

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE VIGAS EM EDÍFICIO RESIDENCIAL

Tatiane Capellani Sanches¹

taticapellani@gmail.com

Déborah Rebouças da Cunha²

deborahcunha2@hotmail.com

Maria Elizabeth da Nóbrega

Tavares³

etavares@uerj.br

ÁREA: (REABILITAÇÃO)

Resumo

O presente trabalho refere-se à análise técnica e econômica de duas vigas de um prédio residencial situado em frente à praia. Elas foram recuperadas ao momento negativo pela técnica do encamisamento com concreto e aumento das armaduras longitudinais. As vigas tiveram suas armaduras rompidas devido ao processo de corrosão necessitando de recuperação estrutural. Este estudo avaliou se o método adotado foi a melhor solução através da comparação entre os impactos positivos e negativos da recuperação com fibra de carbono, chapa de aço colada e o método utilizado. Os efeitos considerados foram custo de material e mão de obra, vantagens e desvantagens técnicas. O dimensionamento foi realizado mediante a norma NBR 6118 de 2014 e de 1980, norma vigente na época da construção da estrutura. Para isto, foi identificado quanto de resistência a seção original perdeu após a deterioração e essa parcela foi recalculada através de cada método de reabilitação analisado.

Palavras-chave: Recuperação estrutural
Vigas de concreto armado
Armadura longitudinal

1 Aluna de Mestrado, UERJ -Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Faculdade de Engenharia, FEN, Rua São Francisco Xavier, Nº 524, Bloco E, 5º Andar, Sala 5033-E, CEP 20550-900, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

2 Aluna de Mestrado, UERJ -Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Faculdade de Engenharia, FEN, Rua São Francisco Xavier, Nº 524, Bloco E, 5º Andar, Sala 5033-E, CEP 20550-900, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

3 Professor Doutor, DSc, UERJ -Departamento de Estruturas e Fundações, UERJ, Faculdade de Engenharia, FEN, Rua São Francisco Xavier, Nº 524, Bloco E, 5º Andar, Sala 5033-E, CEP 20550-900, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA RECUPERACIÓN ESTRUCTURAL DE VIGAS EN EDIFICIO RESIDENCIAL

Tatiane Capellani Sanches¹

taticapellani@gmail.com

Déborah Rebouças da Cunha²

deborahcunha2@hotmail.com

Maria Elizabeth da Nóbrega Tavares³

etavares@uerj.br

AREA: (INFORME DE LA CONFERENCIA QUE CAE ÁREA)

Resumen

El presente trabajo se refiere al análisis técnico y económico de dos vigas de un edificio residencial situado frente a la playa. Estas fueron recuperadas al momento negativo por la técnica del encaminamiento con hormigón y aumento de las armaduras longitudinales. Las armaduras de las vigas se rompieron debido al proceso de corrosión, por lo tanto una recuperación estructural fue necesario. Este estudio evaluó si el método adoptado fue la mejor solución a través de la comparación entre los impactos positivos y negativos de las recuperaciones con fibra de carbono, chapa de acero adherida y el método utilizado. Los efectos considerados fueron costo de material y mano de obra, ventajas y desventajas técnicas. El cálculo de la recuperación fue realizado mediante la norma NBR 6118 de 2014 y de 1980, norma vigente en la época de la construcción de la estructura. Para ello, se identificó cuánta resistencia perdió la sección original después del deterioro. Adicionalmente la parcela fue recalculada a través de cada método de recuperación analizado.

Palabras clave: Recuperación estructural
Vigas de hormigón
Armaduras longitudinales

Introdução

Nas últimas décadas, devido à crescente demanda na construção civil foi necessário um maior controle tecnológico nas obras. Diante disso, questões como durabilidade e manutenção das estruturas são cada vez mais importantes para que se tenha maior vida útil das mesmas. Assim, cresce também a importância do estudo das patologias e das técnicas de recuperação e reforço das estruturas.

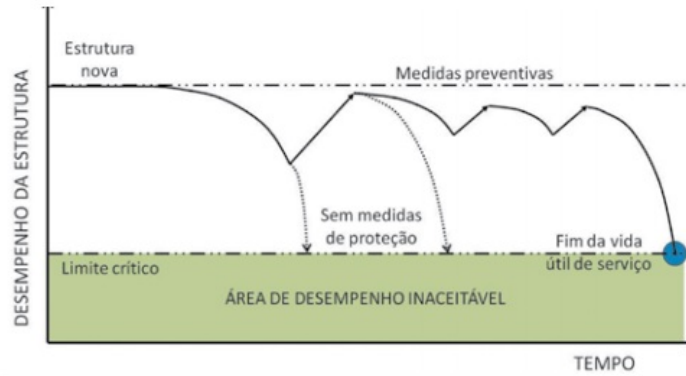


Figura 1: Desempenho de uma estrutura de concreto armado ao longo do tempo (1).

