VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO NO ESTÁDIO II, DE UMA VIGA DE CONCRETO ARMADO, EXECUTADA FORA DA CLASSE DE NORMA



Revista Eletrônica Multidisciplinar
FACEAR
ISSN: 2316-2317

Everton Gonçalves Cardoso[1]
Orientador: Kirke A. W. Moreira[2]

[1] *Faculdade Educacional Araucária*
[2] *Faculdade Educacional Araucária*

RESUMO

A durabilidade das estruturas de concreto armado se evidencia com a incidência de manifestações patológicas sobre as mesmas. Em estruturas de concreto, é largamente aceito que a presença dos íons cloreto é responsável por causar uma quebra localizada na camada passiva e, conseqüentemente, corrosão nas barras de aço da armadura. Este fenômeno geralmente é associado à inadequada espessura do cobrimento e, principalmente, à facilidade de entrada de agentes agressores por meio da microestrutura do concreto. A fim de analisar esta influência, foi realizado um estudo sobre o estado limite de fissuração, baseado em uma provável perda de seção de aço de uma viga construída erroneamente em uma classe de agressividade ambiental III, seguindo os critérios de dimensionamentos da NBR 6118/07, simulando um ataque por cloretos. As aberturas das fissuras dentro do estado limite não comprometem as condições de serviço e a durabilidade da estrutura. Neste trabalho não foram levados em conta como, por exemplo, a taxa de penetração de cloretos ou outros agentes agressivos, e a velocidade com que esta corrosão venha a acontecer ao longo de um determinado período de tempo. A perda de seção de aço ao longo do tempo, implica na redução significativa das características de projeto, ressaltando principalmente a redução da resistência das peças estruturais aos esforços de flexão e compressão as quais foram projetadas.

Palavras chave: Concreto. Durabilidade. Corrosão

ABSTRACT

The durability of reinforced concrete structures is evident with the incidence of pathological manifestations on the same. In concrete structures, it is widely accepted that the presence of chloride ions is responsible for causing a breach in the passive layer and consequently corrosion on steel armature bars. This phenomenon is often associated with inadequate thickness of coverings and, especially, the ease of entry of aggressive agents through the microstructure of concrete. In order to analyze this influence, we conducted a study on the limit state of cracking, based on a likely loss of steel section of a beam constructed erroneously in a class of environmental aggression III, following the criteria of dimensioning of NBR 6118/07, simulating an attack by chlorides.. The openings of the cracks within the State limit does not affect the conditions of service and the durability of the structure. In this work have not been taken into account as, for example, the rate of penetration of chlorides or

other aggressive agents, and the speed with which this corrosion will happen over a given period of time. The steel section loss over time, implies a significant reduction of the design features, noting especially the reduction in the resistance of structural parts bending and compression efforts which are designedThe steel section loss over time, implies a significant reduction of the design features, noting especially the reduction in the resistance of structural parts bending and compression efforts which are designed.

Key words: concrete. Durability. Corrosion.

1. INTRODUÇÃO

A realização da verificação do estado limite de serviço nas peças estruturais é uma análise do comportamento da abertura das fissuras que possam comprometer a durabilidade da estrutura, sujeitas ao ataque corrosivo nas armaduras presentes no concreto. Quando erroneamente projetada ou construída em uma classe de agressividade ambiental com taxas de agentes agressivos superior, a mesma poderá sofrer com estes ataques ao longo de sua vida útil.

