Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

CASOS DE FISSURAÇÃO EM BLOCOS DE CONCRETO ARMADO SOBRE ESTACAS

E. THOMAZ
Professor Emérito
Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro; Brasil
ecsthomaz@terra.com.br

L. CARNEIRO
Professor D.Sc.
Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro; Brasil
carneiro@ime.eb.br

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo apresentar alguns casos de manifestações patológicas relacionadas à fissuração do concreto em blocos de concreto armado sobre estacas. São comentados 5 casos ocorridos em viadutos e pontes rodoviárias ou ferroviárias de concreto armado ou protendido, onde se relatam os problemas encontrados, as causas da fissuração e as possíveis soluções para estes casos. Há causas de fissuração do concreto relacionadas à corrosão das armaduras internas pela entrada de agentes agressivos no concreto, e à insuficiência de armadura pela falha em projeto, detalhamento e dimensionamento das armaduras principais dos blocos. Verificou-se neste trabalho que a maioria das causas de fissuração se deve a falhas no projeto, detalhamento e dimensionamento dos blocos que compõem viadutos e pontes de concreto armado ou protendido rodoviários ou ferroviários.
Palavras-chave: fissuras, blocos de concreto armado, estacas.

ABSTRACT

This study aimed to present some cases of pathological manifestations related to concrete cracking in reinforced concrete pile caps. Five cases from road and rail viaducts and bridges of reinforced or prestressed concrete are reported and its problems encountered, causes of cracking and possible solutions are discussed. There are causes of concrete cracking related to internal reinforcement corrosion by the entry of aggressive agents into the concrete, and to lack of reinforcement by poor design and detailing or insufficient main reinforcement inside of the blocks. It was found in this study that most of the causes of cracking is due to failures in the design, detailing and design of the blocks that make up road or rail viaducts and bridges of reinforced or prestressed concrete.
Keywords: cracks, reinforced concrete blocks, piles.

1. INTRODUÇÃO

A segurança de viadutos e pontes de concreto depende também da integridade dos blocos sobre estacas, que são estruturas volumétricas e têm o objetivo de transmitir as solicitações de carga provenientes de pilar(es) para as estacas.

Tem sido encontrados casos reais de fissuração do concreto relacionados à corrosão das armaduras internas pela entrada de agentes agressivos no concreto, e à insuficiência de armadura pela falha em projeto, detalhamento e dimensionamento das armaduras principais dos blocos e estacas. Com a análise desses casos, pode-se identificar alguns dos cuidados que devem ser tomados para bem projetar, detalhar, e executar estruturas de concreto.

Alguns casos reais de manifestações patológicas relacionadas à fissuração do concreto em estacas e blocos de concreto armado sobre estacas de viadutos e pontes de concreto rodoviárias ou ferroviárias de concreto armado ou protendido, vivenciados pelo primeiro autor ao longo de sua vida profissional, são apresentados neste trabalho. São comentados cinco casos, onde se relatam os problemas encontrados, as causas da fissuração e as possíveis soluções para estes casos. Não foram colocadas as fotos destes casos reais para se evitar problemas associados à justiça, mas sim expostos desenhos.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

2. BLOCOS SOBRE ESTACAS

2.1 Armadura insuficiente

A Figura 1 apresenta um bloco trapezoidal de 3000 mm x 10000 mm x 1500 mm de dimensões sobre múltiplas estacas (dezesseis delas inclinadas) de um viaduto rodoviário com armadura de flexão insuficiente, distribuída ao longo da sua menor dimensão.

