

ANÁLISE DAS INTERFERÊNCIAS METEOROLÓGICAS NA RETRAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Augusto Cezar Maciel Soares¹
augusto.eng.civil@gmail.com

Maria Elizabeth da Nóbrega
Tavares²
etavares@uerj.ber

ÁREA: VIDA ÚTIL E PATOLOGIAS EM EDIFICAÇÕES

Resumo

A retração é um fenômeno que tem forte ligação com as condições climáticas e com o meio ambiente em que as estruturas de concreto estão inseridas. Desta forma, este trabalho tem como objetivo analisar a abertura de fissuras decorrentes da retração em elementos de concreto armado para os diferentes mesoclimas presentes no Rio de Janeiro. Através dos registros de temperatura e umidade relativa das estações meteorológicas monitoradas pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, disponíveis no site <http://alertario.rio.rj.gov.br/>, foi realizado um tratamento estatístico dos dados brutos coletados, determinando as médias de temperatura e da umidade relativa em cada região que apresentou registros entre os anos de 2009 e 2016. Estes valores médios foram utilizados como parâmetros no cálculo da retração conforme o preconizado pela ABNT NBR 6118 de 2014 e também para determinar a abertura de fissura através da metodologia apresentada por Raymond Ian Gilbert em 1992. As análises revelaram que para um trecho de laje com 15 cm de espessura, ao final de 10.000 dias, apresentou valores de retração de $-2,7254 \times 10^{-4}$ para a região da Barra de Guaratiba e de $-4,0668 \times 10^{-4}$ para a região de São Cristóvão. Em consequência das condições climáticas, a região de São Cristóvão apresentou aberturas de fissuras de 0,270 milímetros, o qual é próximo do limite de 0,30 milímetros especificado na norma brasileira para a CAA da região, indicando que os mesoclimas possam influenciar no surgimento de patologias e na perda de durabilidade das estruturas de concreto.

Palavras-chave: Durabilidade do concreto
Retração do concreto
Fissuras de retração

¹ Aluno de Mestrado, UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 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 Professor Doutor, DSc, UERJ – Departamento de Estruturas e Fundações, 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.

ANÁLISE DAS INTERFERÊNCIAS METEOROLÓGICAS NA RETRAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Augusto Cezar Maciel Soares¹

augusto.eng.civil@gmail.com

Maria Elizabeth da Nóbrega

Tavares²

etavares@uerj.br

AREA: VIDA ÚTIL Y PATOLOGÍAS EN EDIFICACIONES

Resumen

La retracción es un fenómeno que tiene un fuerte vínculo con las condiciones climáticas y con el medio ambiente. Así, este trabajo tiene como objetivo analizar la apertura de fisuras derivadas de la retracción en elementos de hormigón armado para los diferentes mesoclimas presentes en Río de Janeiro. A través de los registros de temperatura y humedad relativa de las estaciones meteorológicas monitoreadas por el Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, disponibles en el sitio <http://alertario.rio.rj.gov.br/>, se realizó un tratamiento estadístico de los datos obtenidos, determinando las medias de temperatura y de la humedad en cada región que presentó registros entre los años 2009 y 2016. Estos valores medios se utilizaron como parámetros en el cálculo de la retracción conforme al preconizado por la ABNT NBR 6118 de 2014 y también para determinar la apertura de la fisura a través de la metodología presentada por Raymond Ian Gilbert en 1992. Los análisis revelaron que para un tramo de losa de 15 cm de espesor al final de 10.000 días presentó valores de retracción de $2,6254 \times 10^{-4}$ para la región de Guaratiba y de $-4,0668 \times 10^{-4}$ para la región de São Cristóvão. Debido a las condiciones climáticas, la región de São Cristóvão presentó aperturas de fisuras de 0,270 milímetros, el cual es cercano al límite de 0,30 milímetros especificado en la norma brasileña para la región, indicando que los mesoclimas puedan influir en el surgimiento de las patologías y la pérdida de durabilidad de las estructuras de hormigón.

Palabras clave: Durabilidad del hormigón

Retracción del hormigón

Fisuras del retracción

Introdução

As reais condições de carregamento e as condições climáticas atuantes nas estruturas de concreto armado alteram as propriedades físico-químicas do concreto ao longo do tempo podendo leva-las a sofrerem deformações excessivas que conseqüentemente irão causar a redistribuição de tensão na estrutura. Caso estas alterações não sejam detectadas e tratadas adequadamente levam as estruturas a se degradarem prematuramente e, em casos extremos, ao colapso, resultando em custos econômicos e sociais (1,2).

