcações durante as manobras de acostagem..



Fig. 6 – Injecção de resina epoxi nas fissuras.

### 3.5 Pintura de protecção da estrutura

A reparação do betão foi seguida da pintura da estrutura, usando dois tipos de tinta, uma para as áreas imersas, como os pilares e restante estrutura em contacto com a água salgada, e outra para as áreas sem contacto directo com a água, como as vigas, lajes e cobertura. (fig. 7).



Fig. 7 – Pintura dos pilares (esq.) e aspecto da cobertura após a pintura (dir)



## **4. Materiais aplicados**

Neste Capitulo são descritos os materiais aplicados em cada uma das fases.

### **4.1 Reabilitação do betão**

Os materiais usados na reabilitação do betão foram os seguintes:

- Betão desenvolvido para alto desempenho, contendo micro sílica, e de classe de permeabilidade aos cloretos baixa a muito baixa;
- Argamassa de reparação, BEL ARG 109P, classe R4;
- Argamassa autonivelante Sika Grout;
- Fibra de vidro;
- Resina epoxi, Sikadur 32N.

### **4.2 Reparação de fissuras**

Os materiais utilizados foram:

- Resina para injeção Sikadur 52, e resina para reparação superficial Sikadur 31.

### **4.3 Pintura**

A pintura foi efectuada com as seguintes camadas:

- Uma camada de 300-350 microns Interzone 954 nas áreas de contacto directo com a água salgada. Esta camada é de dois componentes, tem baixa VOC, e foi desenvolvida para conferir uma protecção a longo termo, com uma simples aplicação. Continua a cura mesmo imersa em água e tem uma excelente resistência a delaminação.
- Hempacryl solfix 26P02 para a pintura das restantes áreas, seguida de duas camadas de 100 microns Hempatex AE 4637K, ambas acrílicas e desenvolvidas para a protecção estrutural do betão.

## **5. Ensaios**

De forma a avaliar a qualidade dos trabalhos de reabilitação desenvolvidos, foram efectuados vários ensaios que a seguir se descrevem:

### **5.1 Características do betão**

Todos os componentes do betão (água, agregados, cimento, cinzas, sílica, super plastificante) foram ensaiados e as suas qualidades certificadas, de forma a produzir um betão de alta performance, com boa resistência química e baixa classe de permeabilidade aos cloretos.

Antes da betonagem foram realizados os ensaios de consistência (foi utilizado um betão da classe F6, NP EN 206-1) e foram preparados cubos para o ensaio de compressão (fig. 8). Nesses ensaios obteve-se uma tensão de 55MPa, quando a tensão de projecto era de 45MPa.



Fig. 8 – Verificação da consistência do betão

## 5.2 Ensaios de penetração de cloretos

Esta é uma das principais características para avaliar a qualidade do betão, quando exposto ao ambiente marítimo. De forma a evitar a frequente fissuração do betão durante o processo de cura, a estrutura foi coberta com geotextil e mantida húmida. Uma das amostras foi curada junto da estrutura sujeita às mesmas condições, para se poder comparar os resultados com as outras amostras curadas em câmara saturada, em laboratório (Fig. 9)

Os testes de penetração de cloretos (ASTM C1202) mostraram que o betão aplicado apresenta uma classe de baixa a muito baixa permeabilidade aos cloretos (1300 to 850 Coulombs). Foi igualmente verificado que a amostra curada junto da estrutura apresentou resultados muito próximos das curadas em laboratório, demonstrando que foram obtidas boas condições para a cura *in-situ*.



Fig. 9 – Amostras para ensaios de penetração de cloretos

## 5.3 Ensaio de aderência

O objectivo deste ensaio é de determinar a colagem entre o betão existente e o novo (fig. 10). Normalmente, valores superiores a 1MPa são considerados aceitáveis, se a ruptura ocorrer no betão antigo.

Considera-se que os resultados obtidos foram satisfatórios, devido às características do betão antigo, demonstrando que foi obtida uma boa aderência entre o betão antigo e novo.



*Fig.10 – Equipamento utilizado para os ensaios de aderência*

Foram efectuados cinco ensaios, em diferentes áreas da estrutura, Os resultados são apresentados no quadro 1:

EST	VIGA	LOCALIZAÇÃO	BETÃO	ENSAIO		
				DATA	DIAS CURA	Mpa
1	B	JUSANTE	12-06-2007	06-07-2007	24	1,90
2	C	MONTANTE	14-06-2007	09-07-2007	25	0,97
3	C	MONTANTE	22-06-2007	09-07-2007	17	4,39
4	D	CENTRAL	25-06-2007	09-07-2007	14	1,57
5	C	MONTANTE	22-06-2007	09-07-2007	17	1,71

*Quadro 1 – Resultado dos ensaios de aderência.*

No ensaio #1 obteve-se uma tensão de ruptura de 1,90MPa, que ocorreu no betão antigo. No ensaio #2 a ruptura deu-se igualmente no betão antigo, com um resultado de 0,97MPa. Esta baixa tensão deve-se à existência de um agregado de grandes dimensões na área de ruptura. No ensaio #3 a ruptura deu-se no betão novo, com uma tensão de 4,39MPa.

