

FISSURAÇÃO DAS PEÇAS DE CONCRETO
ARMADO E CORROSÃO DAS ARMADURAS (1)

Eng.º Antonio Carmona Filho (2)

Eng.º Paulo R. L. Helene (3)

RESUMO

A ocorrência de fissuras nas estruturas de concreto armado é algo inerente ao material que as compõem. Razões diversas nos levam a controlar a fissuração, visto esta não poder ser evitada. O motivo condicionante fundamental para definição destes limites é função da vida útil das armaduras. Neste trabalho se procura fazer uma breve resenha das limitações e recomendações feitas por normas, códigos e a própria NBR-6118, sobre a fissuração em peças fletidas procurando-se depois relacioná-las com o fenômeno da corrosão das armaduras. Espera-se com estas considerações fornecer subsídios para projetos e execução de obras de concreto armado, de forma a reduzir os riscos de corrosão das armaduras.

ABSTRACT

CRACKING IN REINFORCED CONCRETE AND
CORROSION IN STEEL BARS

Cracking is always expected in reinforced concrete. Several reasons lead us to control the cracking that can't be avoided. The main cause to define those limits is the function of corrosion in steel bars. The purpose of this work is to provide subsidies to projects and construction so as to reduce the danger from corrosion in the steel bars. The work consists of a critical review of the recommendation from standards, codes and norms specifically the NBR-6118 aiming at establishing the relationship between the corrosion and cracking.

1. INTRODUÇÃO

O aparecimento de fissuras nas estruturas de concreto armado é inerente aos materiais que as compõem.

A utilização de aços de elevada resistência como o são o CA 50 e o CA 60, implica em deformações importantes no concreto que envolve essas armaduras superando, na maioria das vezes, a resistência à tração do concreto. Superada essa capacidade de absorção de deformações o concreto se rompe e fissa.

Projetar uma estrutura de modo que a máxima deformação do aço não ultrapasse a correspondente à ruptura à tração do concreto, implica num grande desperdício da capacidade resistente das armaduras e conseqüentemente num aumento dos custos da estrutura.

Na maioria dos casos a fissuração só é totalmente evitada em obras de concreto protendido, pela introdução de uma pré-compressão, e em obras especiais de contenção de líquidos agressivos.

O concreto armado pode fissurar por diferentes razões, entre as quais se destaca:

- a) Atuação de cargas permanentes ou acidentais que dão origem a esforços de flexão, de tração, de cisalhamento ou de torção. As fissuras resultantes podem ser ortogonais ao eixo da peça no caso de flexão e tração, ou inclinadas no caso de cisalhamento ou torção;

(1) Contribuição Técnica a ser apresentada no 2º Seminário Nacional de Corrosão na Construção Civil, realizado nos dias 22 e 23 de Setembro, no Rio de Janeiro.

(2) Professor Titular da ESCOLA DE ENGENHARIA da FUNDAÇÃO ARMANDO ÁLVARES PENTEADO-FEFAAP, e Diretor da EXATA ENGENHARIA E ASSESSORIA S/C LTDA. - Projetos e Estruturas.

(3) Professor da ESCOLA POLITÉCNICA da UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - EPUSP, e Engenheiro Consultor do INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO EST. DE SÃO PAULO-IPT.

- b) Ação de recalques diferenciais das fundações que podem fissurar as peças. Estas fissuras se manifestam também de forma preferencialmente inclinada;
- c) Ações resultantes da movimentação térmica, da retração e da deformação lenta do concreto que induzem deformações não suportáveis pelas peças, devido às suas próprias constituições internas ou devido as condições de apoio das mesmas;
- d) Esforços decorrentes do assentamento ou retração plástica do concreto dentro das formas, restringido pela eventual rigidez das armaduras.
- e) Ações e esforços decorrentes dos fenômenos de corrosão das armaduras, reações químicas de expansão, reações químicas entre álcalis e agregados etc..

A fissuração devida à atuação das cargas é a única passível de ser controlada através do cálculo estrutural, conhecendo-se e definindo-se a "priori" a abertura de fissuras aceitável para uma dada situação. É deste caso que se trata, preferencialmente, nestas considerações. As fissuras decorrentes dos demais esforços e ações atuantes são evitadas ou minimizadas, através de premissas de projeto, especificação de materiais, técnicas de execução e manutenção da estrutura, não sendo possível controlar a fissuração decorrente. Apesar que em muitos casos, talvez até a maioria das vezes, são estas fissuras que mais comprometem a durabilidade das estruturas, não serão tratadas em profundidade neste trabalho.

As fissuras decorrentes da ação de cargas podem ser condicionadas por efeito estético, por razões de desempenho da estrutura em questão (contenção de líquidos, por exemplo) ou mais comumente por razões de durabilidade.

No presente trabalho se analisa e se reúne as recomendações de algumas normas sobre o problema da fissuração de peças fletidas correlacionando-as com o fenômeno de corrosão das armaduras.

2. REVISÃO DAS NORMAS

Foram analisados os seguintes normativos: a Norma Inglesa CP-110/72(1), a Norma Americana ACI 318/83(2), a Norma Francesa BAEL/80(3), o Código Modelo CEB-FIP/78(4), a Norma Espanhola EH/82(5) e a Norma Brasileira NBR-6118/78(6), tornando-se como referencial o oportuno e interessante trabalho de Rodrigues Santiago e Andrade Perdix(7) apresentado no 1º Congresso Mundial de Patologia em Barcelona - Espanha, em 1984.

2.1 Influência do meio ambiente

Considerando que a agressividade do ambiente tem influência preponderante na durabilidade das estruturas, as diferentes normas estabelecem pelo menos quatro tipos de ambientes, classificados segundo a agressividade às estruturas.

Na Figura 1 apresenta-se uma síntese dos diferentes ambientes considerados.

A maioria das normas, inclusive a NBR-6118, considera somente os três primeiros ambientes. Apenas o CP-110/72 inclui o ambiente de agressividade muito forte. A NBR-6118 considera apenas os três primeiros ambientes quanto à abertura de fissuração e os quatro no caso da espessura mínima do cobrimento além de considerar peça protegida aquela que recebe um revestimento de argamassa de pelo menos 10 mm de espessura.

AGRESSIVIDADE	CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO	EXEMPLOS
Nula ou fraca I	<ul style="list-style-type: none"> Interiores secos Exteriores protegidos em atmosferas rurais 	<ul style="list-style-type: none"> salas, quartos e corredores marquise cobertas
Média II	<ul style="list-style-type: none"> Peças no interior com muita umidade Peças à interperie em atmosferas rurais Fundações em terrenos não agressivos Estruturas permanente submersas em água doce não agressiva 	<ul style="list-style-type: none"> banheiro, cozinha, área de serviço Galpões, estábulos Fundações em argila e areia secas Pilares, blocos em represas
Forte* III	<ul style="list-style-type: none"> Estruturas em atmosferas urbana, industrial ou marinha Fundações em terrenos agressivos 	<ul style="list-style-type: none"> São Paulo, Curitiba, Vitória e etc. Ácido úmido de argila orgânica, terrenos industriais
Muito Forte	<ul style="list-style-type: none"> Estrutura em contato com ácidos sais agressivos ou no nível de variação da maré Estruturas em atmosferas viciadas 	<ul style="list-style-type: none"> Tanques e pisos de galvanoplastia e curtumes Cais de porto marítimos Coletores e interceptores de esgoto

* Geralmente se incluem aqui as estruturas de contenção de líquidos e gases, não tanto pela agressividade, mas principalmente pelas exigências de estanqueidade.