2. DESCRIÇÃO SUCINTA DO PROJETO SELECIONADO

Para o estudo deste trabalho, retirou-se os dados e as informações técnicas descritivas de uma viga de um projeto aplicado na cidade de Curitiba-Paraná. Segundo a classificação da NBR 6118/07 o tipo de ambiente em que a estrutura estaria inserida corresponde a uma classe de agressividade ambiental II. A edificação em estudo e um empreendimento habitacional com 3 pavimentos e a cobertura. A viga em estudo tem as seguintes características:

- Seção transversal: bw =15 cm, h = 60 cm
- Carregamento: 10 KN/m de carga uniformemente distribuída
- Concreto: fck= 25 MPa
- Aço : CA-50 (Es= 210 Gpa)
- Área de aço : 7,24 cm²

Cobrimento nominal da barra de aço : 3 cm

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

A viga em estudo foi projetada para a classe de agressividade ambiental II, mas hipoteticamente construída num ambiente marinho com classificação de risco ambiental III.

Por ter sido construída erroneamente em uma classe de agressividade ambiental superior a projetada, existe uma grande possibilidade de que haja a penetração de sais de cloreto, e que venham a romper a camada de óxido que protege a armadura, ocasionando a perda de sua área efetiva de aço, tanto de forma localizada ou distribuída ao longo da seção da peça.

Segundo Fusco (2012), decorrentes da grande alcalinidade presente no meio, as armaduras estão protegidas da corrosão pelo fenômeno da passivação do aço, tratando-se de um meio altamente alcalino, o *pH* da água existente nos poros pode atingir valores próximos a 12,5.

A alcalinidade provem da fase líquida que constitui os poros do concreto, dessa forma, as armaduras presentes no interior do concreto, em meio alcalino está protegida da corrosão. Devido à presença de uma capa ou película protetora de caráter passivo, que envolve a armadura, é a chamada proteção química. A película passiva é a grande defesa da armadura e a garantia de que esta não sofrerá corrosão (HELENE, 1986).

Segundo Fusco (2012), a corrosão das armaduras dentro do concreto somente poderá ocorrer se esta película protetora for destruída, ocorrendo de modo generalizado em virtude de três diferentes causas:

- Quando o pH presente no meio atinge valores inferior a 9, este, por efeito da carbonatação da camada de cobrimento da armadura;
- Presença de uma quantidade suficiente de íons cloreto, ou de poluição acima de um valor critico;
- Lixiviação do concreto na presença de fluxos de água que percolem através de sua massa.

3.1 FISSURAÇÃO EM PEÇAS ESTRUTURAIS

Segundo a NBR 6118/2007 a fissuração em elementos estruturais de concreto armado (armadura passiva), torna-se inevitável pela baixa resistência a tração que o concreto apresenta. A abertura máxima característica das fissuras não devem exceder valores da ordem entre 0,2 mm a 0,4 mm, conforme tabela 01 abaixo, onde não caracterizam a perda da durabilidade ou a perda de segurança quanto aos estados limites últimos.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	--
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação freqüente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação freqüente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação freqüente
		ELS-D[1)]	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D[1)]	Combinação freqüente

[1)] A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com a_p = 25 mm (figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

TABELA 01: EXIGÊNCIAS DE DURABILIDADE RELACIONADAS Á FISSURAÇÃO E A PROTEÇÃO DA ARMADURA, EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL.
FONTE: ABNT NBR 6118/ 2007.

3.1.1 Verificação do estado limite de fissuração da viga projetada na classe de agressividade II, construída na classe de agressividade ambiental III

Para a apresentação dos resultados foi utilizado os métodos de calculo do livro de Roberto Chust Carvalho e Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho, Calculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado, que atende os requisitos da NBR 6118/07.

A NBR 6118/07 impõe um limite máximo para esta perda de área de aço, não ultrapasse o valor de 25% de sua área inicial, caso isso ocorra deverão ser complementadas ou substituídas, ou ainda a projeção de uma nova altura útil da viga.

Baseado nestes dados criou-se 5 situações de perda de aço, onde inicialmente este valor era de 7, 24 cm² passou a ser 6,88 cm² com 5 % de perda, 6,52 cm² para 10 %, 6,15 cm² para 15 %, 5,79 cm² para 20 % e 5,43 cm² para a situação onde a viga perderia 25 % de sua área efetiva de aço.