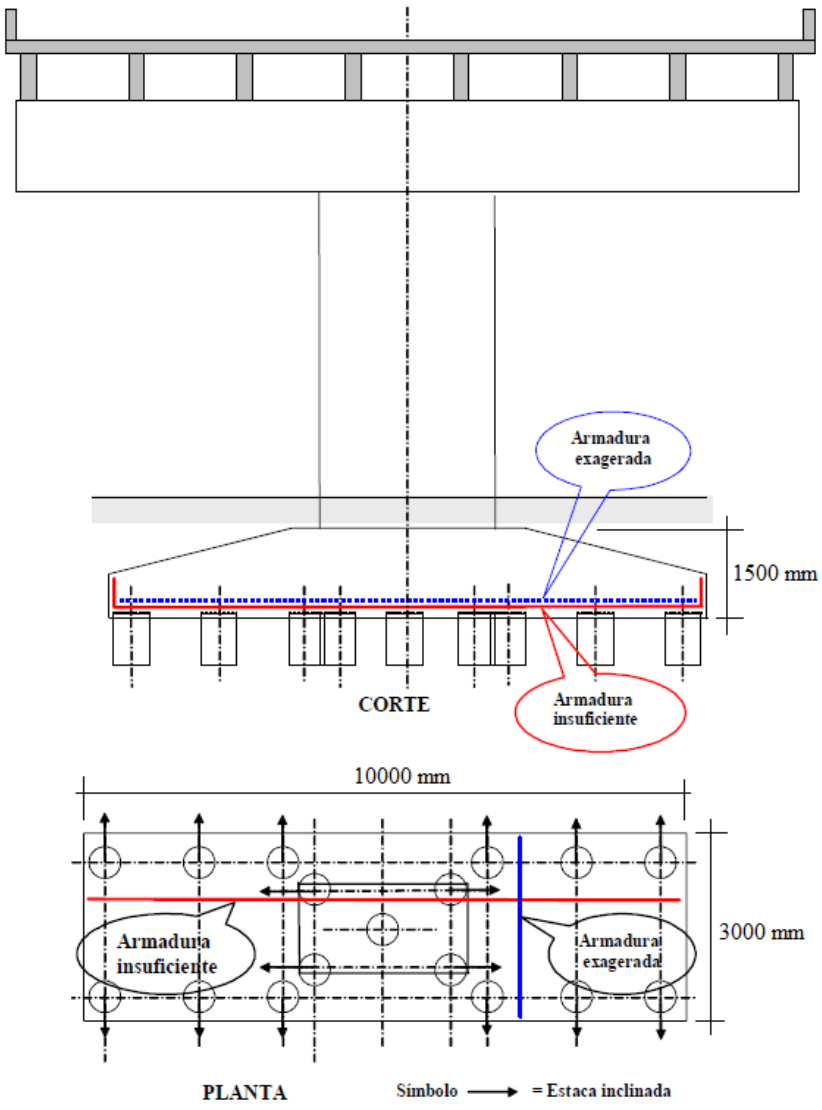


Figura 1: Bloco sobre estacas com armadura de flexão insuficiente

Houve um incorreto cálculo estrutural, o que o acarretou uma armadura principal do bloco insuficiente na direção transversal ao eixo longitudinal do viaduto, enquanto na outra direção, exagerada. Somente após a construção de dezessete blocos, a falha foi detectada por um engenheiro de estruturas. Os blocos não apresentavam segurança à ruptura segundo a norma sobre projeto de estruturas de concreto vigente à época.

Quando a falha foi detectada, a carga total nas fundações era muito pequena, já que apenas os pilares estavam executados, o que conduziu ao não aparecimento de fissura alguma.

A solução adotada para os dezessete blocos foi a execução de reforço estrutural por meio da técnica de protensão externa. A protensão foi feita com o uso os cabos externos dispostos lateralmente ao bloco, conforme ilustra a Figura 2.

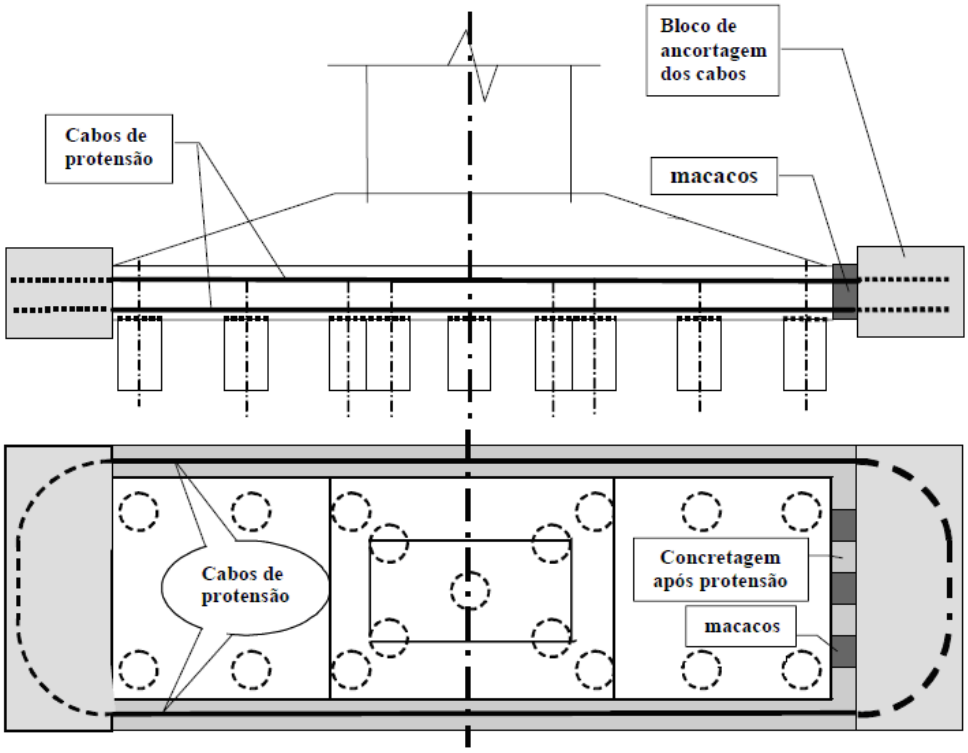


Figura 2: Esquema de reforço dos blocos com o uso de protensão externa

A execução do reforço dos blocos iniciou com a montagem dos cabos externos nos dois lados do bloco, ancorados em dois blocos de ancoragem, após o que se realizou a concretagem e cura dos dois blocos de ancoragem. Em seguida, foi feita a colocação dos macacos de protensão, nos nichos de protensão do bloco móvel. Quando houve o acionamento dos macacos para protender os cabos do reforço, os blocos móveis de concreto foram empurrados e, então, o bloco sobre estacas foi comprimido. Depois, concretaram-se os espaços livres entre o bloco sobre estacas e os blocos de ancoragem dos cabos e, finalmente, executou-se o alívio da força nos macacos de protensão.