Fig. 1 - Classificação dos ambientes quanto à agressividade às estruturas.

2.2. Cobrimentos mínimos e qualidade do concreto

As normas citadas recomendam cobrimentos mínimos às armaduras, entendido como a mínima distância livre entre a armadura mais externa e a face exterior da peça de concreto.

As espessuras de cobrimento são determinadas por um lado pelo ambiente no qual se situa a peça, e por outro lado, pela espessura de concreto adequada para absorver e transferir as tensões tangenciais periféricas de interação entre a armadura e o concreto. Neste caso todas as

normas coincidem em exigir pelo menos que a espessura (C) do cobrimento seja pelo menos igual ao diâmetro (ϕ) da armadura, ou seja, $C \geq \phi$.

Na Figura 2, apresenta-se os valores limites superior e inferior da espessura do cobrimento de concreto às armaduras segundo as diferentes normas. Pode-se observar nessa figura que a NBR-6118 se coloca entre as normas mais tolerantes, permitindo espessuras de cobrimento de apenas 5 mm.

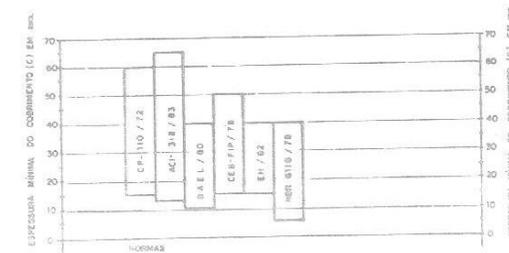


Fig. 2 - Limites de variação da espessura mínima do cobrimento segundo as diferentes normas.

Para fins de comparação mais exata, apresenta-se na Figura 3 a variação dos valores mínimos de cobrimento em função do tipo de peça de concreto armado, do tipo ambiente e da bitola da armadura, recomendados pelo ACI 318/83 e pela NBR-6118/78, comprovando-se o menor rigor desta última, quanto às exigências de durabilidade.

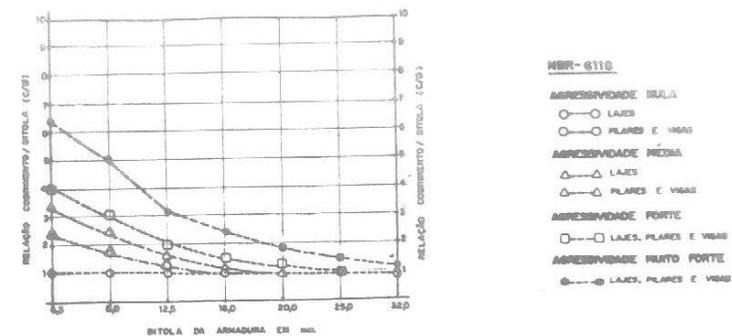


Fig. 3 A - Variação do cobrimento mínimo em função da bitola, do ambiente e da peça considerada, de acordo com a NBR-6118/78.

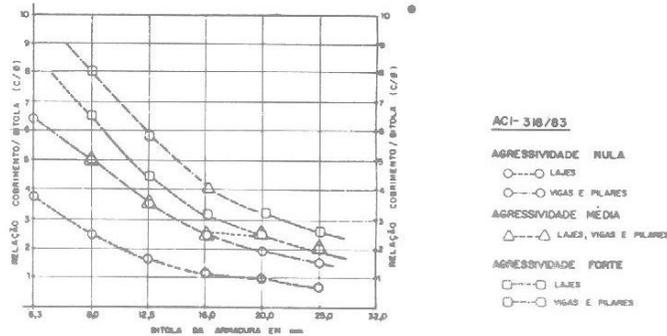


Fig. 3 B - Variação do cobrimento mínimo em função da bitola, do ambiente e da peça considerada, de acordo com a ACI-318/83.

Quanto à qualidade do concreto de cobrimento não há uma uniformidade entre as normas. Enquanto a NBR-5118/78 e a EH/82 recomendam apenas que o concreto tenha mais de 300 kg e 250 kg de cimento por m³, respectivamente, a norma ACI-318/83 limita a relação água/cimento a um máximo de 0,40 (agressividade muito forte) ou de 0,45 se aumentar de 1,3 vezes o cobrimento mínimo recomendado.

Na Figura 4 apresenta-se as recomendações das normas mais rigorosas com relação à qualidade e ao cobrimento de concreto.

Agressividade do Ambiente	ABR-80	UBS-FIP / 78		CP-110/72	
	consumo mínimo de cimento por m ³ de concreto.	Resistência característica	correção do cobrimento.	Consumo de cimento	rel. água/cimento
Nula ou Fraca	---	≤ 20 MPa	+5mm	≥ 250 kg/m ³	-
		≥ 40 MPa	-5mm	≥ 230 kg/m ³	≤ 0,65
Média	≥ 300 kg/m ³	≤ 20 MPa	+5mm	≥ 290 kg/m ³	-
		≥ 40 MPa	-5mm	≥ 260 kg/m ³	≤ 0,55
Forte	≥ 385 kg/m ³	≤ 20 MPa	+5mm	≥ 360 kg/m ³	-
		≥ 40 MPa	-5mm	≥ 330 kg/m ³	≤ 0,45

Fig. 4 - Algumas exigências de qualidade do concreto de cobrimento.

O guia para obtenção de estruturas duráveis de concreto armado, na sua parte referente à proteção da armadura, publicado em redação preliminar em abril de 1.984 (8), é bastante completo, indicando consumo mínimo de 300 kg de cimento por m³, relação água/cimento ≤ 0,6 para todos os casos e ≤ 0,5 quando em atmosfera que contenha cloratos (com fck ≥ 35 MPa) uso de pastilhas e espalhadores além da cura adequada da superfície.

Esses cuidados vêm de encontro à nossa experiência na medida em que se verifica que as técnicas de execução acabam sendo, muitas vezes, mais determinantes da qualidade final do cobrimento que a sua pura e simples espessura. A escolha adequada da dimensão máxima do agregado graúdo, a consideração do teor da argamassa e do efeito parede, os cuidados com a absorção e estanqueidade das formas, a cura das superfícies verticais por pelo menos 21 dias e a escolha do tipo de cimento, jogam importante papel na proteção contra a corrosão das armaduras (9).

Finalmente cabe ressaltar a maior ou menor suscetibilidade das armaduras frente à corrosão. Barras e fios de pequena bitola ($\phi \leq 5$ mm) e da classe B são sempre mais sensíveis à corrosão que as barras de bitola mais grossas. Com vistas a essa questão o CEB-FIP/78 separa em dois grupos: um das barras e fios com bitola ≤ 4 mm, da classe B, ou seja, trefilados, e frio e outro grupo das demais barras e bitolas.

Considera os primeiros com risco maior de corrosão e com maiores consequências caso venham a corroer-se, impondo cobrimentos maiores (aumentados de +10 mm) qualquer que seja o ambiente e situação da peça.

