

Discussão sobre recomendações adicionais na ABNT NBR 6118:2023 para **projeto de estruturas de concreto em ambiente de severa agressividade (respingos de maré)**

JOSÉ DO PATROCÍNIO FIGUEIRÔA - PROF. - <https://orcid.org/0009-0008-7218-3500> (patrofigueiroa@gmail.com) – UFPE

RESUMO

OPRESENTE ARTIGO É FRUTO DO ENTUSIASMO E ADMIRAÇÃO PELA LEITURA DO LIVRO DO PROFESSOR NORUEGUÊS ODD E. GJØRV, DESCRITO E ANALISADO MAIS ADIANTE, CUJOS CONHECIMENTOS REPRESENTAM UM PASSO MUITO GRANDE PARA O ENFRENTAMENTO DE PROBLEMAS DE ATAQUE POR CORROSÃO SEVERA POR CLORETOS DE PARTES DA ESTRUTURA SUJEITAS A RESPINGOS DE MARÉ. NOS ÚLTIMOS ANOS, NO EXERCÍCIO DA ATIVIDADE DE PROJETO DE ESTRUTURAS DE PONTES, APARECERAM CASOS DE ATAQUE POR CORROSÃO SEVERA EM TRECHOS DE ELEMENTOS DE APOIO, TIPO TUBULÃO OU ESTACA DE GRANDE DIÂMETRO, EM VÁRIAS OBRAS.

ESSES CASOS ACONTECEM, REPETIDAMENTE, QUANDO AS PONTES ESTÃO SITUADAS ATRAVESSANDO UM RIO A POUCOS QUILOMETROS DE DISTÂNCIA DO MAR, DE TAL FORMA QUE OS ELEMENTOS AFETADOS ESTÃO SUJEITOS A RESPINGO DE MARÉ.

ALÉM DA IMPLICAÇÃO DIRETA NA SEGURANÇA DA OBRA, O PROCESSO DE DETERIORAÇÃO ACENTUADA COBRA UMA INTERVENÇÃO DE RECUPERAÇÃO DE CUSTO MUITO ELEVADO. É PRECISO CONSIDERAR QUE É PROVÁVEL QUE APAREÇAM MUITAS PONTES AO LONGO DA COSTA BRASILEIRA, EM SITUAÇÃO SEMELHANTE, CONDENADAS A SOFRER AS MESMAS CONSEQUÊNCIAS. VÊ-SE QUE, EM GERAL, APESAR DE OS PROJETOS TEREM SIDO FEITOS DENTRO DOS PARÂMETROS RECOMENDADOS PELA NOSSA ABNT NBR 6118, CARECEM DE TRATAMENTOS E INFORMAÇÕES ADICIONAIS COM RELAÇÃO À DIFUSIVIDADE DE CLORETOS COMO: A INFLUÊNCIA DO TIPO DE CIMENTO, DO COBRIMENTO E A DA TEMPERATURA DE CURA E DO ENTORNO DA OBRA.

PALAVRAS-CHAVE: CIMENTO COM ADIÇÕES MINERAIS, CONCRETO SUJEITO À RESPINGOS DE MARÉ, ATAQUE POR CORROSÃO SEVERA POR CLORETOS.

1. INTRODUÇÃO

Os ensinamentos apresentados em GjØrv (2015) representam um enorme avanço para o entendimento do papel de cada componente na previsão da durabilidade das obras futuras, em ambiente de severa agressividade.

Fica demonstrado, de forma qualitativa e quantitativa, a importância do tipo de cimento usado na composição do concreto, a importância do cobrimento e a importância da temperatura no ambiente no entorno da obra, com relação à difusividade de cloretos.

Fica evidenciado, também, que um parâmetro importante como a resistência à compressão do concreto que vai ser utilizado na ponte, com parte de sua estrutura sujeita à variação de maré, não é suficiente na previsão de vida útil, porque, nesse caso, a preocupação mais relevante deveria ser a resistência do concreto à penetração de cloretos.

Essa mudança de conceito deverá gerar, em futuro próximo, discussões importantes e necessárias visando promover adequações no texto da ABNT NBR 6118.