2.2 Detalhamento da armadura deficiente

Um bloco sobre estacas com fissuras em forma de arco nas suas faces laterais e entre as estacas pode ser visualizado na Figura 3.

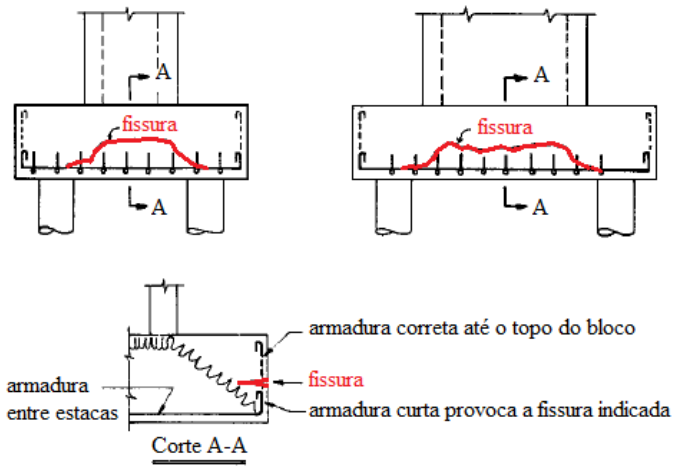


Figura 3: Bloco sobre estacas com detalhamento da armadura de flexão deficiente

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Como a armadura horizontal inferior apresentava comprimento vertical pequeno ao longo das faces laterais do bloco, as forças de compressão oriundas da biela de concreto não tinham apoio na armadura, o que gerou força componente vertical de tração. Como a resistência do concreto à tração era muito baixa, ocorreu a fissuração do concreto, como mostrada na Figura 3.

Para se ter evitada tal fissuração, a armadura horizontal inferior deveria ter perna lateral com comprimento igual ao da altura total do bloco. Recomenda-se usar uma armadura vertical de suspensão na face dos blocos de tal forma que resista a uma força média igual à relação entre a carga vertical total do bloco e o produto 1,5.n, sendo n o número de estacas sob o bloco.

A Figura 4 ilustra um bloco sobre quatro estacas de uma ponte com fissuras horizontais nas quatro faces laterais, devido a um detalhamento da armadura de flexão deficiente.

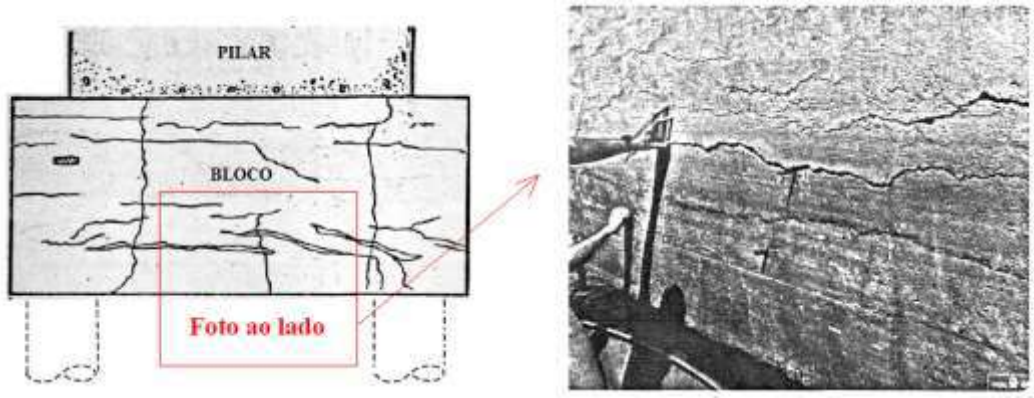


Figura 4: Bloco sobre estacas com fissuras devido a detalhamento da armadura de flexão deficiente

As barras da armadura horizontal inferior do bloco não tinham sido dobradas até o topo do bloco, o que levou a uma fissuração horizontal logo acima das pontas das barras dobradas. O comprimento da dobra destas barras era de apenas 500 mm ao longo da face lateral do bloco, que possuía 2200 mm de altura total, de acordo com o que se vê na Figura 5. Detalhar as barras da armadura inferior até o topo do bloco evita o aparecimento de fissuras horizontais ao longo das suas faces laterais.