2.3. Estados limites de fissuração

Os diferentes códigos existentes prevêm a utilização do cálculo em estado limite último para o projeto e cálculo das estruturas de concreto. Entre os estados limites verificados, temos o estado limite de fissuração, que corresponde a um estado controlado de abertura de fissuras, ou seja, um controle da abertura característica w_k frente a um estado de carga especificado.

Para a verificação do estado de fissuração se utiliza o carregamento real efetivamente aplicado sobre a estrutura, ou seja, um coeficiente de segurança igual a unidade.

Quanto a combinação de carregamentos, para esta verificação, nota-se uma certa discrepância em relação as diversas normas consultadas, como podemos verificar na Figura 5.

NORMA	COMBINAÇÃO DE CARREGAMENTOS		
CP-110	G + Q	G + W	G + 0,8 (Q + W)
BAEL-80	G + Q + 0,9(W+N)	G + Q + W + N	$0,8 \leq \psi \leq 1,0$
ACI-318/83	G + Q + W		
CEB/FIP-78	G + Q ₁ + Q _i x ψ_{1i} (pouco frequentes)	G + ψ_{1i} x Q ₁ + Q _i x ψ_{2i} (frequentes)	
EH/82	G + Q	0,9 x (G + Q + W)	
NBR-6118	G + α Q ₁ + 0,8 α \sum Q _i (pouco frequentes)	G + α Q (frequentes)	

Fig. 5 - Combinação das ações relativas ao estado limite de fissuração.

Onde: G = Ações permanentes
 Q = ações acidentais
 Q₁ = ação acidental básica ou principal
 Q_i = ações acidentais secundárias ou de acompanhamento
 W = ação acidental do vento (aleatória)
 N = ação acidental da neve (aleatória)

A NBR-6118/78 assim como o código modelo faz uma diferenciação entre as cargas acidentais frequentes e as pouco frequentes, sendo o coeficiente ψ_{1i} e ψ_{2i} dado na tabela da figura 6, enquanto que o valor de α da NBR-6118 deve ser tomado como sendo 0,7 para os edifícios e, 0,5 para as demais estruturas. A carga Q₁ é denominada de carga acidental principal. A NBR-6118 não leva em consideração o vento para efeito da combinação de cargas.

Ações	ψ_{1i}	ψ_{2i}
residenciais	0,4/0,7	0,2/0,4
escritórios	0,6/0,8	0,3/0,4
comerciais	0,6/0,9	0,3/0,4
estacionam.	0,7	0,6
vento e neve	0,2	0

Fig. 6 - Coeficientes das ações variáveis, de acordo com o código modelo.

A abertura w_k calculada com a combinação de carregamentos discutida deve ser comparada com os valores limites previstos em cada uma das normas.

Nas normas, os valores de abertura máxima permitida oscilam entre 0,3 e 0,4 mm e esta limitação máxima cremos deva ser entendida mais como uma razão de ordem estética do que propriamente por razões de proteção das armaduras quanto a sua durabilidade.

Lembramos que as fissuras aqui discutidas são as perpendiculares às armaduras, visto as longitudinais não terem sido até agora discutidas nas normas internacionais.

Damos a seguir na Figura 7 as aberturas máximas de fissuras nas várias normas estudadas.

AMBIENTE DE ACRESSIVIDADE	CP-110/78	ACI 318/83	CEB-FIP 78	EH 82	NBR 6118/78
Fraca ou Nula	$\leq 0,3$	$\leq 0,41$	$\leq 0,4$	$\leq 0,3$	$\leq 0,3$ mm $\leq 0,37$ mm+
Média	$\leq 0,3$	0,33	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$ mm $\leq 0,25$ mm+
Forte	$\leq 0,004C$ ++	+++	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$ mm $\leq 0,12$ mm+

Fig. 7 - Aberturas máximas de fissuras das diversas normas.

+ desde que o cobrimento efetivo supere o número recomendado em 25%.

- C. é o valor correspondente ao cobrimento da armadura e a abertura correspondente se refere a um ponto da superfície do concreto próximo da armadura tracionada. (++)

- O ACI-318/83 não limita as aberturas para o ambiente fortemente agressivo, porém o ACI-224 R-80 (14) limita a 0,15 as estruturas parcialmente submergidas na água do mar e 0,1 de concentração de água. (+++)

- Os valores relacionados para o código modelo podem ser aumentados em função de relação C/C_{min} e são válidos para o caso da combinação de cargas frequentes, armaduras pouco sensíveis à corrosão, e o ponto analisado é aquele que se encontra na superfície do concreto próximo à armadura.

2.4. Cálculo do valor característico da abertura de fissuras.

De forma a verificar o desempenho da expressão da NBR-6118 em relação às expressões correspon-

dentes as outras normas vigentes, fazemos um breve estudo de peças sujeitas a flexão face a cargas externas, visto este ser o caso mais comum na prática.

Nas figuras 8 e 9 mostramos os valores de abertura de fissuras obtidos nos vários códigos. As figuras mostram as aberturas de fissuras para dois casos comuns da prática, uma laje maciça e uma viga retangular utilizadas comumente nas edificações. O estudo foi feito utilizando-se uma tensão em serviço de 28 KN/cm² que corresponderia a um aço do tipo CA 50 trabalhando com certa folga.

Verifica-se pelas figuras que a discrepância entre as diversas normas é bem patente no caso da laje e bem menos no caso das vigas.

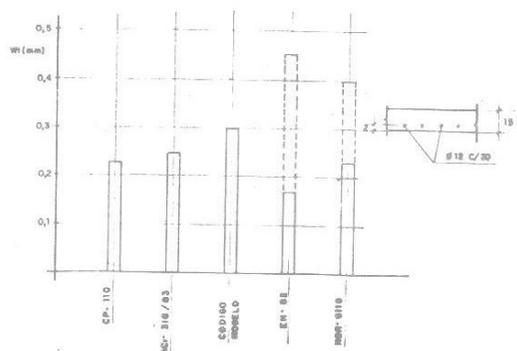


Fig. 8 - Abertura de fissuras nos diversos códigos para uma laje.

Foi colocada em linha tracejada a abertura calculada pelo item 44.3. de EN/82 e em traço contínuo pela expressão de Ferry Borges, no caso da NBR-6118 a parte tracejada é a abertura para o controle assistemático e em traço contínuo para o sistemático.

Nos valores calculados não se levou em conta em nenhum caso a colaboração do concreto tracionado.

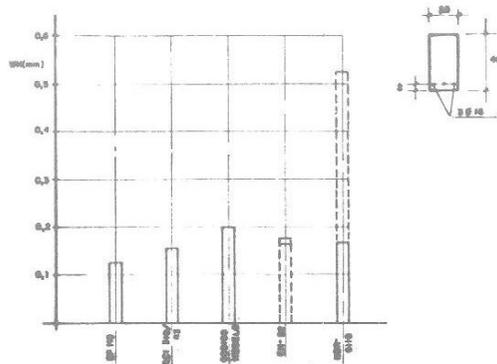


Fig. 9 - Abertura de fissuras nos diversos códigos para uma viga.