Todos esses novos ensinamentos teóricos e práticos foram embasados em extenso programa de pesquisas, conduzido pelo professor Odd E. GjØrv da Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia, em parceria com a Universidade Tecnológica de Nanyang Singapura.

O programa foi implantado no início dos anos 1960, para investigar o desem-

penho de estruturas de concreto no mar do Norte, relacionado com a vida útil dessas obras.

Entre 1962 e 1968, foram pesquisadas 219 estruturas em situação de severa agressividade.

2. RELATOS SOBRE PESQUISAS FEITAS EM LABORATÓRIO

A seguir, vamos apresentar resultados de pesquisas em laboratório, importantíssimos no sentido de mostrar, quantitativamente, as influências do tipo de cimento utilizado, bem como da temperatura de cura, na resistência do concreto à penetração de cloretos.

2.1 Pesquisas sobre a influência do tipo de cimento na resistência à penetração de cloretos

Foram considerados 4 tipos de cimento:

- ▶ **GGBS1** – Similar ao CP II-E-40 (34 % de escória) no Brasil.
- ▶ **GGBS2** – Similar ao CP III-40 (70 % de escória) no Brasil.
- ▶ **HPC** – Similar ao CP V no Brasil – Cimento Portland puro.
- ▶ **PFA** – Similar ao cimento CP II-Z-40 (18 % de cinzas volantes) no Brasil.

O gráfico da Figura 1 mostra a resistência à penetração de cloretos para uma mesma composição do concreto, com relação água/aglomerante 0,45, usando os 4 tipos de cimento.

Observa-se, no gráfico, que os dois

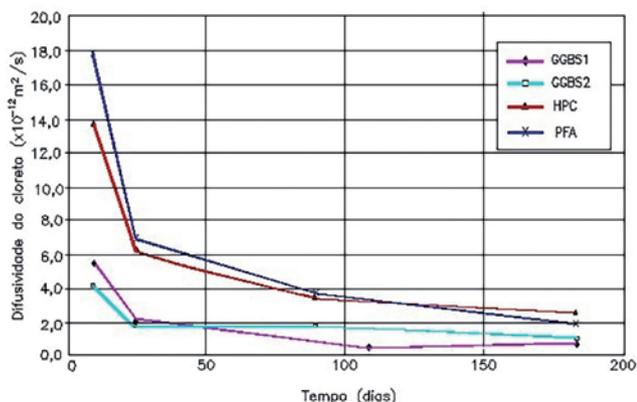


FIGURA 1

EFEITO DO TIPO DE CIMENTO NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO À PENETRAÇÃO DE CLORETOS, COM A RELAÇÃO ÁGUA/AGLOMERANTE DE 0,45

FONTE: GJØRV (2015)

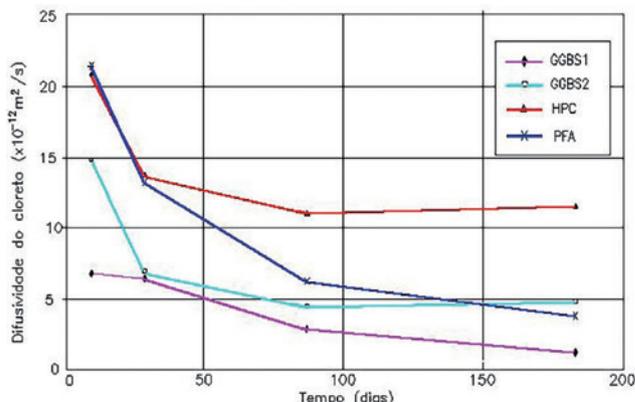


FIGURA 2

EFEITO DO TIPO DE CIMENTO NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO À PENETRAÇÃO DE CLORETOS, COM A RELAÇÃO ÁGUA/AGLOMERANTE DE 0,38

FONTE: GJØRV (2015)

cimentos com escória (GGBS1 e GGBS2) apresentam menor difusividade de cloretos.

Isso acontece porque a escória moída, ao ser hidratada funciona como um novo aglomerante, tornando mais difícil a penetração de cloretos.

A Figura 2 mostra o desempenho dos mesmos cimentos com relação água/aglomerante de 0,38.