4 COMPARATIVO RESULTADOS DA VIGA CONSTRUÍDA NA CLASSE DE AGRESSIVIDADE III

A fissuração excessiva de uma peça em concreto armado pode comprometer significativamente a sua durabilidade. Embora não seja a única causa ou condição necessária pode-se dizer que quando sua ocorrência existe grande risco de haver uma degradação rápida do concreto superficial e da armadura.

Por varias razões o efeito da água do mar sobre o concreto merece atenção especial, a maioria das águas marítimas são razoavelmente uniformes quanto a composição química. A corrosão da armadura é geralmente a principal causa da deterioração das estruturas de concreto armado e protendido expostas á água do mar, mas em concreto de baixa permeabilidade esta não parece ser a primeira causa da fissuração.

Um dos fatores mais importantes, talvez o maior deles, que se deve levar em conta para a durabilidade de uma estrutura de concreto armado, é o cobrimento da armadura. Isso porque a insuficiência do cobrimento pode ser a principal causa da corrosão de armaduras.

Portanto, estas precisam ser devidamente protegidas afim de que não corroam.O próprio material concreto, quando adequado e bem executado, tem a capacidade de proteger física e quimicamente a armadura de tal maneira que impeça a formação de células eletroquímicas e promova a corrosão. A proteção física se dá a partir da impermeabilidade do concreto, quando este possuir boa compacidade, boa homogeneidade e elementos internos adequados. Evita-se, assim, o ataque de agentes agressivos externos, os quais podem estar contidos na atmosfera, em águas residuais, águas do mar, águas industriais, dejetos orgânicos etc.

Conforme tratado anteriormente a armadura é protegida quimicamente quando é conferido ao concreto de cobrimento um caráter alcalino. Essa alcalinidade é garantida pelo hidróxido de cálcio ($Ca(OH_2)$), também conhecido como portlandita, que é solúvel em água e preenche os poros do concreto. Ele é produzido nas reações de hidratação dos silicatos de cálcio ($C_3S\ e\ C_2S$), contidos nos grãos do cimento. Em suma, a função do cobrimento de concreto é proteger a película protetora da armadura, proporcionada pelo hidróxido de cálcio.

A proteção da armadura depende das características do próprio concreto e de sua propriedade, porém, para que seja mantido o mesmo nível de proteção em diferentes concretos, há necessidade de diferentes cobrimentos. Por exemplo, em ambientes mais agressivos há necessidade de concretos menos porosos e cobrimentos maiores. Mas, nem sempre, quanto maior o cobrimento, mais eficaz ele será.

VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO NO ESTÁDIO II, DE UMA VIGA DE CONCRETO ARMADO, EXECUTADA FORA DA CLASSE DE NORMA

Como foram expostas anteriormente, quando o concreto não for adequado ou quando não cobre (ou cobre deficientemente) a armadura de maneira a não evitar a corrosão, as conseqüências podem ser progressivas. Das fissuras, as estruturas de concreto podem chegar ao colapso. A partir dos dados obtidos pelos cálculos na analise do estado limite de fissuração no estádio II da viga em estudo criou-se a tabela a seguir:

CASO	CLASSE DE AGRESSIVIDADE	%	AS Proj	AÇO	Mom. Máx. Adm.	q KN. M	C (Cm)	Md serviço	W (mm)
IDEAL	III	100	7,24	CA-50	109,35	10	3	101,46	0,1
1	III	95	6,88	CA-50	100,84	10	3	101,46	0,1
2	III	90	6,52	CA-50	36,68	10	3	101,46	0,11
3	III	85	6,15	CA-50	-	10	3	101,46	-
4	III	80	5,79	CA-50	-	10	3	101,46	-
5	III	75	5,43	CA-50	-	10	3	101,46	-

TABELA 01: COMPARATIVO DO DESEMPENHO PARA PERDA DE SEÇÃO DE AÇO NA CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL III