A abertura máxima de fissuras implica numa limitação da tensão de serviço das armaduras. É muito comum ter-se que aumentar a quantidade de armadura, quando se faz a verificação à fissuração, principalmente quando temos ambientes agressivos e, portanto baixas limitações para a abertura de fissura.

Com o fim de se ter uma idéia da variação da tensão da armadura em função da abertura de fissura e da quantidade de armadura, podemos observar os diagramas das figuras 10, 11, 12 e 13.

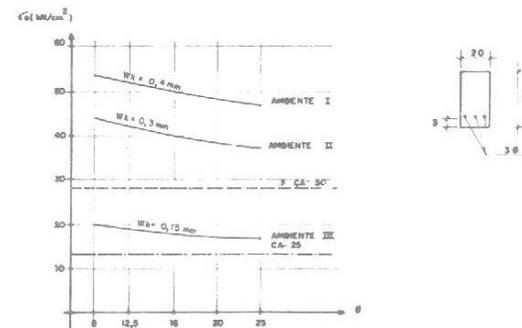


Fig. 10 - Tensão na armadura em função da abertura de fissura e da quantidade de aço e bitola, de acordo com ACI 318/83 e ACI-224 R-80.

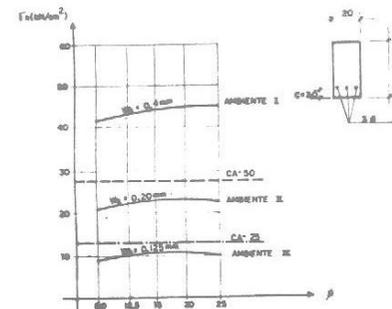


Fig. 11 - Tensão na armadura em função da abertura de fissura e da quantidade de aço e bitola, de acordo com o código modelo CEB-FIP.

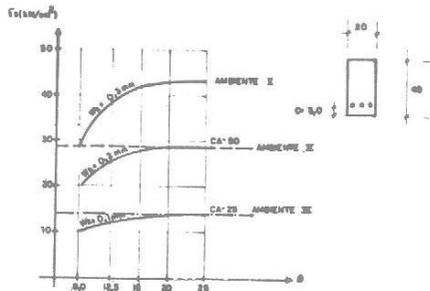


Fig. 12 - Tensão na armadura em função da abertura de fissura e da quantidade de aço e bitola, de acordo com a EH-82 (Art. 44.3.).

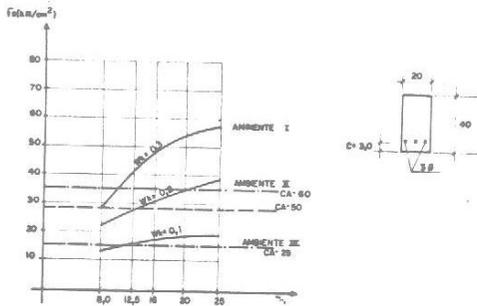


Fig. 13 - Tensão na armadura em função da abertura de fissura e da quantidade de aço e bitola, de acordo com a NBR-6118/78.

As expressões utilizadas para a determinação das tensões na armadura de fissuras, são as abaixo:

+ CP-110

$$\sigma_s = \frac{E_s \times w_k}{3 C}$$

+ ACTI-318/83

$$\sigma_s = \frac{E_s \times w_k}{2,64 \times \sqrt{d_c \times A}} \quad \text{onde } d_c = \frac{\phi}{2} + c \quad A = \frac{2 d_c \times b}{n}$$

+ EH-82 (Art. 44.3.)

$$\sigma_s = 3,57 \times \frac{E_s \times w_k}{\phi \left(\frac{1}{\rho_c} + 10 \right)}$$

+ EH-02 (Ferry Borges)

$$\sigma_s = \frac{w_k \times 10^6}{1,5 \times C + 0,04 \times \frac{L}{\rho}} + \frac{7,5}{\rho} \quad \text{para } \rho \leq 0,01$$

+ Código Modelo

$$\sigma_s = \frac{E_s \times w_k}{3,4 \times C + 0,345 + 0,085 \times \frac{L}{\rho r}}$$

+ NBR-6118/78

$$\sigma_s = \frac{w_k \times (2 \times \eta b - 0,75) \times E_s}{\beta \times \left(\frac{0,4}{\rho r} + 4,5 \right)} \quad \text{(Controle Sistemático)}$$

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{w_k \times (2 \times \eta b - 0,75) \times E_s \times f_{tk}}{0,3 \times \beta}} \quad \text{(Controle Assistemático)}$$

Onde: σ_s = tensão de trabalho das armaduras

w_k = abertura da fissura

ϕ = diâmetro das barras

n = número de barras

E_s = módulo de elasticidade do aço

C = cobrimento das armaduras

S = distância de separação das armaduras

ρ, ρ_c, ρ_r = taxa de armadura definida em cada código

b = largura da viga

f_{tk} = tensão característica de ruptura a tração do concreto

η = coeficiente de conformação superficial

As variáveis, que influem no valor da tensão das armaduras, são evidentemente a abertura da fissura, a taxa da armadura, e o diâmetro. É evidente que à abertura maior de fissura corresponderá a uma maior tensão, e que o cobrimento também exerce a função de reduzir a tensão quando se aumenta o respectivo cobrimento, fator este não considerado na expressão da NBR - 6118.

Na figura 13 se pode observar as tensões na armadura para a peça dada em função da abertura de fissura máxima e da bitola da armadura e taxa de armadura, é importante notar que colocamos as retas correspondente aos aços do tipo CA 60, CA 50 e CA 25 em todos os pontos abaixo das retas mencionadas a utilização daquele aço fica prejudicada, uma vez que este não pode.

ser utilizado em toda a sua capacidade. O ideal seria utilizar aços que ficassem abaixo da curva de tensões da armadura de forma a poderem ser utilizados economicamente, é claro que nestes casos não haveria necessidade de se colocar armadura adicional para combater a fissuração, sendo a dimensionada suficiente.

Notar ainda que face a inclinação da curva o importante significado da variação do diâmetro e da taxa de armadura no caso da NBR-6118, visto estes fatores serem decisivos na variação da tensão, no caso dos outros códigos vemos que este fator não é tão importante.

3. CORRESPONDÊNCIA ENTRE FISSURAÇÃO E CORROSÃO DE ARMADURAS

3.1. Características do processo de corrosão das armaduras

O concreto de cimento Portland é um ótimo protetor das armaduras contra a corrosão devido principalmente às suas características químicas de elevada alcalinidade proporcionada pela portlandita liberada das reações de hidratação do cimento. Em segundo lugar, o cobrimento de concreto atua também como uma barreira física entre o ambiente (agressivo) e a armadura. A existência de fissura quebra essa dupla proteção física e química colocando - em princípio - em risco a armadura.

Se o concreto de cobrimento permanece compacto e contínuo e não há elementos agressivos incorporados na massa a armadura permanece protegida e passivada indefinidamente. Três são os mecanismos principais de desencadeamento de um processo corrosivo: a queda da alcalinidade elevada ou carbonatação, a presença de cloretos ou a ruptura mecânica da espessura do cobrimento de concreto.