A fissuração é principal causa da degradação das estruturas de concreto armado, pois a fissura servirá como uma janela de exposição da armadura às ações deletérias do meio ambiente (3,4).

Devido à importância do assunto, este trabalho irá apresentar o cálculo da abertura de fissuras decorrentes da retração para os diferentes tipos de climas presentes no Rio de Janeiro. A partir dos dados de temperatura e umidade relativa que se encontram disponíveis no sítio www.alertario.rio.rj.gov.br, foram calculadas as médias destes parâmetros para os anos de 2009 até 2016 nestas regiões. Desta forma, seguindo a metodologia de cálculo preconizada pela ABNT NBR 6118 de 2014, foi determinada a magnitude da retração em cada uma das regiões. Ao final, utilizando o modelo de cálculo proposto por Raymond Ian Gilbert em 1992 foi calculado a abertura de fissuras para um trecho de laje apresentando 15 centímetros de espessura e 5 metros de comprimento.

As condições climáticas presentes no Rio de Janeiro

Para analisar o comportamento da retração nas diferentes regiões do rio de janeiro, no dia 15 de fevereiro de 2017 foram extraídos do sítio www.alertario.rio.rj.gov.br os registros das estações meteorológicas de Irajá, Jardim Botânico, Barra/Rio Centro, Guaratiba, Santa Cruz, Alto da Boa Vista e São Cristóvão para os anos de 2009 até 2016. Assim, a partir dos dados meteorológicos obtidos para cada uma das regiões, foram calculadas as médias de temperatura e umidade relativa de acordo com a sua distribuição de frequência para cada local. Desta forma, o fenômeno será representado por valores médios nos quais os dados tendem a se concentrar (5).

Para a realização do cálculo das médias, o primeiro passo é a determinação do número de classes para as tabelas de distribuição de frequência. Foi fixada uma amplitude padrão de 0,40 °C para as temperaturas e de 2% para a umidade relativa. Desta forma, foram calculadas as médias de temperatura e umidade relativa apresentadas na Tabela 1

Tabela 1: Tabela Resumo das médias de temperatura e umidade relativa calculadas para uma das estações.

Médias de Temperatura e Umidade relativa entre os anos de 2009 até 2016							
	Irajá	Jardim Botânico	Barra Rio Centro	Guaratiba	Santa Cruz	Alto da Boa Vista	São Cristóvão
Média de Temperatura	25,8 °C	24,4 °C	25,0 °C	23,6 °C	25,0 °C	21,7 °C	25,3 °C
Média de umidade relativa	71,7%	75,6%	78,6%	83,8%	75,4%	82,5%	70,8%

Retração perante a NBR 6118 de 2014

A associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, em 2014 publicou a ABNT NBR6118 de 2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos (6), na qual apresenta em seu Anexo A – Efeito do tempo no concreto estrutural a metodologia para se calcular as deformações lentas no concreto. Para o escopo do presente trabalho, o item A.2.3 – Retração do concreto, determina os seguintes procedimentos de cálculo. Assim, para iniciar os cálculos da retração faz-se necessário o cálculo da espessura fictícia e da idade fictícia do concreto, conforme apresentado no item A.2.4.2 da norma brasileira. A espessura fictícia da peça leva em consideração as propriedades geométricas da peça, área da seção transversal de concreto e o perímetro externo em contato com ar, e a umidade relativa.

Posterior ao cálculo da espessura fictícia, calcula-se a idade fictícia do concreto, conforme disposto no item A.2.4.1 da NBR6118. Para o cálculo da idade fictícia do concreto, leva-se em ponderação a temperatura do meio ambiente, em graus Celsius, o período, expresso em dias, em que a temperatura utilizada possa ser considerada constante e o coeficiente α que é dependente da velocidade de endurecimento do cimento, que segundo a determinação da norma, é assumido como o valor de 1 para retração na falta de valores experimentais, a mesma não faz distinção na retração quanto ao tipo de cimento utilizado, ao contrário da fluência (6).