A partir destes resultados obtidos nota-se que:

A peça estrutural foi projetada adequadamente, respeitando os requisitos mínimos estabelecidos pela NBR 6118/07, quanto ao cobrimento nominal de 4 cm e FcK de 30 Mpa, a área de aço efetiva foi preservada em 7,26 cm², com o mesmo carregamento inicial de 10 Kn.m, obteve uma abertura estimada de fissuração em 0,1 < 0,3 mm, o que não se torna nociva para estrutura por dois princípios básicos: cobrimento superior que os demais casos e Fck do concreto com menor taxa de permeabilidade de agentes agressivos do meio externo.

Conforme citado anteriormente, as conseqüências de um ataque corrosivo advindo de um meio externo são incalculáveis por vários fatores como a taxa de agressividade do meio, velocidade de corrosão, etc. Baseado em dados empíricos, para que se pude-se analisar o comportamento frente ao estado limite de fissuração de uma estrutura, estes fatores foram desprezados, e atribuídos casos de perda de seção sob o ataque de maresia. Obteve-se os seguintes dados para os casos a seguir:

- Caso 1: A peça estrutural como nos casos a seguir, perdeu área de aço efetiva pela ação da classe de agressividade ambiental em que foi erroneamente construída. A peça estrutural passou a ter apenas 95% (por cento) de sua área efetiva de aço o que através de

cálculos mencionados anteriormente caracteriza uma perda considerável no seu estado de utilização, passando a resistir a apenas 100, 84 kn.m de momento Máximo negativo. Vale ressaltar a permanência do estado limite de fissuração em 0,1 mm< 0,3 mm, ou seja a fissuração não seria nociva para a estrutura mesmo mediante perda de seção de aço.

- Caso 2: Assim como nos casos anteriores a fissuração possível encontrada não ultrapassa os valores máximos do estado limite de serviço. Mas vale ressaltar que a peça em estudo passou a ter apenas 90% (por cento) de sua área efetiva de aço, resistindo a apenas a 36,68 KN.m de momento máximo negativo, ou seja a peça resistiria apenas a aproximadamente 34% (por cento) de sua exigência quanto a solicitação de cargas.

A partir do caso 3 ao caso 5 tornou-se impossível calcular a fissuração possível na viga devido à perda de seção de aço efetiva. A perda da área de aço impossibilitou que os cálculos fossem realizados, pois conforme cálculos mencionados anteriormente a linha neutra da viga obteve valores negativos, ou seja, pela seção de aço existente, haveria a necessidade de realizar novos cálculos para determinação de uma nova altura, capaz de resistir aos esforços solicitantes na viga.

Vale ressaltar que mesmo atendendo ao estado limite de fissuração em ambos os casos calculados, a construção foi feita sem atendimento aos requisitos mínimos da NBR 6118/2007. A viga em questão irá trabalhar sobre efeito de fissuração com recobrimento inferior ao recomendado, podendo haver uma maior taxa de penetração de cloreto, tanto pela fissuração, quanto pelos poros existentes na massa do concreto.

Conforme já citado anteriormente, a permeabilidade a água e agentes agressivos, são fundamentais para determinação da taxa de agressividade no aço presente na peça, uma vez que se tenha uma maior permeabilidade torna-se possível a corrosão da armadura.

5 CONCLUSÃO

A falta de durabilidade das estruturas de concreto, devido à corrosão do aço, está associada, em grande parte, pela proteção inadequada das armaduras, uma vez que a camada de cobrimento é insuficiente ou apresenta má qualidade. Essa deficiência é causada, em geral, pelo conhecimento escasso do tipo de ambiente na qual se encontra a estrutura, pelas especificações em projeto de forma inadequada e pela má execução das construções. A verificação do desempenho da estrutura quanto ao estado limite de fissuração é um parâmetro que deve ser utilizado pelos calculistas a fim de evitar danos futuros para as estruturas.