A carbonatação do concreto se dá através da reação dos compostos alcalinos do concreto - a portlandita ou hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - com as substâncias ácidas do ambiente principalmente o gás carbônico CO_2 e o dióxido de enxofre SO_2 . Essas reações que se dão em presença de certa umidade dão origem a sais - tal como o CaCO_3 - que tem pH abaixo de 9 e consequentemente despassivam a armadura permitindo a sua corrosão.

Essa perda de proteção progride da superfície para o interior das peças de concreto numa velocidade que se reduz com o tempo segundo a fórmula (10) $x = k \sqrt{t}$ onde x = espessura carbonatada, k = constante que depende do concreto e do ambiente e, t = tempo.

Quando existem fissuras essas reações de carbonatação e neutralização (redução da alcalinidade) se produzem também nos lábios da fissura conforme indicada na figura 14.

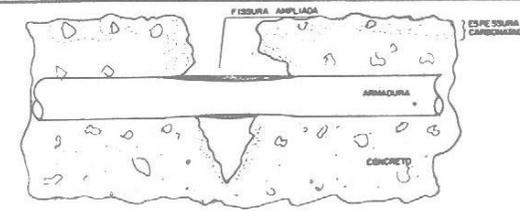


Fig. 14 - Indicação esquemática do avanço da neutralização ou carbonatação do concreto com o tempo.

Na região onde a fissura alcança a armadura há uma despassivação desta formando nesse local um anodo e atuando o resto da barra no entorno, como um cátodo. Os produtos de corrosão do aço têm volume de 8 a 10 vezes superior ao volume do metal que lhe deu origem e podem criar tensões de expansão suficientes para romper o concreto de cobrimento através do fenômeno denominado lascamento. Quando se trata de fissura de pequena abertura e o concreto é resistente pode haver a colmatagem da fissura com os próprios produtos de corrosão e estacionar o processo deletério de corrosão.

A velocidade de carbonatação e consequentemente de perda de proteção é maior quando a umidade relativa do ambiente está entre 40 a 80% ao mesmo tempo que ciclos de molhagem e secagem contribuem fortemente para acelerar essa carbonatação.

Da mesma forma o fenômeno de corrosão necessita de água e oxigênio não se manifestando significativamente em ambientes com umidade relativa abaixo de 65% ou quando permanentemente submerso. Novamente ciclos de molhagem e secagem são aceleradores do processo.

A presença de cloretos tanto venham do ambiente exterior (atmosferas marinhas ou industriais) quanto tenham sido incorporados acidentalmente ao concreto (aditivos aceleradores, agregados e águas contaminadas) têm a propriedade de despassivar a armadura de aço mesmo quando imersa num meio altamente alcalino como o do concreto não carbonatado. O cloreto despassiva a armadura e esta passa a corroer-se principalmente quando o concreto do cobrimento é poroso e de elevada relação água/cimento. A presença de cloretos contribui para a aceleração da neutralização do concreto e pode penetrar nas fissuras atingindo mais rapidamente a armadura criando aí uma célula de corrosão eletroquímica por efeito de aeração e concentração salina diferencial. Ciclos de molhagem e secagem podem acelerar essa difusão e penetração de cloretos, que necessitam de um veículo líquido para penetrar no concreto, dando origem a concentrações elevadas desse elemento e ocasionar corrosões localizadas espetacularmente rápidas.

3.2. Relação entre abertura da fissura e corrosão

Considerando que o concreto armado deverá fissurar-se ao ser solicitado, a questão se resume em saber até que abertura de fissura não há uma aceleração significativa do fenômeno de corrosão das armaduras.

É interessante saber, também, se do ponto de vista da durabilidade, é preferível uma série de fissuras de pequena abertura ou um número mais reduzido com aberturas abaixo de certo limite. O ideal seria poder conhecer qual a redução de vida útil da estrutura a partir do número e abertura das fissuras. Para completar, valeria identificar qual as fissuras mais perigosas, as transversais à armadura principal ou as paralelas (longitudinais) a esta?

Beeby (11) relata com propriedade onze experiências levadas a cabo em diferentes países, conduzidas por diferentes pesquisadores com vistas à avaliação da influência da abertura da fissura na velocidade de corrosão das armaduras.

O trabalho experimental mais amplo, sistemático e recente foi realizado na Universidade de Munique sob a supervisão de Schiessl e consistiu no ensaio de vigas em três ambientes: atmosfera urbana, industrial e marinha com abertura de fissuras variando de 0,1 a 0,4 mm. Além dessas variáveis consideraram também a espessura de cobrimento 25 a 35 mm. As vigas foram rompidas e examinadas aos 1, 2, 4 e 10 anos de idade. Nos resultados de dois anos não foram encontrados vestígios de corrosão nas fissuras de 0,1 mm, enquanto que a partir de 0,25 mm todas demonstravam estar atacadas. No entanto - para surpresa geral - os resultados de 10 anos indicaram que não há nenhuma relação entre a abertura da fissura e a redução da seção de aço.

Esses autores concluíram que a vida útil da estrutura pode ser definida pela expressão:

$$\text{Vida útil} \leq t_0 + t$$

t_0 = período para início da corrosão.

t = período do início da corrosão até degradação inaceitável do ponto de vista da corrosão.

Raciocinando dessa forma concluíram que o tempo t é sempre bem maior do que t_0 e que, portanto não há diferença entre aberturas de fissuras de 0,1 e 0,4 mm do ponto de vista da durabilidade.

Carpentier e Soretz (12) ensaiaram vigas armadas submetidas a ambientes corrosivos por 2 anos com fissuras de abertura da ordem de 0,2 a 0,3 mm comprovando que a corrosão é mais intensa quanto maior a abertura da fissura, e quanto mais cedo estas aparecem. Verificaram também que carregamentos alternados (cíclicos) contribuem para aumentar a velocidade de corrosão.

Outro trabalho experimental muito amplo está em andamento na Inglaterra dentro de um programa

denominado "Concrete in the Oceans", motivado pela necessidade da construção de plataformas marítimas de exploração de petróleo no Mar do Norte.

Esse trabalho está sendo desenvolvido e coordenado por Beeby (11) que após algumas experiências e revisão bibliográfica propôs algumas modificações em premissas aparentemente lógicas, a saber.

1º Não há correlação entre fissuras de abertura variando de 0,05 mm a 1,5 mm e a corrosão observada nas armaduras.

Muitas fissuras se auto-colmatam e a corrosão não progride, ou a corrosão se manifesta com a mesma intensidade após grandes períodos de tempo.

2º Outros parâmetros tais como a proporção de cimento por m³, a relação água/cimento, a espessura do cobrimento e a relação cobrimento/bitola são mais importantes que a abertura das fissuras.

3º As aberturas de fissura na superfície do concreto são diferentes da abertura real em contato com a armadura.

4º Conclui que mais importante que projetar para não atingir certa abertura de fissura é fundamental projetar para obter e viabilizar um concreto compacto e resistente, considerando mais lógico classificar a agressividade do ambiente e escolher a qualidade do concreto que tentar controlar a abertura da fissura.

Todas as considerações se referem a fissuras transversais às armaduras, porque são muito raras os ensaios realizados com fissuras longitudinais. Os estudos mais recentes de Wilkins e Leeming relatados por Rodriguez Santiago e Andrade Perdig (7) coincidem que os danos são muito intensos e aparecem antes quando se trata de fissuras longitudinais com qualquer abertura a partir de 0,1 mm.