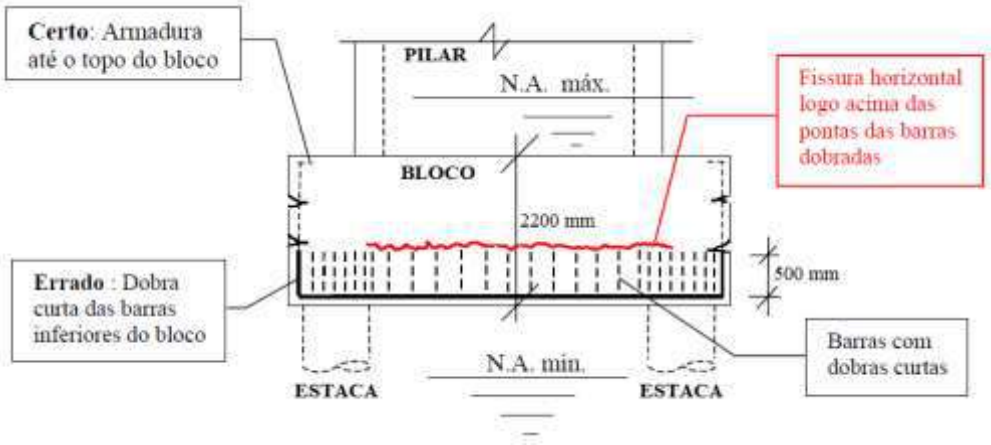


Figura 5: Bloco sobre estacas fissurado com detalhamento da armadura de flexão

2.3 Cobrimento de concreto pequeno

Na Figura 6 pode-se observar um bloco sobre estacas de concreto armado, executado com formas premoldadas de concreto armado, em região marinha. Nele há regiões nas suas paredes premoldadas, onde o cobrimento de concreto se desprendeu totalmente deixando à mostra toda a malha da armadura.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

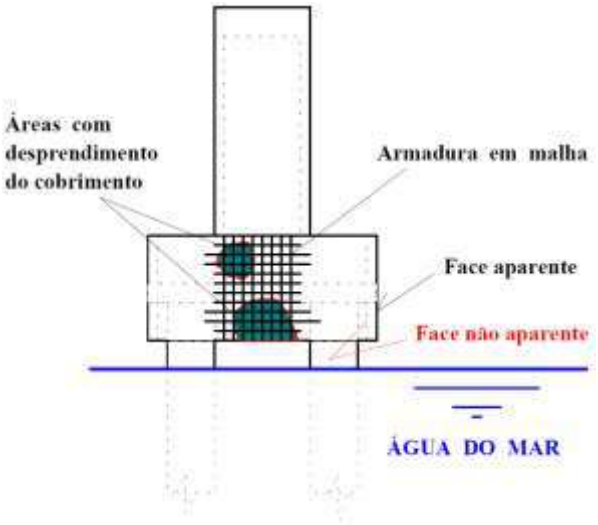


Figura 6: Bloco sobre estacas com desprendimento do cobrimento do concreto

Na face visível da saia premoldada do bloco, o cobrimento do concreto tinha 30 mm de espessura, ao passo que na face invisível da saia premoldada, apenas 10 mm de espessura.

Por conta das barras de aço da armadura ficarem próximas à superfície do concreto (cobrimento do concreto pequeno), a ação dos cloretos e da carbonatação é então mais rápida, acelerando o processo de corrosão das barras. Ao se oxidarem, as barras aumentam em volume, conduzindo ao desprendimento do cobrimento do concreto, o que leva à exposição ao ambiente e à aceleração do processo de corrosão das barras de aço.

A solução adotada para o bloco foi a retirada de toda a armadura corroída e o refazimento da superfície do concreto com argamassa à base de epóxi, pois a armadura corroída não era estrutural e foi usada apenas na fase construtiva. A saia inferior da forma premoldada poderia inclusive ser totalmente demolida por apresentar elevado grau de corrosão nas duas faces da parede em face do pequeno cobrimento (10 mm na face interna e 30 mm na face externa).

Fissuras verticais, uma ao lado da outra e pouco espaçadas horizontalmente, na ligação da laje de fundo da forma com a parede lateral da forma de concreto armado em blocos sobre estacas de concreto armado podem ser vistas na Figura 7.

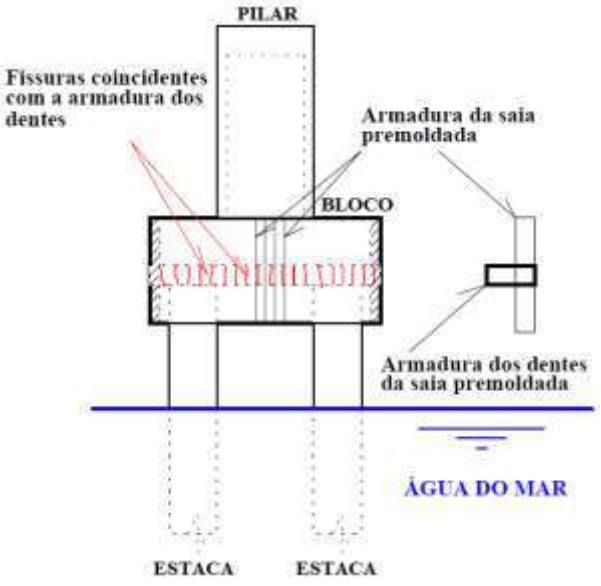


Figura 7: Bloco sobre estacas com desprendimento do cobrimento do concreto

A fissuração do concreto ocorreu junto às dobras das barras de aço, que compuseram a armadura dos dentes das saias premoldadas dos blocos, pois houve a corrosão do aço nas dobras destas barras. A corrosão foi acelerada pelo fato de que, ao serem dobradas, as barras de aço perdem a carepa de fabricação, que é um resíduo sólido gerado na fabricação do aço, produzida na oxidação da superfície do aço quando este se encontra em elevada temperatura e que lhes dá maior proteção contra a corrosão.