Portanto, foi possível verificar nesse trabalho que se um cobrimento de concreto mal especificado ou mal executado, pode ter conseqüências desastrosas, além dos danos a própria estrutura como a fissuração, destacamento do aço, lascamento do concreto e a própria corrosão das armaduras, pode ainda colocar em risco os possíveis usuários da edificação . A queda da durabilidade das estruturas devido a corrosão de armadura e sua perda de seção das estruturas, podem gerar altos gastos em reparos ou provocar o colapso da mesma. É necessário investigar o teor de penetração de cloretos para se prever uma intervenção e a possível causa deste agente agressivo na estrutura mal dimensionada ou executada.

Segundo tratado na NBR 6118/2007, as estruturas devem garantir aos seus usuários a máxima segurança. No entanto para que isso ocorra é necessário ater-se a alguns critérios já no dimensionamento da estrutura, na determinação correta da classe de agressividade ambiental em que a mesma será futuramente construída, com esta informação é possível determinar a resistência do concreto, cobrimento nominal da barra de aço e o fator água/cimento, este ultimo decisivo na permeabilidade do concreto.

Com base nesse estudo, sugere-se para as futuras pesquisas:

- Determinar a taxa de penetração de cloretos;e
- Determinar a velocidade de corrosão.

6 REFERÊNCIAS

ADÃO, Francisco Xavier; HEMERLEY, Adriano Chequeto. **Concreto armado, novo milênio, cálculo prático e econômico**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios . Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia de concreto armado**. São Paulo: PINI, 1998.

CASCUDO, O. **O Controle da corrosão de armaduras em concreto:** inspeção e técnicas eletroquímicas. Goiânia, 1997

CHUST, Roberto C.; FIGUEIREDO, Jasson R.. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 3 . ed. São Paulo: edUfScar, 2001.

_____.**Cálculo de detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 3 . ed. São Paulo,: edUfScar,2004.

FUSCO, Péricles B. **Tecnologia do concreto estrutural**. 2. ed. São Paulo: Pini,2004.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 4◦ed. Rio de janeiro: Editora LTC, 2003.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Pini, 1986.

LIBERATI, Elyson A. P. et. al. **Análise probabilística da corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado submetidas à penetração de cloretos.** Anais do Congresso Brasileiro do Concreto. Rio Grande do Sul, 55°, out. 2013.

MONTEIRO, Paulo J. M; MEHTA, P. KUMAR. **Concreto, Estrutura Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MORAIS, Tereza Rachel Coelho. et. al. **Conseqüências desastrosas de um projeto estrutural inadequado.** Anais do Congresso Brasileiro do Concreto. Rio Grande do Sul, 55°, out. 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2ª Ed. São Paulo: Pini, 1997.

SANTOS, Ivan H. L ; RIBEIRO, Daniel V. **Influência da porosidade na vida útil das estruturas de concreto frente à migração de** . Anais do Congresso Brasileiro do Concreto. Rio Grande do Sul, 55°, out. 2013.

SILVA, P. F. A . **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado Aparente Em Atmosfera Urbana.** 1 ed. São Paulo: Pini, 1995.

THOMAZ, Eduardo C. S; CARNEIRO, Luiz A. V. **Avaliação de abertura de fissuras de cisalhamento em vigas de concreto armado.** Anais do Congresso Brasileiro do Concreto. Rio Grande do Sul, 55°, out. 2013.

VILASBOAS, J. M. L. **Durabilidade das Edificações de Concreto Armado em Salvador**- uma contribuição para a implantação da NBR 6118:2003. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

VILASBOAS, José; MACHADO, Sandro ; PINTO, Silas**. Deposição de cloretos na cidade de salvador**: Proposta para avaliar a agressividade ambiental nas estruturas de concreto armado. Anais do Congresso Brasileiro do Concreto. Rio Grande do Sul, 55°, out. 2013.