Antes de escolher o procedimento de recuperação deve-se verificar o ambiente em que a obra está inserida, o impacto global que haverá na estrutura e o objetivo da mesma. Após isso, analisar quais são os processos que podem ser utilizados neste caso e então fazer um comparativo em relação ao custo.

Conhecida como uma das principais causas de patologias em estrutura de concreto, a corrosão se caracteriza pela despassivação da armadura. Despassivação é o processo em que a película protetora do aço perde sua função e é atacada por agentes externos. A perda de estabilidade da camada passivadora é que conduz o ferro ao processo de corrosão. Essa situação ocorre pela penetração de substâncias agressivas ao concreto associado à existência de água que funcione como eletrólito capaz de transportar os elétrons, diferença de potencial e oxigênio.(2) As principais causas da corrosão são carbonatação do concreto e penetração de grande quantidade de íons cloreto.

O mecanismo é baseado na existência de um desequilíbrio elétrico entre metais diferentes ou entre diferentes partes do mesmo metal, configurando o que se chama pilha de corrosão, conforme pode ser visto na figura abaixo. (3)

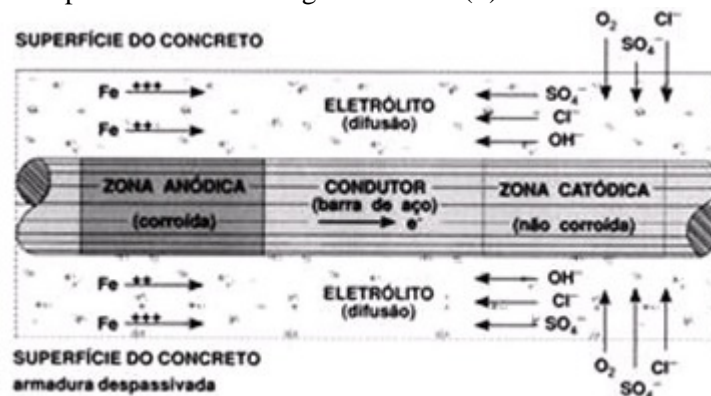


Figura 2: Modelo de corrosão das armaduras de aço (4).



O processo de corrosão de armaduras é a transformação de barra metálica em ferrugem acompanhado por um aumento considerável no volume original do metal. Esse aumento de volume é atribuído como principal causa da expansão e fissuração do concreto. (5)

Desta forma, a camada de revestimento de concreto desempenha um papel importante, porque além de ser uma barreira química também funciona com uma barreira física, ou seja, um revestimento de qualidade possuirá baixa porosidade, e assim dificultará a penetração de agentes externos agressivos. Com baixa porosidade, reduz-se a presença de água e de oxigênio, necessários para que a corrosão ocorra.

Como forma de aprofundar este tema, o presente artigo se baseou em um estudo de caso de um edifício residencial situado à beira-mar. Na edificação, um dos apartamentos sofreu deterioração de duas vigas da varanda, nas quais estavam com sua armadura exposta e corroída. A recuperação foi feita através de um método de recuperação estrutural e o sugerem-se outros dois métodos para comparação quanto à eficiência técnica e econômica.

Fundamentação teórica

A escolha da técnica e do material de reforço empregado é feita de maneira cautelosa, buscando a racionalização de custos, facilidade de aplicação, compatibilidade do material com o ambiente e o seu desempenho mecânico.

A análise dos dados provenientes da inspeção prévia da estrutura levará ao conhecimento das causas dos danos e da capacidade residual da estrutura.

A recuperação da capacidade resistente da estrutura depende da sua patologia. Com a causa definida é possível estabelecer o reforço mais adequado, podendo ser eles: encamisamento com concreto armado; fibra de carbono; chapas coladas com resina epóxi, armadura protendida etc.

Entretanto, para que o reforço seja bem sucedido é necessário que haja transferência de esforços entre as ligações dos dois materiais, substrato e reforço, para que se garanta a monolitividade dos elementos reforçados. Por isso substrato deve receber tratamento adequado para que se garanta a aderência entre elas.