4. REFLEXÕES SOBRE AS VARIÁVEIS QUE INFLUEM NOS FENÔMENOS

4.1. Mecanismo de fissuração

As fissuras podem ocorrer nas estruturas de concreto armado como resultado de diferentes mecanismos característicos dos materiais componentes.

Pode ocorrer com o concreto ainda fresco, antes do endurecimento ou no concreto já endurecido.

De forma simplificada apresenta-se na figura 15 um resumo dos principais tipos de fissuras, suas causas, exemplos e período mais provável de aparecimento.

Como se nota, as fissuras devidas às cargas atuantes representam apenas uma pequena porcentagem das manifestações prováveis e não devem ser as mais determinantes da redução da durabilidade, uma vez que podem ser calculadas previamente e consequentemente, controladas.

CONCRETO	MECANISMO	CAUSAS PRINCIPAIS	CAUSAS SECUNDÁRIAS	PERÍODO DE APARECIMENTO	EXEMPLOS
FRESCO (antes do início de pega)	Assentamento plástico	excesso de exsudação	secagem/dessecamento rápido	10 min. a 3 horas	· sobre armaduras em lajes e vigas · em arco no topo de colunas · na junção de peças · alt. de conc.
	Retração plástica	secagem/dessecamento rápido	exsudação	30 min a 6 horas	· sobre armaduras em lajes · em placas de piso
Endurecido	Movimento das formas	escorramento insuficiente	lançamento inadequado	imediatamente	· em lateral de vigas e paredes
	fenom. físico	Falta de juntas de movimentação	cura inadequada	semanas ou meses	· em vigas de grande alt. e compr. · em lajes
	fenom. termo-técnico	variação sazonal de temperatura	ausência de proteção térmica.	semanas ou meses	· em muros
		calor de hidratação.	lançamento inadequado.	1 dia ou semanas	· em grandes volumes de concreto
	fenom. químico	corrosão da armadura,	cobrimento insuficiente.	concreto poroso, ambiente muito agressivo, Clor.	· paralelamente à direção da armadura principal
		reação alcali-agregado.	Alcalis em excesso no cimento.	silica reativa.	· em forma de "bê de galinha"
estrutural.	formação de estratringido	sulfatos	porosidade do concreto.	acima de 1 ano	· em forma de "pc de galinha"
	cargas de proj.	cálculo inadequado	ações excepcionais	após cargas	· inclinadas de torção · inclinadas de cisalhamento
	deformação lenta.	concreto de baixa resistência	cargas acima das previstas	acima de 6 meses	· verticais em balanços

Fig. 15 - Mecanismo de Fissuração.

4.2. Cálculo da abertura de fissura

O cálculo de abertura de fissura se faz para uma série de combinações de cargas definidas em cada código e foram resumidas no quadro da figura 5.

Combinar as ações permanentes com uma fração do valor característico das cargas acidentais, de acordo com o tipo de carga e utilização da obra nos parece fundamental, resultando valores menores que os calculados, considerando o valor total característico das cargas.

O acima exposto nos parece perfeitamente coerente, visto a fissuração estar ligada a um estado de utilização e não em limite último de dimensionamento.

O conceito acima, no aspecto filosófico nos parece perfeitamente correto, porém a definição da redução a ser aplicada é o grande problema, pois se trata de definir o valor frequente de uma ação variável.

As fórmulas que permitem calcular a abertura característica da fissura na superfície do concreto são diferentes em cada código. Proporcionam em geral um valor convencional de abertura que não garante em absoluto que não se possa encontrar fissuras reais nas peças maiores do que as calculadas.

As expressões de cálculo de fissuração foram obtidas de forma diversa. Por exemplo, a do código ACI-318/83 foi obtida por Gergeley e Lutz (15), a partir do tratamento estatístico da informação obtida de seis investigadores. Os próprios autores comentam a dificuldade do tratamento da informação função da diferença de tipos de ensaio levados a cabo por cada investigador e a maneira diferente de relacionar as aberturas de fissuras (valores médios ou máximos), e as diferenças devidas a uma série de variáveis que não foram levados em conta.

No caso do CP-110 a expressão foi proposta por Beeby (16) a partir de ensaios realizados em lajes por ele mesmo. Talvez por ter ensaiado lajes é que se distingue neste código o cálculo

da abertura na superfície do concreto, junto a armadura e longe dela, já que é nas lajes onde pode a separação entre as barras ser significativa, e não no caso das vigas.

Em todas as expressões a tensão na armadura é a variável fundamental no cálculo da abertura existindo em todos os casos apresentados no item 2.4. uma relação direta entre a tensão e a abertura de fissura, ou seja, para uma tensão duas vezes maior, corresponderá o dobro da abertura da fissura, portanto, limitar a abertura de fissura significa mais propriamente uma limitação na tensão da armadura.

A abertura de fissura na superfície do concreto é influenciada pela espessura do cobrimento, ou seja, a um maior cobrimento corresponderá uma maior abertura de fissura, o que não significa que na superfície da armadura estas sejam diferentes desde que a tensão na armadura

seja a mesma (17). Se a variável importante do ponto de vista da corrosão é a abertura de fissura na superfície da armadura, porque se controla a abertura na superfície do concreto, esta limitação de abertura deveria estar intimamente ligada ao cobrimento adotado. Assim, consideramos acertados os critérios do CP-110, que para ambientes agressivos limite $w_k \leq 0,004C$, do código modelo que aceita $w_k = W_{min} \times C/C_{min}$ até $C/C_{min} \leq 1,5$ e da NBR-6118 que apresentam o mesmo critério do código modelo limitando $C/C_{min} \leq 1,25$.

4.3. Valores limites da abertura de fissuras

Os valores limites da abertura de fissuras são fixados em função da estética (razões psicológicas), da estanqueidade e da proteção contra a corrosão.

Poucos estudos se dedicaram a avaliar o impacto que fissuras de certa abertura podem causar a leigos. Dos estudos relatados por Rodriguez Santiago e Andrade Perdix (?) pode-se concluir que não há diferenças significativas entre fissuras com aberturas de 0,05 a 0,25 mm. Parece difícil fixar essa abertura máxima admissível, pois depende da posição do observador e do tipo e aspecto final de acabamento da estrutura. Provavelmente o valor de 0,3 a 0,4 mm adotado pela maioria das normas seja um limite razoável.

O motivo de maior importância que leva à necessidade de controlar a fissura é, sem dúvida, o relacionado com a durabilidade.

A classificação de pelo menos quatro ambientes distintos quanto a agressividade à armadura parece adequada e simples. Nos parece necessário no entanto, utilizar a mesma classificação de ambientes tanto para abertura de fissuras, quanto para espessuras de cobrimento, uma vez que o que está em jogo é a proteção a ser oferecida à armadura. Uma recomendação única, reunindo as recomendações dos itens 4.2.2. e 6.3.3.1. da NBR-6118/79 facilitaria sobremaneira a escolha adequada da proteção ao mesmo tempo que conceitual e formalmente seria o mais correto.