3. ESTACAS

3.1 Proteção dos tubos de aço deficiente

Estacas de concreto armado, executadas com concreto submerso e com tubos de aço de 10 mm de espessura dentro da água do mar, estão esboçadas na Figura 8.

Nessas estacas, houve a ocorrência da formação de álvéolos de corrosão, com forma de moedas e diâmetro variando entre 20 mm e 60 mm, nos tubos de aço. Alguns desses alvéolos perfuraram toda a chapa de aço, deixando à vista a superfície de concreto das estacas.

O tipo de corrosão dominante é o de alvéolos. Não foram observados *pits* (furos profundos) de corrosão. A agressão do mar à estrutura se deu em diversos locais, conforme resumido na Figura 8.

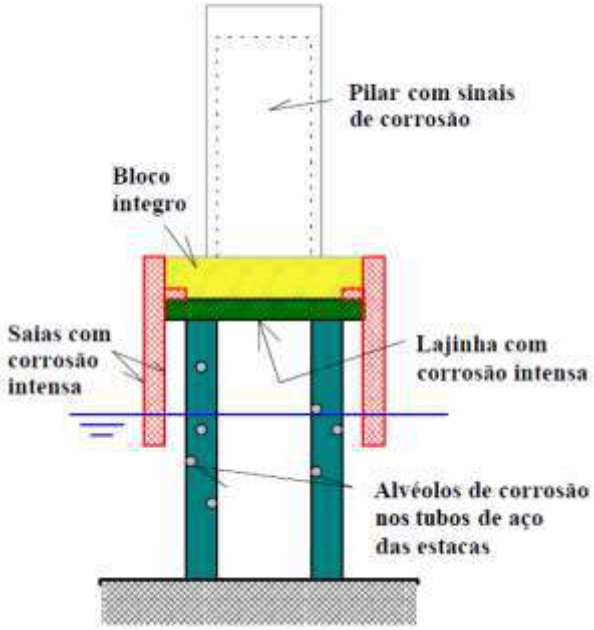


Figura 8: Estacas de concreto armado encamisadas com tubos de aço com alvéolos de corrosão

A corrosão é um fenômeno frequente em obras marítimas, devido à presença dos cloretos e sulfatos na água do mar. A ação destas substâncias e do oxigênio do ar ou do oxigênio contido na água do mar resulta na oxidação da chapa de aço das estacas.

É de observar que essas chapas, na obra aqui mostrada, não são estruturais, tendo sido projetadas apenas para proteção do concreto das estacas. Essas estacas foram executadas há cerca de 25 anos e apresentam número elevado de alvéolos devido à corrosão.

Uma das alternativas de reparo é a colocação de uma manta tipo *tapecoat* envolvendo as estacas de modo que a ação das substâncias químicas agressivas seja bastante retardada. Este reparo é feito após a recuperação das camisas de aço nos pontos onde haja alvéolos de corrosão.

Outros reparos são necessários nas saias premoldadas, que serviram de forma lateral para o bloco, e também na laje de fundo, que serviu de forma de fundo para o bloco de estacas, com a retirada de todas as armaduras corroídas e a

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

recomposição do concreto com concreto projetado. As saias devem ser cortadas e substituídas por saias premoldadas com cobrimento grande (na ordem de 50 mm).

O aspecto final do reparo das estacas de concreto armado encamisadas com tubos de aço pode ser visto na Figura 9.

Ressalta-se que a profundidade, onde foi observado o maior número de alvéolos de corrosão perfurando os tubos de aço, era de 4000 mm a 5000 mm abaixo do nível d´água do mar. No momento da inspeção, não existiam alvéolos de corrosão perfurando os tubos de aço abaixo da profundidade de 6800 mm. Por este motivo, as estacas só precisariam ser protegidas até cerca de 7000 mm abaixo do nível d´água.

Não foi observada correlação entre a profundidade e o diâmetro dos alvéolos de corrosão que perfuraram o tubo de aço.