Os serviços de reabilitação visam o reestabelecimento das condições de segurança, funcionalidade e ampliação ou reposição da vida útil da estrutura.

Encamisamento com Concreto Armado

A técnica do encamisamento com concreto armado consiste no aumento da seção transversal pela adição de uma armadura suplementar e de uma camada de concreto envolvente. O reforço com encamisamento pode ser utilizado em elementos deteriorados ou não. Esta técnica é indicada quando há insuficiência de armadura na zona tracionada, comparativamente às demais técnicas, quando há necessidade de aumentar a resistência das zonas comprimidas, de incrementar as dimensões da seção ou de adicionar armaduras ficando estas no interior da seção. (6)

Devido à simplicidade de execução, mão-de-obra e materiais de fácil disponibilidade e custo mais baixo comparado a outras técnicas tornam essa solução viável para diversos casos de recuperação e reforço. Em contrapartida, como desvantagem apresenta elementos finais de dimensões superiores às existentes e impõe um certo tempo para liberar a estrutura para carregamento.

Este método pode ser aplicado em lajes, vigas e pilares. Nas lajes, as armaduras de reforço podem ser dispostas na face superior ou na inferior depende se deseja-se aumentar a taxa de armadura positiva ou negativa. Nas vigas este reforço pode ser efetuado à flexão

ou à flexão e ao cisalhamento. Já nos pilares o encamisamento envolve normalmente toda a seção do pilar, aumentando assim a resistência à compressão e à flexão.

Chapas coladas com resina epoxi

Esta técnica é normalmente utilizada para reforço à flexão e ao cisalhamento. A superfície do concreto não pode apresentar segregação e nem qualquer substância que prejudique a aderência, como graxa, pó e óleo.

Como neste tipo de reforço a adesão da chapa ao substrato é fundamental, o adesivo que será usado para a colagem é de extrema importância. Para isto, a superfície do concreto deverá receber jato de areia de modo a obter certa rugosidade além de estar rigorosamente plana para aplicação da chapa.

Os adesivos utilizados para colar as chapas são geralmente as resinas epoxi. Após a colocação da chapa deverá exercer-se uma pressão uniforme até que a resina tenha endurecido completamente, através de chapas de madeira e escoras. Somente após o endurecimento total é que se pode aplicar carregamento na estrutura.

Nas zonas onde as tensões tangenciais são maiores, como na zona de ancoragem, pode-se reforçar a aplicação da chapa por meio de chumbadores metálicos, minorando os riscos de descolagem.

Após a colagem da chapa deve ser utilizado um isolante à base de amianto ou vermiculita para proteção das chapas.

Lâmina de fibra de carbono

A fibra de carbono é um composto filamentosos constituído principalmente de carbono. Ela é obtida através da decomposição térmica sem oxidação, conhecida como pirólise. As fibras são unidas entre si por um polímero denominado resina, que funciona como uma espécie de cola que liga as fibras, dando forma ao material e distribuindo a força no interior do conjunto.

Os compósitos são usualmente utilizados nas estruturas de concreto na forma de laminados pré-fabricados, mantas bidirecionais e folhas flexíveis unidirecionais pré-impregnadas.

Os compósitos apresentam diversas vantagens quando comparados com os materiais utilizados para reforço estrutural, dentre as quais podemos citar a alta resistência a rigidez; massa específica reduzida; baixa coeficiente de dilatação térmica; ótima resistência a ataques químicos e corrosão; rapidez e facilidade de instalação e elevada resistência à tração. Entretanto a principal vantagem é em relação à velocidade de execução à pouca interferência provocada no ambiente, o que favorece o uso em edificações em funcionamento e o fato de não sofrerem corrosão. Porém apresenta desvantagens quanto à baixa resistência ao fogo e utilização em ambientes que tem grande incidência de raios ultravioleta. (7)

Estudo de Caso

O reforço estrutural ocorreu em um prédio residencial, com cerca de trinta anos, situado em frente à praia. Duas vigas de sustentação da varanda, engastadas e livres, tiveram suas armaduras rompidas. Originalmente elas possuíam nove barras, após o processo de deterioração, a viga V1 teve cinco barras rompidas e a viga V2 teve todas as barras rompidas. Com isso, precisou-se recompor a capacidade resistente das vigas ao momento negativo.