Ensaio feitos por Thomas, Bremner, Scott (2011) mostraram que, quando a relação água/aglomerante foi reduzida de 0,50 para 0,40, a difusividade do cloreto usando cimento Portland puro foi reduzida

por um fator de 2 a 3, enquanto pode ser reduzida por um fator até 20 vezes, quando é feita adição de materiais cimentícios (escória, cinzas volantes ou sílica ativa).

Outras experiências feitas por Bijen, (1998) mostraram que, com os mesmos cimentos anteriores e baixando a relação água/aglomerante de 0,45 para 0,35, a difusividade de cloreto pode ser reduzida por um fator de até 50 vezes.

2.2 Pesquisas sobre a influência da temperatura na resistência à penetração de cloretos

cia do concreto à penetração de cloretos.

- ▶ **GGBS** - Similar ao CP III-40 (70 % de escória) no Brasil.
- ▶ **HPC** - Cimento Portland puro Similar ao CP V no Brasil.
- ▶ **OPC** - Cimento Portland puro Similar ao CP I no Brasil.
- ▶ **PFA** - Similar ao cimento CP II-Z-40 (18 % de cinzas volantes) no Brasil.

3. MODELO MATEMÁTICO (ESTATÍSTICO) PARA NOVOS PROJETOS DE DURABILIDADE

Gjørnv (2015) faz referência a um modelo matemático, criado por Collepardi, Marcialis e Turriziani (1970), para estimar o tempo necessário para os cloretos atingirem as armaduras, atravessando o cobrimento, de certa quantidade de concreto, em determinado ambiente.

Mais tarde, concluiu-se que o método não servia para estimar a vida útil das estruturas.

O próximo passo foi observar que os parâmetros de entrada para calcular a taxa de penetração de cloretos através do cobrimento mostravam muita dispersão e variabilidade.

Observando que muitas normas atuais adotam um critério estatístico que estabelece um teto de 10 % de probabilidade de falha no ELS (enfoque de vida útil), também foi adotado um teto superior de 10 % de probabilidade para

A Figura 3 mostra o efeito da temperatura de cura na difusividade de cloretos para 4 tipos de cimento.

Observa-se que, tanto o cimento com escória (GGBS), como o cimento com cinzas volantes (PFA), apresentam menor difusividade de cloretos porque os aditivos (escória ou cinzas volantes), funcionam como um novo aglomerante, aumentando a resistên-

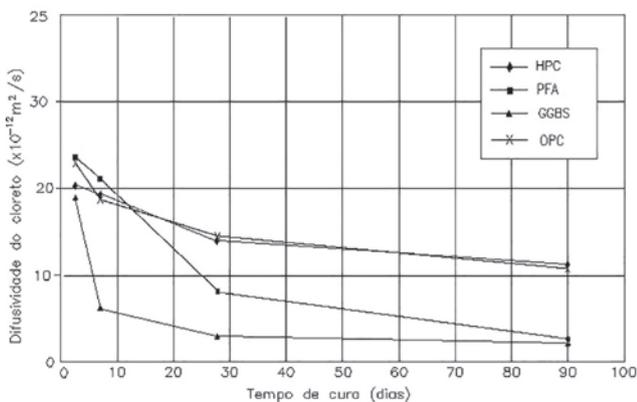


FIGURA 3

EFEITO DO TIPO DE CIMENTO NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO CONTRA A PENETRAÇÃO DO CLORETO, NUMA TEMPERATURA DE CURA DE 20° C

FONTE: GJØRV (2015)

o começo da corrosão, como base para projetos de durabilidade.

Foi feita, então, uma combinação do modelo inicial com o cálculo probabilístico, para poder avaliar a probabilidade de um volume crítico de cloretos atingir a armadura durante a vida útil da estrutura, em determinado ambiente.

4. APLICAÇÃO DOS NOVOS CONHECIMENTOS A UMA ESTRUTURA PORTUÁRIA DE CONCRETO

Foram produzidas 4 composições de concreto, usando 4 tipos de cimento comercial.

Todas as composições de concreto tiveram 390 kg/m³ de cimento com 39 kg/m³ de sílica ativa (relação água/aglomerante 0,38).