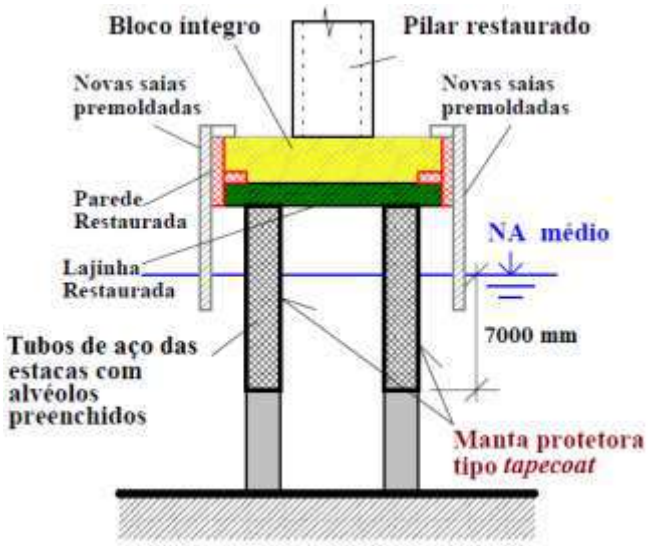


Figura 9: Bloco sobre estacas com desprendimento do cobrimento do concreto

Nessa obra, a corrosão foi mais intensa nos pilares que ficavam mais próximos ao canal navegável, onde a movimentação das águas era maior. Junto às margens da baia, a corrosão nas estruturas foi menos intensa. Isto faz supor que o teor de cloretos, sulfatos e oxigênio na água seja menor em regiões próximas às margens.

Na Figura 10, ilustram-se estacas premoldadas de concreto com emendas estruturais de chapas soldadas.

Alvéolos devido à corrosão das chapas de aço, usadas para emenda das estacas, podem surgir. Alguns destes alvéolos podem ser profundos o suficiente para perfurar as chapas de aço, o que leva à redução da área resistente destas chapas e, em consequência, da segurança da obra.

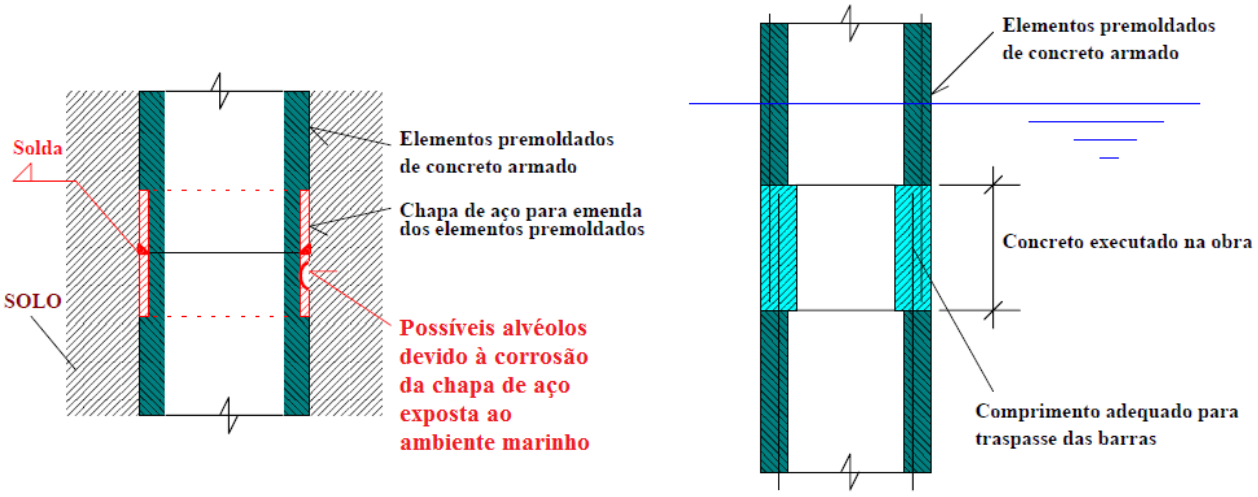
Uma possível solução é realizar a emenda dos elementos premoldados, executando-se na obra um trecho da estaca em concreto armado, obedecendo ao comprimento de traspasse das armaduras.

3.2 Concreto de má qualidade

A Figura 11 apresenta um esquema sobre o início e o fim da execução de uma concretagem submersa de estacas. No topo das estacas, o concreto apresentou-se poroso e misturado com lama, o que acarretou uma baixa resistência à compressão.

Duas são as causas para a ocorrência de um concreto de má qualidade no topo das estacas:
1) mistura do concreto submerso com a lama bentonítica sobrejacente e com resíduos de solo, formando uma borra, sem resistência.
2) subida de parte da água do concreto para o topo da estaca, isto é, a exsudação (*bleeding*), que forma um concreto com elevada relação água/cimento e, conseqüentemente, com baixa resistência.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



(a) Emenda usual em obra não exposta à água do mar (b) Emenda adequada em obras no mar

Figura 10: Detalhe de emendas estruturais de chapas soldadas em estacas premoldadas de concreto