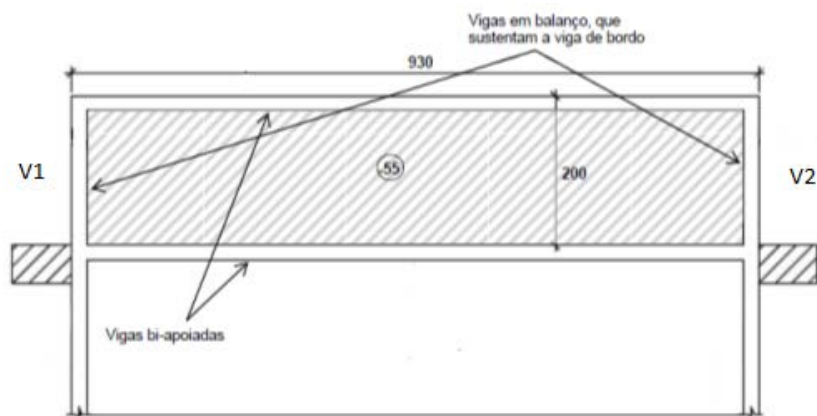


Figura 3: Planta baixa da varanda.

Para a sua recuperação foram usadas novas armaduras ancoradas com graute. Estendeu seu comprimento até depois da região em que o momento negativo exigisse e foram dobradas a 90°, cravando-se no concreto existente. Como a ferragem deteriorada foi mantida e acrescentaram-se as novas barras, a altura da viga aumentou. Porém, a área da armadura longitudinal que estava sendo solicitada permaneceu a mesma. As barras longitudinais possuem diâmetro de 12,5mm e os estribos são de 6,3mm com espaçamento de 10 cm. Eles foram reforçados através da inserção de novos estribos, com mesma especificação, ao lado dos antigos, além das novas barras longitudinais com diâmetro de 12,5mm.

As vigas, anteriormente, possuíam cobrimento de 1,5 cm, de acordo com a NBR 6118/1980. A norma atual (NBR 6118/2014) determina que cobrimentos maiores devam ser adotados em ambientes agressivos a fim de garantir a durabilidade da edificação. Sendo assim, foi adotado cobrimento de 3,0 cm devido à sua classe de agressividade ambiental II.



Figura 4: Ancoragem das armaduras após reforço.



Figura 5: Armadura da viga V1 deteriorada.

Tabela 1: Geometria e quantidade de barras deterioradas das vigas.

Viga	Seção Original	Seção Recuperada	Quantidade de Barras Deterioradas
V1	20 x 70	23 x 79,50	5
V2	20 x 70	23 x 82,75	9

Para o cálculo dos momentos resistentes das vigas foi considerado que antes do processo de reforço estrutural a resistência da viga V2 é nula ao esforço de tração e a viga

V1 resiste com quatro barras. Este foi realizado através do equilíbrio das forças resultantes no aço e no concreto.

$$M_k = R_{cd} \times z \quad (1)$$

$$R_{cd} = R_s = A_s \times f_y \quad (2)$$

onde:

- M_k — momento resistente;
- R_{cd} — força resultante de compressão;
- R_s — força resultante de tração;
- A_s — área de aço;
- f_y — tensão resistente do aço;
- z — braço de alavanca.

Tabela 2: Momento resistente das vigas.

Viga	Resistência (Knm)		
	Seção Original	Seção Deteriorada	Seção Recuperada
V1	323,58	0,00	346,99
V2	323,58	144,70	375,69

A estrutura obteve, ao final do reforço, um acréscimo significativo de resistência em relação à época da construção. Isso ocorreu devido ao aumento da seção. Para atender a norma atual (NBR6118/2014), o cobrimento que antes era de 1,5cm passou a ser 3 cm. Além disso, a nova configuração da armadura longitudinal, de ambas as vigas, alterou.

A fim de reduzir o tempo de obra, optou-se por manter as barras deterioradas e acrescentar as novas barras. Assim, a seção da viga V1 após o reforço ficou com a altura de 79,5cm e da viga V2 com 82,75cm.

A figura abaixo mostra a evolução da resistência das vigas ao longo de sua utilização.