Todas as misturas atendiam aos requisitos das normas europeias para uma vida útil de 100 anos.

Os 4 tipos de cimento foram:

- ▶ **Tipo 1** - cimento Portland puro de alto desempenho (CEM I 52,5 LA)
- ▶ **Tipo 2** - cimento Portland composto com 20 % de cinzas volantes (CEM II/A V 42,5 R)
- ▶ **Tipo 3** - cimento de escória (34 %) - (CEM II/B-S 42,5 R NA)
- ▶ **Tipo 4** - cimento de escória (70 %) - (CEM III/B 42,5 LH HS)

4.1 Efeito da qualidade do cimento na probabilidade de corrosão

Nas Figuras 4, 5 e 6, vemos a previsão

de vida útil para as 4 composições do concreto com os 4 tipos de cimento.

Fica evidente a enorme diferença na previsão de vida útil, em função da especificação do tipo de cimento.

Partindo da condição de que a máxima probabilidade de corrosão aceita é de 10 %, e observando o cruzamento das curvas para os diversos cimentos com a linha dos 10% de probabilidade, temos a previsão de vida útil para cada caso, conforme mostrado na Figura 4: Exemplo 1 - temperatura média (10° C).

Temos:

- ▶ **Cimento Portland puro** - vida útil 30 anos
- ▶ **Cimento com cinzas volantes** - vida útil 80 anos.
- ▶ **Cimento de escória 34 % ou 70 %** - vida útil acima de 120 anos

Figura 5: Exemplo 2 - temperatura média (20° C).

Temos:

- ▶ **Cimento Portland** - vida útil 14 anos
- ▶ **Cimento com cinzas volantes** - vida útil 30 anos.

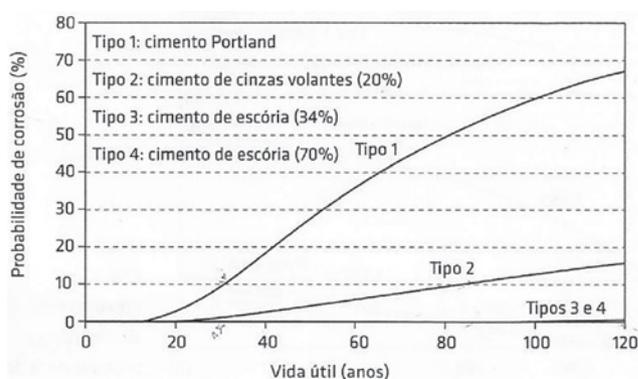


FIGURA 4

EFEITO DO TIPO DE CIMENTO NA PROBABILIDADE DE CORROSÃO (10° C)

FONTE: GJØRV (2015)

- ▶ **Cimento de escória 34 % ou 70 %** - vida útil acima de 120 anos

Figura 6: Exemplo 3 - temperatura média (30°C).

Temos:

- ▶ **Cimento Portland** - vida útil 4 anos
- ▶ **Cimento com cinzas volantes** - vida útil 12 anos
- ▶ **Cimento de escória 34 %** - vida útil 70 anos
- ▶ **Cimento de escória 70 %** - vida útil 75 anos

4.2 Efeito do cobrimento na probabilidade de corrosão

Para estruturas de concreto com elementos sujeitos a severa agressividade, como variação de maré, a orientação por

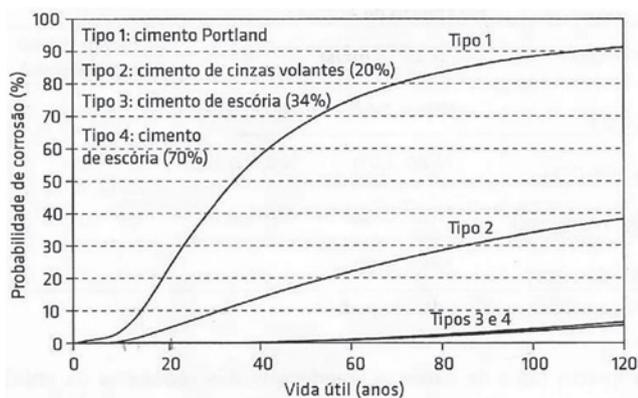


FIGURA 5

EFEITO DO TIPO DE CIMENTO NA PROBABILIDADE DE CORROSÃO (20° C)