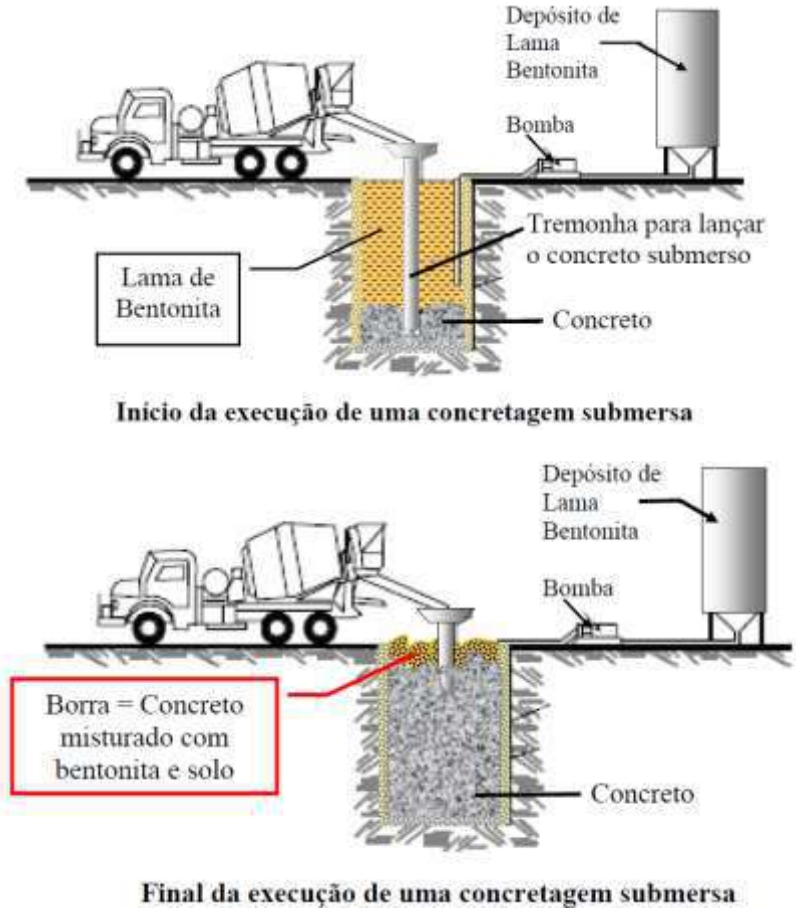


Figura 11: Esquema esquema sobre o início e o fim da execução de uma concretagem submersa de estacas

A lama bentonítica é formada por bentonita, que é uma argila composta pelo mineral montmorilonita, cuja microestrutura é constituída por "folhas" de tetraedros de sílica (54%) e de octaedros de alumina (16% a 20%) superpostas. Também contém óxidos de ferro (10%), óxido de magnésio (2%), óxido de potássio (1%) e óxido de sódio (0,5%).

A bentonita extraída no Estado da Paraíba, como informação, tem pouco sódio. Para corrigí-la e transformá-la em sódica, os fabricantes de bentonita ativam-na com carbonato de sódio (Na_2CO_3). A microestrutura em folhas da bentonita sódica tem, quando misturada com água, uma grande capacidade de inchamento, cujo valor atinge até 20% do volume inicial.

O fenômeno da exsudação leva à existência de 3 zonas distintas em concreto: zona superior com muita água e densidade e resistência baixas; zona intermediária com densidade e resistência constantes; e zona inferior com densidade e resistência crescentes com a profundidade.

Essas 3 zonas, previstas por [1], foram constatadas nos ensaios de compressão até a ruptura feitos em corpos de prova retirados do concreto, ao longo de todo o comprimento de estacas, conforme mostra a Figura 12. Ao longo de 116 estacas de uma obra, foram retirados 5477 testemunhos de concreto, 75 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento. Constatou-se que a resistência do concreto, no topo das estacas, era muito menor do que a no fuste das estacas, de acordo com o que é ilustrado na Figura 12, que mostra a variação da resistência do concreto submerso à compressão em função da profundidade.

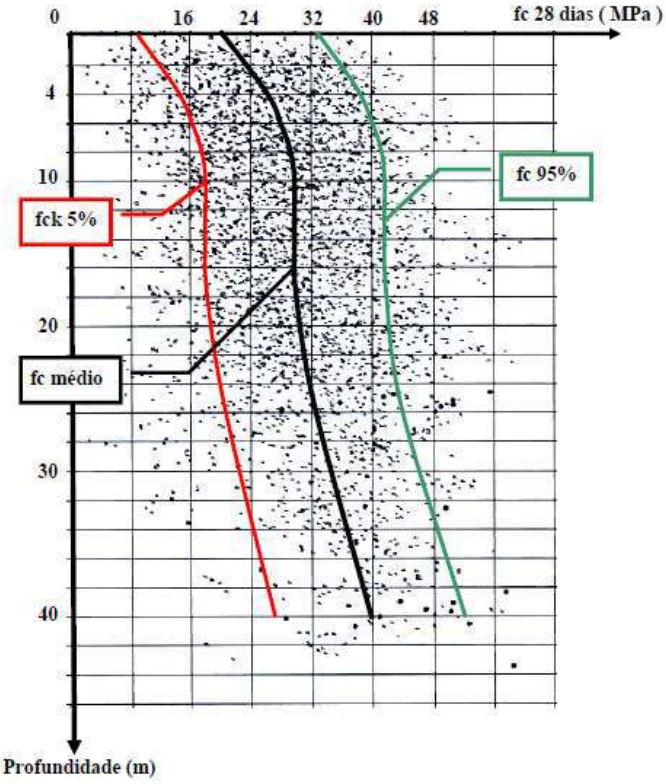


Figura 12: Resistência do concreto submerso à compressão em função da profundidade segundo [2]

Na obra citada, optou-se por arrasar as estacas 4 m abaixo do topo do concreto. No restante do comprimento das estacas, a resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) adotada foi 16,0 MPa. Excluído o concreto do topo das estacas, considerando os testemunhos extraídos e adotando o coeficiente de minoração de resistência do concreto (γ_c) igual a 1,4, a resistência de cálculo do concreto à compressão (f_{cd}) foi 11,4 MPa.