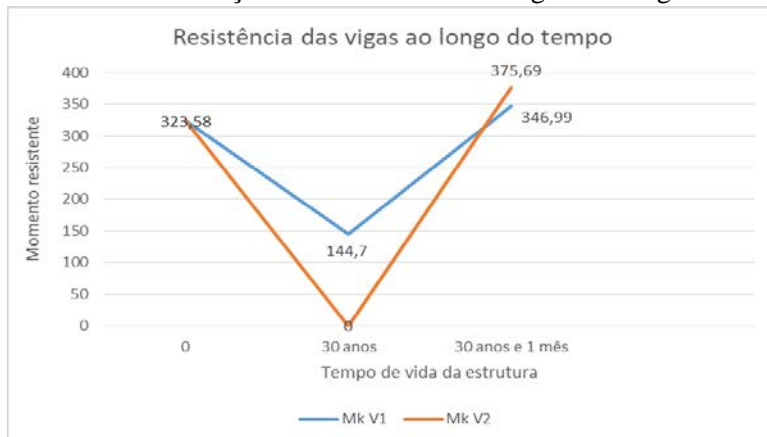


Figura 4: Resistência das vigas ao longo do tempo.

O momento resistente da viga V1 após trinta anos de utilização reduziu 55,28%. Após a recuperação aumentou cerca de 7,2%. Já a viga V2 ao final do reforço teve aumento de 16,1%.

Reforço com fibra de carbono

No dimensionamento ao reforço, a lâmina fica responsável apenas pelo acréscimo de sobrecarga e pode ser calculada através da equação abaixo.

$$M_{sd} \leq M_{Rd} = A_s \times f_s \times (d - 0,4x) + \gamma_f \times A_f \times f_f \times (h - 0,4x) \quad (3)$$

Onde:

$\gamma_f = 0,85$ – fator de correção de acordo com o ACI440-F;

A_f - Área de fibra de carbono;

f_f – Resistência da fibra de carbono.

Para o dimensionamento da recuperação com fibra de carbono será considerado lâmina de carbono com resistência à tração de 3100 MPa, largura de 50 mm e espessura de 1,2 mm, da marca

A área da seção transversal de lâmina de carbono necessária para a recuperação da viga V1 é de 1,16 cm². Utilizando o composto especificado que fornece área de 0,6 cm² por camada, seriam necessárias duas camadas de lâmina. A viga V2 necessitaria de 2,13 cm² resultando em quatro camadas de lâminas.

Reforço com chapa colada

Para o cálculo do momento resistente da peça após a recuperação é feito de tal modo que as armaduras existentes absorvam o peso próprio e parte da sobrecarga e o reforço apenas a outra parte da sobrecarga e que a chapa trabalhe com aproximadamente a mesma tensão das armaduras originais.

$$A_r = \left[\frac{M_s}{z_s \times \sigma_{srs}} \right] - A \quad (4)$$

Onde:

M_s – É o momento resistente da viga;

A – Área das barras originais.

A viga V1 necessitaria de 18,35 cm² de área de chapa metálica colada e a viga V2 necessitaria de 42,09 cm² de área de chapa metálica.

Orçamento

Para orçar os três métodos de recuperação, foi considerado que em todos eles foi necessário um pedreiro e um ajudante, e o custo de mão de obra foi retirado do SCO – Sistema de Custos de Obra. Esse sistema fornece um catálogo de itens que serve para elaboração de orçamentos de obra e serviços da Secretaria Municipal do Rio de Janeiro. O custo de mão de obra e ferramentas necessárias para cada etapa dos procedimentos executivos já estão inclusas no preço do item do catálogo.

Abaixo está o orçamento do reforço por encamisamento com concreto armado.

Tabela 3: Orçamento da recuperação das vigas pela técnica do encamisamento com concreto.

Material	Item do Sco	Quantidade	Unidade	Custo unitário	Custo Total
Aço CA50 ø12,5mm		2,45	m	R\$92,90	R\$227,61
	ET 09.10.0061 (/) Corte, dobragem, montagem e colocação	28,30	Kg	R\$3,06	R\$86,59
Concreto 20 Mpa	ET 59.05.0062 (/)	0,34	m ³	R\$307,34	R\$103,91
Pintura epóxi		0,001	m ²	R\$47,90	R\$47,90
Estribo		186,00	u	R\$1,00	R\$186,00
	ET 09.10.0056 (/) Corte, dobragem, montagem e colocação	14,88	kg	R\$3,50	R\$52,08
Escoramento	ET 19.25.0050 (/)	4,03	m ²	R\$80,35	R\$323,57
Forma	ET 14.10.0050 (A)	4,03	m ²	R\$53,89	R\$217,02
Limpeza com jato d'água	SC 34.15.0150 (/)	4,51	m ²	R\$21,24	R\$95,79
Preparo	ET 04.20.0206 (/)	0,34	m ³	R\$44,46	R\$15,03
Lançamento	ET 04.25.0703 (A)	0,34	m ³	R\$35,18	R\$11,89
					R\$1.367,39

Em relação à recuperação por laminados de fibra de carbono, segue-se o custo total.