Segundo a tendência atual, a partir dos estudos de Schiessl e Beeby, não se pode estabelecer uma correlação entre aberturas de fissuras de até 0,6 mm com a redução da durabilidade das peças ou com o aumento da corrosão das armaduras. Essa tendência leva a questionar inclusive a validade e necessidade de estabelecer fórmulas para o cálculo de abertura de fissuras em cada um dos quatro ambientes em que podem se situar as estruturas. Segundo essa tendência, é razoável aceitar aberturas de fissuras de até 0,4 mm na maioria dos ambientes, excluindo apenas aqueles onde a estanqueidade é requerida. Questionam também a prática geral de variar a taxa e a disposição da armadura para obter várias fissuras distribuídas e com menor abertura. Segundo eles, e já que abaixo de 0,4 mm todas as fissuras se comportam de igual modo, essa so-

lução só estaria aumentando os pontos de acesso do meio ambiente e, portanto aumentando o risco de corrosão,

Entendem, e essa também é a posição atual do CEB (8) que a qualidade do concreto e a espessura do cobrimento são mais importantes que a abertura de fissuras.

Queremos registrar aqui que essa não é a nossa opinião, nem é a opinião da totalidade dos pesquisadores que têm trabalhos na área tais como Tremper, Duffant, Heuze, citados pelo próprio Beeby (11), Carpentier e Soretz (12) e outros. Na realidade, em todas as pesquisas experimentais ficou comprovado que a abertura de fissura influe no sentido de aumentar a corrosão observada principalmente nos primeiros 2 anos diferenciando fissuras de 0,1 mm das de 0,25 e 0,4 mm. Para idades mais longas (10 anos) e aí está a grande contribuição de Schiessl e seus colaboradores, e desde que o cobrimento seja adequado (espessura e qualidade do concreto), essa influência da abertura passa a ter menor importância. Lembramos aqui que esses estudos foram sempre executados em vigas (corpos de prova) moldadas e submetidas a diferentes ambientes, sem ação de cargas nem qualquer outra solitação.

Na nossa opinião essas conclusões devem ser corroboradas por verificações "in loco" em estruturas em serviço. Um plano de pesquisa que inclua observação e inspeção de estruturas reais, em serviço, nos parece necessário neste momento. Nossa experiência em análise de estruturas acabadas tem demonstrado que a presença de fissuras transversais pode seccionar totalmente a armadura de lajes de reservatório de água onde há ciclos de molhagem e secagem (9). Da mesma forma em marquises onde há falha de impermeabilização e a água percolando através das fissuras lixivia o hidróxido de cálcio, instala-se a corrosão consumindo a armadura em seções de pequena extensão (da ordem de 2 cm).

Todas as considerações se aplicam a fissuras transversais à armadura principal já que sobre as fissuras longitudinais ainda há poucos estudos experimentais e muita comprovação real de que são determinantes da velocidade da corrosão. As pressões de expansão geradas pelos produtos de corrosão podem chegar a 15 MPa e tem maior facilidade de expulsar o concreto do cobrimento no caso de fissuras longitudinais, que no caso de fissuras transversais. Esse fenômeno denominado lascamento expõe as armaduras ao ambiente e acelera sobremaneira a velocidade de corrosão. Dificilmente esse fenômeno poderá ocorrer quando a fissura é transversal e o concreto é de boa qualidade.

4.4. Suscetibilidade das armaduras à corrosão

Parece interessante a consideração da bitola e da natureza da armadura como um dos parâmetros a serem levados em conta nesta problemática. Somente a norma do CEB-FIP/78 refere-se a esse

fato.

Na nossa opinião, sempre que as armaduras principais forem de bitola 5 mm e de aço classe β os cuidados com a proteção contra a corrosão devem ser maiores, tanto a nível de reduzir a abertura das fissuras transversais quanto aumentar a espessura do cobrimento ou mantendo esta, aumentar a qualidade do concreto de cobrimento. Esses cuidados devem ser ainda maiores no caso de armaduras já corroídas no canteiro ou na própria forma, antes da concretagem. Apesar que o processo corrosivo tende a estacionar, o risco de corrosão é sempre maior.

4.5 Cobrimentos

O cobrimento de concreto é na realidade uma proteção a armadura e se assim raciocinarmos, veremos que a qualidade dessa proteção depende:

- Da espessura: em princípio quanto maior a espessura do cobrimento, maior a proteção fixada das demais variáveis. Isso tem uma limitação de ordem de 50 mm, pois espessuras maiores a essa têm forte tendência a fissuração por outros mecanismos, tais como retração de secagem, movimentação térmica etc. Evidentemente aumentar o cobrimento implica aumentar custo da estrutura.
- Da composição do concreto: ao passarmos de uma relação água/cimento de 0,5 para 0,9, podemos aumentar em mais de 10 vezes a profundidade de carbonatação num mesmo ambiente e período de tempo considerado. Isso significa que enquanto uma peça teria após 20 anos apenas 5 mm carbonatado, outra nas mesmas condições teria 50 mm. Consequentemente a espessura do cobrimento para continuar mantendo o aço em condições de passivação deveria ser 5 mm num caso de 50 mm (!) no outro. A velocidade da carbonatação depende de fatores externos e da composição de concreto, sendo mais importante a água/cimento e a natureza do cimento. Cimentos pozolânicos (POZ), cimentos Portland (CP) e cimentos de alto forno (AF) apresentam diferentes profundidades de carbonatação sob as mesmas condições, em ordem crescente, ou seja, os cimentos pozolânicos são os que menores espessuras carbonatadas apresentam. Com relação à influência da relação água/cimento (8) a figura 16 exemplifica bem a importância desta variável na profundidade carbonatada.

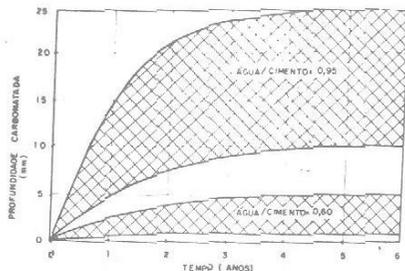


Fig. 16 - Variação da profundidade de carbonatação com o tempo e com a relação água/cimento.

O consumo de cimento por m^3 de concreto tem importância secundária, assim como a natureza e a composição granulométrica dos agregados. A importância destas variáveis é indireta e diz respeito muito mais à obtenção de misturas trabalháveis (consistência do concreto fresco) que à durabilidade e velocidade de carbonatação propriamente dita. Evidentemente a dimensão máxima característica do agregado graúdo deve ser compatível com a espessura do cobrimento e pelo menos 20% menor que este no caso de superfícies verticais (pilares e vigas) e no máximo o dobro no caso de superfície horizontais (lajes). O teor de argamassa do concreto também joga um papel importante, pois em peças estreitas e densamente armadas o efeito parede (9) é determinante da qualidade final do grau de compactação do concreto;

- Das técnicas de execução: O lançamento, adensamento e cura do concreto jogam papel preponderante na qualidade do cobrimento. Deve-se evitar a segregação, a exsudação e a absorção exagerada pelas formas uma vez que é justamente da qualidade do concreto superficial que depende a proteção à armadura. Não podemos esquecer que em processos construtivos do tipo "Argamassa Armada" as espessuras de cobrimento podem ser de apenas 3 mm. Evidentemente nesses casos os cuidados com o cobrimento devem ser máximos, assim como no caso de peças de concreto protendido (pré-tensão).