A partir da determinação da idade fictícia e da espessura fictícia, é possível calcular o coeficiente $\beta_s(t)$, que é o coeficiente relativo à retração para o instante em análise, este parâmetro está ligado aos valores de idade e de espessura fictícia do elemento em análise. Além do parâmetro $\beta_s(t)$, de posse dos valores de espessura fictícia, é possível então determinar o coeficiente (ε_{2s}) já o coeficiente dependente da umidade relativa e da consistência do concreto (ε_{1s}) leva em ponderação a umidade relativa do meio ambiente e também o slump do concreto, que para as situações em que o concreto apresente slump menor ou igual a 4 cm, o valor do coeficiente é minorado em 25%, já para os casos em que o Slump seja maior ou igual a 10, o valor do coeficiente é majorado em 25%, conforme apresentado na tabela A.1 da NBR6118 de 2014. Ao final, é possível calcular o valor da retração através da Equação 1, e o valor da retração para um dado intervalo de tempo através da Equação 2 (6).

$$\varepsilon_{cs\infty} = \varepsilon_{1s} \cdot \varepsilon_{2s} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \varepsilon_{cs\infty} \cdot [\beta_s(t) - \beta_s(t_0)] \quad (2)$$

Desta forma, ao se calcular a retração para um trecho de laje na qual apresente as características apresentadas na Tabela 2 utilizando os dados meteorológicos apresentados na tabela 2 obtêm-se os valores de $\varepsilon_{cs\infty}(t, t_0)$ apresentados na tabela 4.

Tabela 2: Dados de partida – Propriedades da seção e dos materiais.

Propriedades da seção		Propriedades dos materiais	
Largura	1,00 m	Fck	30,00 MPa
Espessura	0,15 m	Ftk	2,028 MPa
Comprimento	5,00 m	Ec	27,758 GPa
Área de concreto (A_c)	0,15 m ²	Fyk	500 MPa
Perímetro em contato com o ar (U_{ar})	2,00 m	Ey	200 GPa

Tabela 3: Condições de análise da retração

Retração	
Início da análise	5 dias
Tempo total	10.000 dias
α	1,0
Slump	$5 \leq \text{slump} \leq 9$

Tabela 4: Retração da laje em cada uma das regiões analisadas.

Estação Meteorológica	Tempo inicial	Tempo final	Umidade relativa	Temperatura	$\epsilon_{cs}(10.000,5)$
São Cristóvão	5	10.000	70,8 %	25,30°C	$- 4,0688 \times 10^{-4}$
Guaratiba	5	10.000	83,8 %	23,60°C	$- 2,7254 \times 10^{-4}$
Alto da Boa Vista	5	10.000	82,5 %	21,70°C	$- 2,8941 \times 10^{-4}$
Irajá	5	10.000	71,7 %	25,80°C	$- 3,9929 \times 10^{-4}$
Jardim Botânico	5	10.000	75,6 %	24,40°C	$- 3,6553 \times 10^{-4}$
Santa Cruz	5	10.000	75,4 %	25,00°C	$- 3,6719 \times 10^{-4}$
Barra Rio centro	5	10.000	78,6 %	25,00°C	$- 3,3452 \times 10^{-4}$

Modelo para a determinação do espaçamento entre fissuras e da espessura das fissuras em elementos de concreto armado submetido à retração.

A medida em que os elementos hiperestáticos de concreto se retraem, estes passam a sofrer esforços de tração provenientes da retração. Quando o esforço solicitante atinge a resistência a tração do concreto, N_{cr} , surge a primeira fissura de retração no elemento. A armadura passante na fissura passa a resistir ao esforço de tração em quanto o concreto, na mesma região, não resiste mais ao esforço. Desta forma, na Região 1, apresentada na figura x, o concreto encontra-se tracionado em quanto a armadura encontra-se comprimida, a medida em que se caminha para a Região 2, o concreto varia parabolicamente ao longo do comprimento s_0 até que na posição da fissura este passa não resistir ao esforço em quanto, por outro lado, a armadura que na Região 1 encontrava-se comprimida, na Região 2 esta varia parabolicamente até que na fissura esta passa a absorver integralmente ao esforço de tração (7).