FONTE: GJØRV (2015)

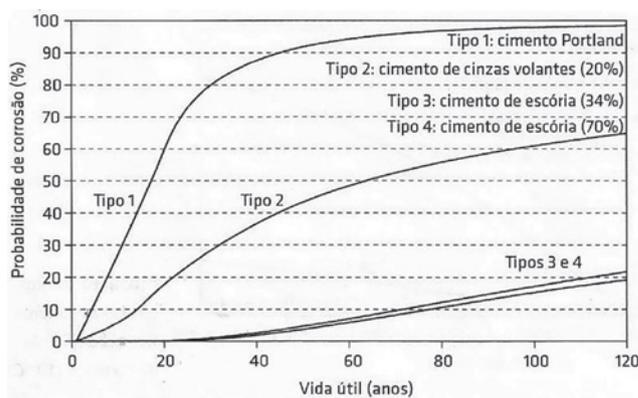


FIGURA 6

EFEITO DO TIPO DE CIMENTO NA PROBABILIDADE DE CORROSÃO (30° C)

FONTE: GJØRV (2015)

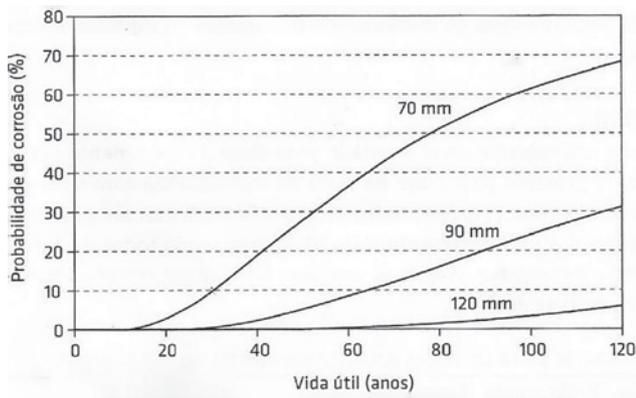


FIGURA 7

EFEITO DO COBRIMENTO NA PROBABILIDADE DE CORROSÃO

FONTE: GJØRV (2015)

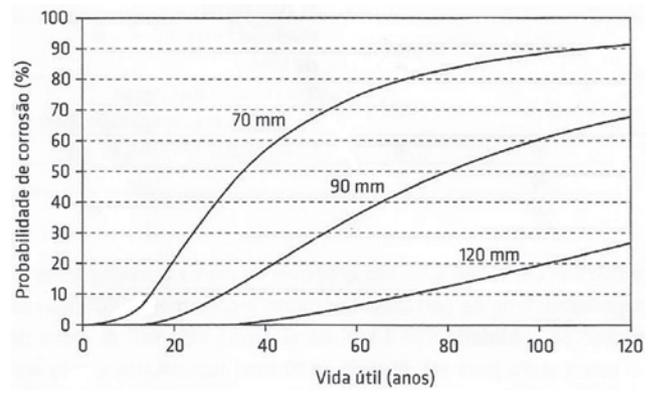


FIGURA 8

EFEITO DO COBRIMENTO NA PROBABILIDADE DE CORROSÃO

FONTE: GJØRV (2015)

parte dos novos conhecimentos, é usar cobrimentos mínimos de 70 mm e para evitar fissuras no cobrimento uma das orientações é usar concreto reforçado com fibras sintéticas.

Foi utilizado o mesmo concreto com cimento Tipo 1 (cimento Portland puro) para diferentes cobrimentos.

As Figuras 7 e 8 mostram que, mesmo usando 70 mm de cobrimento, a vida útil das estruturas em ambiente de severa agressividade, quando se usa um concreto com cimento Portland puro, fica muito prejudicada.