A ausência de cura não só vai aumentar a permeabilidade do componente estrutural como um todo, mas, principalmente, criar uma série de canaliculos superficiais no concreto, justamente numa espessura da ordem do cobrimento. Todos os fenômenos de permeabilidade à água, a gases, absorção d'água, retenção de fuligem, difusão de elementos agressivos, etc., serão intensificados e comprometerão a proteção da armadura. Segundo Lerch (13) a perda de água superficial do concreto pode alcançar valores de 0,5 kg de água por hora por m^2 de superfície exposta, estando o concreto a 21°C e o ambiente também a 21°C com U.R. de 50% e vento a 4,5 m/s (≈ 16 km/h). Para U.R. de 90% essa perda cai a 0,1 kg apenas. Com U.R. a 70% ao passar de 21°C a 38°C , podemos ter um aumento de 0,3 a 0,9 kg de água perdida em um m^2 por hora. Nessas condições adversas, considerando-se uma laje de $100 m^2$, com espessura de 10 cm, moldada com um concreto de 180 kg de água por m^3 , em 20 horas toda a água teria evaporado da laje. Evidentemente, parte dessa água já se teria combinado e parte ficaria sempre presente, devido ao equilíbrio das tensões de vapor, valendo esse exemplo figurativo para mostrar a importância da cura, principalmente porque devido às reações de hidratação, e eventual incidência de radiação solar, o concreto fresco fica com temperaturas acima da ambiente, o que agrava ainda mais o fenômeno.

A cura das superfícies de concreto com vistas à proteção contra a corrosão devem visar principalmente o concreto do cobrimento e não necessariamente o concreto que será revestido. Por exemplo, é muito mais importante curar a superfície inferior de uma laje que a superior. Para tal, ou mantemos as fôrmas por mais de 21 dias, ou ao retirá-las devemos imediatamente efetuar cura úmida (muito difícil de ser executada) ou aplicar produtos (Membranas e películas) de cura. Essa recomendação mais determinante quando se utiliza cimento AF ou POZ que são de endurecimento lento. Quando se tratar de desforma preco

ce, onde a superfície de concreto é exposta aos raios solares a baixas idades, como por exemplo, fôrma-deslizante ou pré-moldadas, a cura deve ser imediata, independente do processo adotado.

Em elementos estruturais do tipo paredes de concreto armado, onde duas dimensões predominam sobre uma terceira, o risco de aparecimento de fissuras causadas pela retração por secagem é sempre muito elevado. Nestas casos, a fissura atravessa a parede comprometendo a estanqueidade da estrutura, a durabilidade das armaduras e causando prejuízos estéticos. A cura adequada é imprescindível.

5. CONCLUSÕES

- 1a) É conveniente seguir aprofundando os estudos para uma melhor definição dos valores das ações variáveis a serem consideradas no cálculo da fissuração. A NBR-6118 apesar de definir estes valores em função do tipo de carga, deixa a desejar na definição do significado de carga variável fundamental.
- 2a) Há necessidade de pesquisas que ao invés de observar o efeito das fissuras em corpos de prova moldados, o façam em estruturas, em serviço ratificando ou retificando as conclusões já obtidas. Por ora considera-se adequada a recomendação da NBR-6118 de três aberturas limites.
- 3a) Há necessidade de levar em conta no problema da fissuração transversal a suscetibilidade das armaduras à corrosão.
- 4a) Há necessidade de entender o cobrimento como proteção e recomendar alternativas combinadas de espessura com relação água/cimento, com tipo de cimento e com técnicas adequadas de execução principalmente de cura.
- 5a) A abertura de fissura deve ser referida à obtida na superfície da armadura e não na superfície da peça de concreto como atualmente.
- 6a) A abertura de fissura e a proteção através do cobrimento de concreto devem estar relacionadas com o ambiente onde se localiza a estrutura e com maior suscetibilidade da armadura à corrosão, tudo reunido nas normas em uma única seção para maior clareza e entendimento de problemática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. THE STRUCTURAL USE OF CONCRETE. British Standards Institution - BSI. CP-110/72 nov., 1972.
2. BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR REINFORCED CONCRETE. American Concrete Institute - ACI. ACI 318/83 set., 1983.
3. REGLES TECHNIQUES DE CONCEPTION ET DE CALCUL DES OUVRAGES ET CONSTRUCTIONS EN BETON ARMÉ SUIVANT LA MÉTHODE DES ÉTATS-LIMITES. B.A.E.L./80 - Eyrolles. Paris, sept., 1980.
4. CÓDIGO MODELO CEB-FIP PARA LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. Comité Euro-Internationale du Béton - CEB. CEB-FIP/78 mar., 1982.
5. INSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO Y LA EJECUCION DE OBRAS DE HORMIGÓN EN MASA O ARMADO. Comisión Permanente del Hormigón, EH-82 jun., 1982.

6. PROJETO E EXECUÇÃO DE OBRAS DE CONCRETO ARMADO NBR-6118/78 (NB-1). Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Out., 1.978.
7. RODRIGUES SANTIAGO, JESUS & ANDRADE PERDRIX, Carmen. Analisis de las Condiciones de fisuración en las estructuras de hormigón armado y su relación con la probabilidad de corrosión de las armaduras. Anais do Primeiro Congresso Internacional de Patología. Barcelona - Espanha, 34 p., 1.985.
8. COMITÉ EURO-INTERNATIONALE DU BÉTON - CEB. Working guide for Durable Concrete Structures - Part 1 - Protection of Reinforcement - First Version. Bulletin d'Information nº 152, apr. 1.984.
9. HELENE, PAULO R. L. Corrosão das Armaduras para Concreto Armado. Editora PINI/IPT, jul., 1.986.
10. SCHIESSL, P. Corrosion of reinforcement. Comité Euro-Internationale du Béton. Bulletin d'Información, p. 73-94, apr. 1.984.
11. BEEBY, A. W. Corrosion of reinforcement and crack widths In: Offshore structures. Proceedings of International Symposium on Offshore Structures Sponsored by RILEM, FIP, CEB. Rio de Janeiro, p. 147 - 89, 1.979.
12. CARPENTIER, L. & SORÉTZ, M. S. Contribution a l'étude de la corrosion des armatures dans le béton armé. Annales de L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics - IITBP nº 223 - 224. Paris, p. 817-41, jui - août, 1.966.
13. LERCH, WILLIAM. Plastic shrinkage. Journal of the American Concrete Institute - ACI, De troit, v. 28 n. 8 p. 797 - 802, feb. 1.957.
14. ACI 224 R-80. "Control of cracking in concrete Structures". Manual of Concrete Practice. American Concrete Institute.
15. P. GERGELEY, L. A. LUTZ. Maximum Crack width in reinforced concrete flexural members. Cracking deflection and ultimate loads of concrete slab systems. ACI publication S. P. 30, 1.971.
16. BEEBY, A. W.. The prediction and control of flexural cracking in reinforced concrete members. Cracking deflection and ultimate loads of concrete slab systems. ACI publication S. P. 30, 1.971.
17. HUNGAIN S. I., FERGUSON P. M. - Flexural crack widths at the bars in reinforced concrete beams. Research report nº 102 - IF. Center for Highway research University of Texas at Austin.