A norma sobre fundações [3] não permite que se adote f_{ck} maior que 20 MPa para o cálculo estrutural de estacas com concreto submerso, ainda que o concreto seja executado com um f_{ck} maior. Também recomenda que se reduza o valor de f_{ck} do concreto com o uso de γ_c igual a 1,9, para levar em conta o tipo de concretagem submersa, ou seja, f_{cd} = 20 MPa / 1,9 = 10,5 MPa, que é um valor próximo do medido (11,4 MPa).

O desvio padrão (s_d) medido, ao longo das estacas, foi 7 MPa. Assim, a resistência de dosagem (f_{cj}) de um concreto submerso deve ser portanto maior que $f_{ck} + 1{,}65 \times s_d = 20{,}0 + 1{,}65 \times 7{,}0 = 32$ MPa. Logo, recomenda-se utilizar um concreto submerso com f_{cj} maior que 40 MPa e moldar os corpos de prova com o concreto colhido no topo da estaca no momento imediatamente posterior ao término da concretagem da estaca.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Outras soluções indicadas são as seguintes:
1) Em qualquer estaca executada com concreto submerso, deixar o concreto extravasar até que se observe um concreto normal, sem mistura com a bentonita ou com o solo;
2) Cortar o concreto de má qualidade do topo da estaca até a uma profundidade onde se observe um concreto de boa qualidade. Essa avaliação visual pode levar a erros, pois o concreto, com muita água, pode ter uma aparência boa, embora a resistência seja baixa;
3) Extrair, com broca de diamante, testemunhos do concreto dos metros superiores da estaca para que se determine a resistência real f_{ck} do concreto e se verifique a segurança estrutural de acordo com a resistência encontrada.

Recomenda-se para a composição de concretos submersos para estacas:
1) o concreto deve ser plástico e dosado com f_{ck} maior que 28 MPa e f_{cj} em torno de 40 MPa;
2) o teor de cimento deve ser cerca de 400 kg/m^3 e a relação água/cimento menor que 0,60;
3) o agregado graúdo deve ter um formato arredondado, sem forma lamelar, dando-se preferência ao seixo rolado, com dimensão máxima de 19 mm [4] e menor que 1/10 do diâmetro do tubo tremonha;
4) o uso do pó de pedra não é recomendado;
5) as faixas de granulometria para os agregados totais (miúdos e graúdos) devem ter os valores segundo a Tabela 1;
6) a composição do concreto submerso, para 1 m^3, usado em obras, segundo [5], é: cimento = 400 kg ; areia = 720 kg ; brita 1 (19 mm - 9,5 mm) = 980 kg; água = 240 kg ; plastificante e retardador de pega = 1,2 L; *slump* = 180 mm a 220 mm; pode ser também um aditivo anti-segregação.

Tabela 1 – Faixas de granulometria para os agregados totais de concretos submersos para estacas

Peneira (mm)	% passante
0	0
0,15	3 a 4
0,3	5 a 8
0,6	14 a 20
1,2	22 a 32
2,4	32 a 42
4,8	44 a 56
9,5	66 a 76
19	100

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tratou de cinco casos reais de manifestações patológicas relacionadas à fissuração do concreto em estacas e blocos sobre estacas de concreto armado de viadutos e pontes rodoviários ou ferroviários de concreto armado e protendido, vivenciados pelo primeiro autor ao longo de sua vida profissional.

A quantidade insuficiente e o detalhamento deficiente da armadura interna, além do cobrimento de concreto pequeno, foram as principais causas de fissuração no concreto em blocos de concreto armado sobre estacas, enquanto a proteção deficiente dos tubos de aço contra o ataque de substâncias agressivas (cloretos, sulfatos) e o concreto submerso de má qualidade, as principais causas de fissuração no concreto em estacas de concreto.

Verificou-se neste trabalho que a maioria das causas de fissuração se deve a falhas no projeto, detalhamento e dimensionamento de estacas e blocos sobre estacas de concreto armado que compõem viadutos e pontes rodoviários ou ferroviários de concreto armado ou protendido.

5. REFERÊNCIAS

[1] Powers, T. C. - *The Properties of Fresh Concrete*. Publisher: Wiley & Sons, Edition 99, 1968, 664 p.
[2] Jóia, L. A. - "Modelo estatístico para cálculo do fator de segurança global de estaqueamentos", *Dissertação de Mestrado*, Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Brasil, 1981.
[3] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*, Brasil, p. 33, 1996.

[4] ACI - American Concrete Institute, ACI 336.3R. *Suggested Analysis and Design Procedures for Combined Footings and Mats*, Reported by ACI Committee 336, 1993.

[5] Estacas Franki. *Catálogo*. Disponível em < http://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/files/2013/11/Estacas-Franki.pdf>. Acesso em fevereiro de 2016.