Figura 7: Exemplo 1 - temperatura média no entorno da obra (10° C)

Temos:

- ▶ Cobrimento 70 mm - vida útil 30 anos
- ▶ Cobrimento 90 mm - vida útil 65 anos
- ▶ Cobrimento 120 mm - vida útil acima 120 anos

Figura 8: Exemplo 2 - temperatura média no entorno da obra (20° C)

Temos:

- ▶ Cobrimento 70 mm - vida útil 14 anos
- ▶ Cobrimento 90 mm - vida útil 30 anos.
- ▶ Cobrimento 120 mm - vida útil 70 anos

Observando o cruzamento da linha da probabilidade de 10% com as curvas correspondentes aos diversos cobrimentos, temos as previsões da vida útil mostradas para os dois gráficos.

5. ESTUDO DE CASO

5.1 Descrição do modelo da estrutura da ponte

Trata-se de uma ponte que foi projetada em 2001e inaugurada em 2004, com 14 vãos de 41 m, atravessando um rio em um lugar distante 6 km do mar.

As Figuras 9 e 10 mostram um corte longitudinal esquemático e a seção transversal. O sistema construtivo utilizou vigas

pré-moldadas em concreto protendido executadas em canteiro numa cabeceira da obra e colocadas na ponte através do

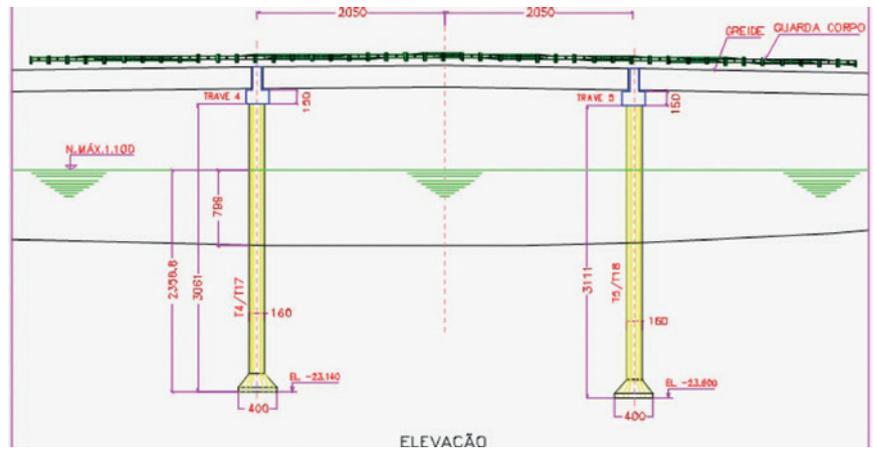


FIGURA 9

LONGITUDINAL ESQUEMÁTICO

FONTE: O AUTOR

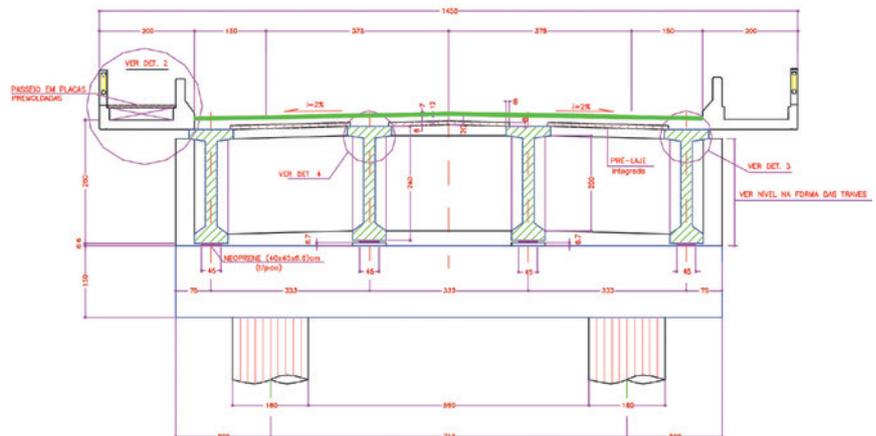


FIGURA 10

SEÇÃO TRANSVERSAL

FONTE: O AUTOR



FOTO 1

VISTA GERAL DA OBRA

FONTE: O AUTOR



FOTO 2

DETALHE AMPLIADO MOSTRANDO DESPLACAMENTO E CORROSÃO ACENTUADA

FONTE: O AUTOR



FOTO 3

AMOSTRA DO TRECHO AFETADO (ZONA DE VARIAÇÃO DE MARÉ)

FONTE: O AUTOR

sistema de treliça lançadeira, com uso posterior de pré-lajes.