Tabela 4: Orçamento da recuperação das vigas com fibra de carbono.

Material	Item do Sco	Quantidade	Unidade	Custo unitário	Custo Total
Lamina de fibra de carbono	ET 64.05.0156 (/)	0,42	m ²	R\$118,79	R\$49,89
Escoramento	ET 19.25.0050 (/)	17,20	m ²	R\$80,35	R\$1.382,02
					R\$1.431,91

Tabela 5: Orçamento da recuperação das vigas com chapa colada.

Material	Item Sco	Quantidade	Unidade	Custo unitário	Custo total
Chapa metálica		7,40	m ²	95,5	706,7
Adesivo epóxi		8,00	m ²	R\$47,90	R\$383,20
Escoramento	ET 19.25.0050 (/)	4,03	m ²	R\$80,35	R\$323,57
Forma	ET 14.10.0050 (A)	4,03	m ²	R\$53,89	R\$217,02
Limpeza com jato d'água	SC 34.15.0150 (/)	4,51	m ²	R\$21,24	R\$95,79
Preparo	ET 04.20.0206 (/)	4,51	m ³	R\$44,46	R\$200,51
					R\$1.926,79

Conclusão

Como foi visto, para solucionar os problemas que ocorrem nas estruturas é preciso a correta escolha da técnica a ser utilizada numa recuperação estrutural, pois é isso que vai garantir o sucesso do trabalho realizado.

Constata-se que é de extrema importância que seja feito um estudo em relação às vantagens e desvantagens de cada método levando em consideração o custo, mão de obra, prazo e impacto arquitetônico.

Para o estudo de caso analisado nesse trabalho, foram propostos três métodos de recuperação das vigas da varanda. Foi feita uma análise em relação ao custo de cada técnica utilizando como parâmetro o Sistema de Construção de Obras do Rio de Janeiro.

Pode-se perceber que a técnica adotada para a recuperação foi a mais econômica, porém, a diferença de preço foi baixa. A recuperação com a fibra de carbono ou com a chapa colada traria benefícios em relação ao tempo de obra e ao impacto arquitetônico na fachada.

A solução com fibra de carbono por ter uma espessura de tratamento que não chega a um centímetro, é ideal para recuperações onde não se podem comprometer as características originais da estrutura. Além disso, ela permite a utilização do ambiente ao redor por ser um método que não gera resíduos e não há necessidade de interdição da área. A facilidade de execução e manipulação do material torna o procedimento extremamente rápido de ser executado.

Com este trabalho pode-se observar a importância da revisão das normas técnicas brasileiras. A NBR 6118/1980, norma vigente na época em que o prédio foi construído, não levava em consideração a questão da durabilidade. Atualmente, este conceito está presente na norma NBR 6118/2014, tanto que o cobrimento de uma norma para a outra, na mesma classe de agressividade ambiental, dobrou.

Agradecimentos

Os autores agradecem à professora Doutora Maria Elizabeth da Nóbrega Tavares e ao Doutor Gilberto Adib Couri pela orientação neste trabalho.

Bibliografia

- (1) MEDEIROS, M.H.F; ANDRADE, J.J.O; HELENE, P. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**, Congresso: Concreto: Ciência e Tecnologia, Editora do Ibracon, 2011.
- (2) CANTUÁRIA, L.L.; CARDOSO, E.N. **Análise do processo de passivação das armaduras no concreto**. Trabalho de conclusão de curso. Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Goiânia, 2005.
- (3) ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à Previsão da Vida Útil das Estruturas de Concreto Armado Atacadas pela Corrosão da Armadura: Iniciação por Cloretos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- (4) HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. PINI, 2. Ed, Sao Paulo, 1992. 213 p.
- (5) MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. PINI, 1ª Ed. São Paulo, 1994. 580p.
- (6) SOUZA, R.H.F. **Notas de aula da disciplina Reforço e Recuperação das estruturas de concreto**. Curso de Mestrado, UERJ, 2009.
- (7) FILHO, J.J.H.S. **Estudo Teórico-Experimental de vigas de Concreto Armado solicitadas a torção reforçadas com compósito de fibra de carbono**. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.