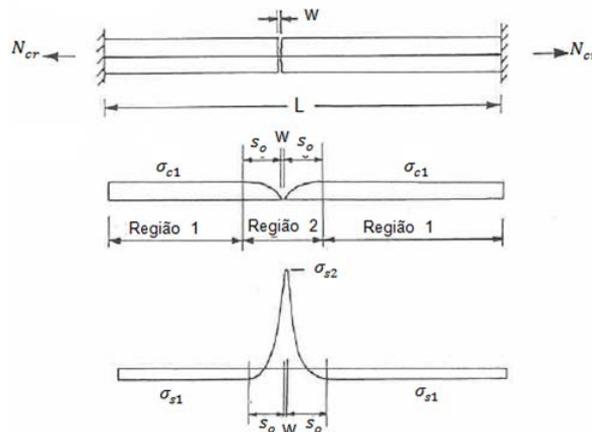


Figura 1: Primeira fissura em elemento de concreto armado com deslocamento restringido (7).

Segundo o trabalho proposto por Gilbert em 1992, o esforço N_{cr} pode ser determinado através da formula apresentada na Equação 3.

$$N_{cr} = \frac{n \cdot f_t \cdot \rho \cdot A_c}{C_1 + n \cdot \rho \cdot (1 + C_1)} \quad (3)$$

Onde:

$$C_1 = \frac{2s_o}{(3L - 2s_o)} \quad (4)$$

Em que:

N_{cr} — Força Crítica, kN/m;

n — Razão entre os módulos de elasticidade do aço pelo do concreto;

f_t — Resistência a tração do concreto, MPa;

A_c — Área de concreto, mm²/m;

ρ — Razão entre as áreas de aço pela área de concreto.

Após o surgimento da primeira fissura, a tensão no concreto é aliviada, tornado o elemento menos rígido. Para que surjam outras fissuras de retração, é necessário que a retração atinja a valores mais elevados que os iniciais. Desta forma, ao final do processo de retração, irão surgir m fissuras de retração e a armadura irá atingir a tensão de tração σ_{s2}^* na região da fissura e a tensão σ_{s1}^* na região não fissurada. Já o concreto irá apresentar a tensão σ_{c1}^* na região não fissurada, ao passo que na fissura, o elemento apresentará uma abertura de w , conforme exposto na Figura 2 (7).

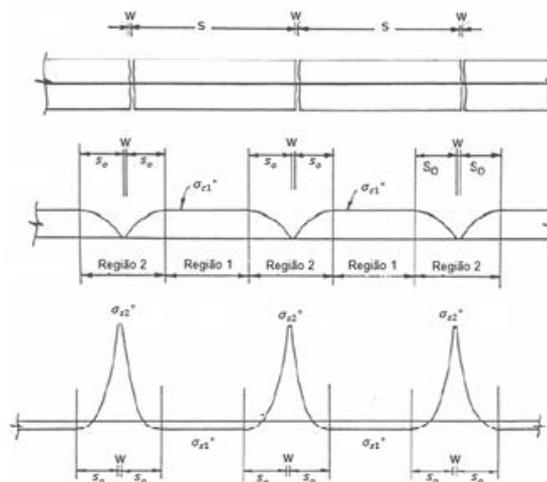


Figura 2: Figura esquemática do elemento de concreto armado fissurado após sofrer toda a retração (7).

Conforme proposto por Gilbert em 1992, para se calcular essas tensões e a abertura de fissura do elemento deve-se determinar a força critica ao final da retração, Equação 5.

$$N(\infty) = \frac{A_s \cdot n^*}{C2} (\sigma_{med} + \varepsilon_{sh}^* \cdot E_e^*) \quad (5)$$

Em que:

$$E_e^* = \frac{E_c}{(1 + \varphi^*)} \quad (6)$$

Assim, seguindo a metodologia pronsa por Gilbert em 1992 é possível determinar a tensão no concreto na região, a tensão na armadura na fissura e a espessura da fissura através das Equações 7, 8 e 9.

$$\sigma_{c1}^* = \frac{N(\infty) - \sigma_{s1}^* \cdot A_s}{A_c} \quad (7)$$

$$\sigma_{s2}^* = \frac{N(\infty)}{A_s} \quad (8)$$

$$w = - \left[\frac{\sigma_{c1}^*}{E_e^*} \cdot \left(s - \frac{2}{3} \cdot s_0 \right) + \varepsilon_{sh}^* \cdot s \right] \quad (9)$$