A fundação foi em tubulão (\varnothing 1,60 m), funcionando também como pilar com travessa superior ligando dois a dois tubulões, para apoio das vigas.

Na época (2001), o projeto seguiu as especificações da norma ABNT NBR 6118:1980, numa fase em que ainda não existiam as definições de Classes de Agressividade Ambiental.

5.2 Problemas relatados em 2017

No ano de 2017, foi feita uma vistoria na obra, com a informação sobre o aparecimento de problemas graves nos tubulões, após 13 anos de construção.

A Foto 1 mostra a boa qualidade do concreto da estrutura, em comparação com os tubulões no trecho de variação de maré.

A Foto 2 mostra o resultado do ataque severo de cloretos, no concreto dos tubulões no trecho de variação de maré.

A Foto 3 mostra o trecho de variação de maré bem definido.

Fica evidente que houve um ataque severo no trecho de variação da maré, com deslocamento do concreto do cobrimento e corrosão acentuada da armadura.

Foi feito um Relatório (O Autor) sobre as causas do problema, cujas principais ponderações foram as seguintes:

- ▶ O problema aconteceu em consequência de ataque severo por cloretos (alta concentração por conta da proximidade do mar), no trecho de variação de maré, que fica muito bem definido na superfície do tubulão.
- ▶ Mesmo aplicando os critérios da norma ABNT NBR 6118:2003, e, de acordo com GjØrv (2015), para esse tipo de situação o risco de redução da vida útil continua.
- ▶ A situação era gravíssima e era necessário adotar um planejamento urgente e emergencial, com encamisamento dos tubulões.

5.3 Exercício para aplicação dos novos conhecimentos ao Estudo de Caso, usando a ABNT NBR 6118:2023

Será feita previsão de vida útil usando concreto com 40 MPa e cobrimento 50 mm, conforme a norma, admitindo

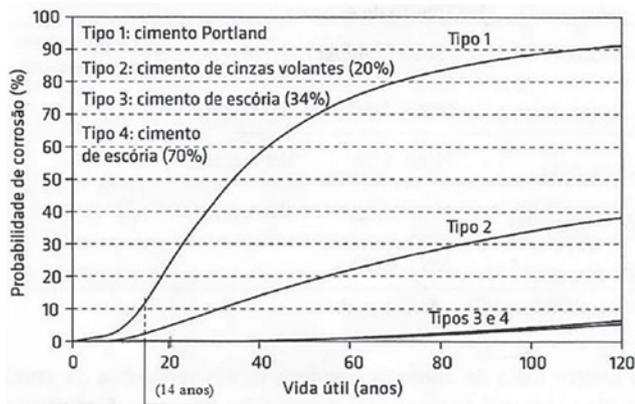


FIGURA 11

EFEITO DO TIPO DO CIMENTO NA PROBABILIDADE DE CORROSÃO (20° C)

FONTE: GJØRV (2015)

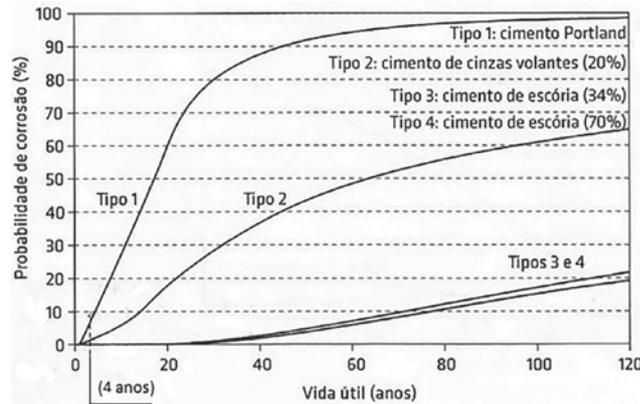


FIGURA 12

EFEITO DO TIPO DO CIMENTO NA PROBABILIDADE DE CORROSÃO (30° C)

FONTE: GJØRV (2015)

que o cimento utilizado seja Tipo 1 (a norma não especifica o cimento).

