

- Preencher **todos** os dados de identificação na parte inferior de **todas** as folhas antes de iniciar
- **A prova escrita tem 2 questões e terá duração de 60 minutos.**
- **Esta prova vale 4 pontos.**

1. **“Concretos são susceptíveis a fenômenos de retração ao longo do tempo”.** Quais são os dois principais tipos e causas de retração que um concreto pode sofrer em função do tempo e que problemas seriam potencializados a presença desses defeitos? Discuta como reduzir o risco de fissuração no concreto para essas duas causas de retração.

- Retração de secagem e retração química decorrente da hidratação do cimento;
- Excesso de água para trabalhabilidade e excesso de ligante;
- Fissuras reduzem desempenho mecânico e a durabilidade do concreto armado;
- Redução da água necessária para trabalhabilidade e redução do teor de ligante;
- Aditivos redutores de retração e aditivos expansores.

2. Estuda-se a viabilidade de realizar a modernização de um edifício com 35 anos de idade, construído em concreto armado aparente, sem qualquer revestimento protetor, inclusive nas fachadas. Os investimentos só se tornam viáveis se houver confiança de que a estrutura de concreto armado não vá apresentar problemas de corrosão do aço nos próximos 40 anos.

Foi realizada uma inspeção na estrutura existente. A análise visual sistemática em toda a estrutura não constatou nenhuma de corrosão das armaduras. Em alguns pontos foi medido a profundidade de carbonatação (por fenolftaleína) e a espessura do cobrimento da armadura foi verificada tanto com uso de paquímetro - a armadura se tornou visível durante o ensaio de carbonatação, quanto usando um ensaio não destrutivo chamado pacometria, em ambiente interno e fachada.

1. Com os dados disponíveis, você recomendaria o investimento na modernização? Considere que a profundidade de penetração da reação de carbonatação é uma função linear com a raiz quadrada do tempo de reação. Justifique a recomendação. Apresente evidências numéricas de maneira ordenada.

Gabarito:

- a) Temos dois climas. A carbonatação interna não tem consequências práticas, pois na falta de exposição a molhagem e secagem a taxa de corrosão será desprezível. A análise de risco deve se concentrar na fachada.
- b) O risco de corrosão depende da profundidade de carbonatação e da espessura do cobrimento da armadura.
- c) Existe uma dispersão nos resultados na fachada externa. E a média do cobrimento da armadura é 20,4mm e a da carbonatação nos 35 anos é de 16,6mm, resultando em um coeficiente k de carbonatação médio de $2,8 \text{ mm.ano}^{-0,5}$.
- d) Em 2/5 dos pontos a armadura já está despassivada. Estes pontos têm coeficiente de carbonatação acima de $3 \text{ mm.ano}^{-0,5}$, 1,3X superior aos 3 outros, mas típicos do k do concreto interno. Também possuem menor cobrimento da armadura que a média (17 e 19mm). Isto pode ser resultado de (a) problemas de concretagem localizados ou (b) pontos da fachada que estão protegidos das chuvas e tem maior velocidade de carbonatação.

- e) Nos outros três pontos da fachada o coeficiente k é de 1,9-2,9 e a carbonatação irá atingir a armadura nestes pontos em idades de 76 a 129 anos, oferecendo excelente margem de segurança para o restante da estrutura.
- f) A melhor recomendação é aumentar a amostragem de pontos da fachada, que é de apenas 5 pontos, permitindo uma decisão mais fundamentada.**
- g) Com os dados existentes é possível decidir, optando-se por uma solução conservadora.
- h) Aceitando-se que o valores médios de profundidade de carbonatação e espessura de cobrimento da armadura são representativos, se nada mudar, isto significa que em média a carbonatação atingira a armadura quando o edifício com 53 anos de idade. Assim em aproximadamente metade da fachada edifício a armadura da fachada estará despassivada (e possivelmente em corrosão) por 22 anos antes do edifício atingir a vida útil de projeto de 75 anos de idade.
- i) No entanto como a concentração de CO₂ na atmosfera está subindo a velocidade de carbonatação deve estar aumentando, aumentando a velocidade de carbonatação.
- j) Com base nos dados existentes não é recomendável fazer retrofit da estrutura pois parte significativa da armadura da fachada estará despassivada e possivelmente corroendo antes de 75 anos de idade.

Critério de correção

- a) Entende que o risco de corrosão é so na fachada 0,5
- b) Estima o k (2,8) e o cobrimento médio (20,4) da fachada 0,2
- c) Estima a vida útil residual média da fachada (18 anos) ou a profundidade de carbonatação com 75 anos de idade (24,3) e compara com o cobrimento médio (20,4) 0,2
- d) Identifica que o aumento da velocidade de carbonatação com aumento da concentração de CO₂ aumenta o risco (extra)
- e) Conclui que não é recomendável baseado somente na profundidade>espessura. (0,3 somente se argumentação certa)
- f) Identifica que os dois pontos onde a carbonatação atingiu a armadura tem profundidade muito mais alta e cobrimento mais baixos. (0,4)
- g) Identifica que o número de resultados da fachada é baixo e conclui que é melhor aumentar a amostragem. (0,4)

		A	B	C	D	E	F
	Local	Cobrimento (mm)	Carbonatação 35 anos (mm)	K (mm.ano ^{-1/2})	Carbonatação 75anos (mm)	D-A (mm)	Tempo para atingir armadura (anos)
1	fachada	18	11	1,859	16,1	2	94
2	fachada	23	12	2,028	17,6	5	129
3	fachada	25	17	2,874	24,9	0	76
4	fachada	17	20	3,381	29,3	-12	25
5	fachada	19	23	3,888	33,6	-15	24
6	interno	24	12	2,028	17,5	6	140
7	interno	18	15	2,535	21,9	-4	50
8	interno	20	22	3,719	32,2	-12	29
9	interno	15	22	3,719	32,2	-17	16
10	interno	28	23	3,888	33,6	-6	52
11	interno	23	23	3,888	33,6	-11	35
12	interno	27	25	4,226	36,6	-10	41

2. Identifique uma medida adicional, que preserve a estrutura, seja de execução simples e tenha potencialmente custo baixo, que reduza significativamente o risco de corrosão das armaduras. Justifique.

Pintura de proteção ou hidrofugação (0,4) para controlar o ingresso de água ou barreira de CO₂ (0,4)

Limitar a fachada (0,2)