Este último valor indica que a ruptura só poderia ter ocorrido no betão novo, dado as fracas características do betão antigo. Como tal, este ensaio não é conclusivo quanto à aderência entre os dois betões, mas demonstra a boa resistência do betão novo. O motivo da ruptura se ter dado no betão novo é explicado pela elevada espessura do betão novo e à pouca profundidade da carote.

No ensaio #4 o resultado foi de 1,57MPa, e ocorreu no betão antigo (Fig.11). O resultado do ensaio #5 foi de 1,71MPa, e ocorreu igualmente no betão antigo.





Fig. 11– Ensaio #4 - Valor obtido e amostra(esq.) e respectiva carote (dir)

#### 5.4 Medição do recobrimento

O recobrimento da armadura é, para além das características do betão e da agressividade do meio, um dos principais factores que afecta a durabilidade da estrutura.

A norma LNEC E-464 recomenda, para períodos de vida útil da estrutura de 50 e 100 anos, e para a situação mais desfavorável, um recobrimento de 5,5cm e 6,5cm respectivamente.

Neste caso, o recobrimento preconizado foi de 6,5cm. Para se verificar esse valor, foram efectuadas várias leituras, com um equipamento de indução magnética (fig. 12).



Fig. 12 – Equipamento de indução magnética

Os valores obtidos revelam um recobrimento médio de 9,2cm, com um máximo de 9,9cm e um mínimo de 4,9cm. Apesar do valor mínimo ser 4,9cm, registado numa única leitura, em geral o recobrimento verificado está muito acima dos valores mínimos recomendados na norma LNEC E-464.

## 5.5 Ensaios de espessura e adesividade da pintura

### 5.5.1 Medição da espessura da camada de pintura

Estes ensaios efectuaram-se com recurso a discos metálicos que foram aplicados na estrutura previamente à pintura, pelo que receberam a mesma espessura que a restante superfície. As medições foram efectuadas de acordo com a ISO 2808, como equipamento Ecometer 456. A espessura média obtida foi de 220 microns, com um mínimo de 140 microns e um máximo de 430 microns. Dado que a espessura recomendada é de 250 microns, consideram-se estes valores satisfatórios.

### 5.5.2 Ensaios de aderência da pintura

Este ensaio foi efectuado 7 dias após aplicação da tinta, período necessário para que a tinta desenvolver as características mecânicas. O ensaio consiste na colagem, com resina epoxi, sobre a camada de tinta de um pequeno cilindro de alumínio, deixando a resina curar durante 3 dias.

Foram efectuados cinco ensaios, em que uma força de tracção é aplicada no cilindro até que este seja descolado, e é feita a medição com o equipamento Ecometer 106.

Em todos os ensaios a ruptura ocorreu no betão, que vem agarrado à camada de tinta, e obteve-se uma tensão de 2 a 3Mpa, demonstrando que a boa adesividade entre a camada de tinta e o betão, à excepção de um ensaio em que a ruptura se deu na resina e não foi, portanto, conclusivo.

## 6. Segurança

De acordo com a legislação em vigor, foi elaborado, aprovado e implementado o Plano de Segurança e Saúde. Realizaram-se reuniões semanais sobre este tema, entre os responsáveis do Empreiteiro e do Dono de Obra de forma a assegurar que as medidas de prevenção e protecção eram efectivamente aplicadas. Não ocorreram acidentes durante a execução dos trabalhos.

## 7. Ambiente

Durante estes trabalhos foi dada especial atenção às questões ambientais. A estrutura foi isolada de forma a prevenir a queda de materiais e produtos para o rio Tejo, e também para minimizar o impacto visual dos trabalhos na zona envolvente. Todos os produtos resultantes dos trabalhos foram conduzidos para um vazadouro certificado.



Fig. 13 – Aspecto da estrutura antes e após a reparação



## **8. Conclusões**

Após uma análise breve do tipo de degradação desta estrutura, facilmente se concluiu que a corrosão é devida à presença de cloretos. No entanto, o motivo pelo qual a armadura superior das lajes apresentava um grau elevado de corrosão já não se afigurava tão evidente. Após uma análise mais pormenorizada, verificou-se que o facto que contribuiu para essa degradação foi a pouca inclinação do pavimento e a existência de uma bordadura na extremidade da plataforma que impedia a correcta drenagem da água pluvial. Dessa forma a água ficava acumulada na plataforma, dissolvendo os cloretos que aí se encontravam, e infiltrando-se depois no betão, situação que ao longo do tempo permitiu a corrosão acentuada que se verificou.

Assim, o avançado estado de degradação desta estrutura não é apenas devido à evidente falta de manutenção, deve-se também à fraca qualidade do betão utilizado. Durante a remoção do betão degradado verificou-se a presença de agregados de grandes dimensões e a alta porosidade do mesmo.

Como comentário final, espera-se que esta exposição possa ter elucidado para a importância de um bom projecto, da aplicação dos materiais adequados, da realização de ensaios que comprovem a qualidade pretendida, e não menos importante da existência de um plano de manutenção, que em alguns casos passa simplesmente por manter a pintura a proporcionar uma protecção efectiva da estrutura, isolando-a dos efeitos dos agentes agressivos.

Os autores agradecem a todos aqueles que directa ou indirectamente estiveram envolvidos na reabilitação do Cais da Princesa.