A observação importante é que os gráficos de previsão de vida útil mostrados em GjØrv (2015), são para cobrimento de 70 mm, enquanto os cobrimentos usados na obra foram de 50 mm, portanto nessa aproximação, a previsão de vida útil encontrada será maior que a da obra.

O livro mostra a previsão de vida útil para 20° C e 30° C de temperatura média anual, no entorno da obra.

Portanto, deveremos fazer nova aproximação porque, no caso em estudo, a média pode ser considerada como 25° C aproximadamente.

Teríamos: vida útil de 14 anos para cimento Tipo 1 (Figura 11).

No caso da Figura 12, teríamos: vida útil 4 anos.

Ou seja, a vida útil (média) seria, aproximadamente, 9 anos (para cobrimento de 70 mm).

Para 50 mm de cobrimento seria menor ainda, o que parece estar coerente com a situação do Estudo de Caso. (Execução dos tubulões 2003 - problema apresentado em 2017, podendo ter começado bem antes).

6. CONCLUSÕES

As análises resumidas dos principais tópicos de GjØrv (2015), apresentadas ao longo do artigo, mostram que estamos diante de uma verdadeira mudança de procedimentos, em relação ao enfrentamento das dificuldades inerentes ao projeto e à execução de estruturas de concreto situadas em ambientes de severa agressividade, principalmente nos casos mais comuns de pontes com elementos de apoio sujeitos a refluxo de maré, bastante comuns ao longo da costa brasileira.

A principal mudança de paradigma é que, tomando o exemplo do ataque por respingos de maré, escolhemos um concreto de 40 MPa e um cobrimento de 50 mm, conforme a ABNT NBR 6118:2023; no entanto, a partir dos novos conhecimentos constantes no livro, é possível ver que, fabricando um concreto de 40 MPa, utilizando cimento sem adições, como escória de alto-forno, cinzas volantes etc, o primeiro concreto vai apresentar uma resistência à penetração de cloretos muito menor que o concreto com cimento com adições.

O exercício apresentado para o nosso Estudo de Caso mostra uma expectativa de vida útil muito baixa, inaceitável, para

o concreto com cimento sem adições.

Sabe-se que é possível atender aos atuais critérios da norma, em relação à resistência do concreto (40 MPa) e cobrimento (50 mm), usando cimento sem adições.

Portanto, enquanto não houver referência adicional ao tipo de cimento, na ABNT NBR 6118:2023, corremos o risco de continuar projetando e construindo obras em situação semelhante ao nosso Estudo de Caso, com baixa expectativa de vida útil.

A continuação dessa falta de recomendação adicional pode acarretar sérios problemas de intervenção cara, apuração de responsabilidades e desgastes para o Setor Público, projetistas e construtores.

A principal razão para a elaboração desse artigo é alimentar uma discussão equilibrada e urgente envolvendo os colegas das áreas de projeto e tecnologia de concreto, no sentido de aprofundar as análises a respeito dos novos conhecimentos e viabilizar adequações nos textos normativos, visando uma melhoria na expectativa de vida útil nas futuras estruturas a serem executadas em situação de severa agressividade. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6118:2023 Projeto de Estruturas de Concreto.
- [2] Bijen, J.M. Blast Furnace Slag for Durable Marine Structures. VNC/BetonPrisma, Hertogenbosch, 1998.
- [3] Collepardi, M., Marcialis, A., and Turriziani, R. Kinetics of Penetration of Chloride Ions in Concrete, l'Industria Italiana del Cemento, 4, 157-164, 1970.
- [4] GjØrv, O.E. Durability Design of Concrete Structures in Severe Environments, Trondheim, Norway, 2008.
- [5] GjØrv, O.E. Projeto da Durabilidade de Estruturas de Concreto em Ambientes de Severa Agressividade.
- [6] Tradução: Leda Maria M. D. Beck. Supervisão técnica: Enio Pazini e Paulo Helene. Oficina de Textos, São Paulo, 2015.
- [7] Thomas, M. D. A., Bremner, T., and Scott, A.C.N. Actual and Modeled Performance in a Tidel Zone. Concrete International, 33(11), 23-28, 2011.