Em que:

- $N(\infty)$ — Força atuante ao final da retração, kN/m;
- A_s — Área de aço utilizada, mm²/m;
- n^* — Razão entre o módulo de elasticidade do concreto fissura e o módulo de elasticidade do aço;
- ε_{sh}^* — Deformação por retração;
- φ^* — Coeficiente de fluência;
- E_e^* — Módulo de elasticidade efetivo do concreto final, MPa;
- E_c — Módulo de elasticidade secante do concreto, MPa;
- σ_{c1}^* — Tensão no concreto na região 1 ao final da retração, MPa;
- σ_{s2}^* — Tensão no aço na fissura ao final da retração, Mâ;
- s — Espaçamento entre fissuras, mm;
- w — Espessura da fissura, mm.

Assim, a partir dos dados de temperatura e umidade relativa apresentados na Tabela 4 e seguindo a metodologia apresentada foi calculado a força proveniente da retração, espessura da fissura, a tensão no concreto na região, a tensão na armadura na Região 1 (na fissura) e na Região 2 para seções que contenham áreas de aço de 600 mm², 750 mm² e 900 mm².

Tabela 5: Espessura de fissuras, tensões no aço e no concreto para áreas de aço de 600 mm².

Estação Meteorológica	$\epsilon_{cs}(10.000,5)$	$N(\infty)$ (kN)	σ_{c1}^* (MPa)	σ_{s1}^* (MPa)	σ_{s2}^* (MPa)	w (mm)
São Cristóvão	$-4,0668 \times 10^{-4}$	277	2,028	45,0569	461,9431	0,3909
Irajá	$-3,9919 \times 10^{-4}$	278	2,028	43,5797	463,4203	0,3852
Santa Cruz	$-3,6719 \times 10^{-4}$	282	2,028	37,1603	469,8397	0,3534
Jardim Botânico	$-3,6553 \times 10^{-4}$	282	2,028	36,8271	470,1729	0,3535
Barra Rio Centro	$-3,3453 \times 10^{-4}$	286	2,028	30,6260	476,3740	0,3121
Alto da Boa Vista	$-2,8941 \times 10^{-4}$	291	2,028	21,6040	485,3960	0,2094
Guaratiba	$-2,7254 \times 10^{-4}$	293	2,028	18,2285	488,7715	0,1448

Tabela 6: Espessura de fissuras, tensões no aço e no concreto para áreas de aço de 750 mm².

Estação Meteorológica	$\epsilon_{cs}(10.000,5)$	$N(\infty)$ (kN)	σ_{c1}^* (MPa)	σ_{s1}^* (MPa)	σ_{s2}^* (MPa)	w (mm)
São Cristóvão	$-4,0668 \times 10^{-4}$	273	2,028	42,2234	363,3766	0,2730
Irajá	$-3,9919 \times 10^{-4}$	274	2,028	40,7462	364,8538	0,2696
Santa Cruz	$-3,6719 \times 10^{-4}$	278	2,028	34,3268	371,2732	0,2517
Jardim Botânico	$-3,6553 \times 10^{-4}$	279	2,028	33,9937	371,6063	0,2506
Barra Rio Centro	$-3,3453 \times 10^{-4}$	283	2,028	27,7925	377,8075	0,2250
Alto da Boa Vista	$-2,8941 \times 10^{-4}$	290	2,028	18,7705	386,8295	0,1575
Guaratiba	$-2,7254 \times 10^{-4}$	293	2,028	15,3950	390,2050	0,1119

Tabela 7: Espessura de fissuras, tensões no aço e no concreto para áreas de aço de 900 mm².

Estação Meteorológica	$\epsilon_{cs}(10.000,5)$	$N(\infty)$ (kN)	σ_{c1}^* (MPa)	σ_{s1}^* (MPa)	σ_{s2}^* (MPa)	w (mm)
São Cristóvão	$-4,0668 \times 10^{-4}$	268	2,028	39,9502	298,0498	0,2044
Irajá	$-3,9919 \times 10^{-4}$	270	2,028	38,4730	299,5270	0,2023
Santa Cruz	$-3,6719 \times 10^{-4}$	275	2,028	32,0536	305,9464	0,1908
Jardim Botânico	$-3,6553 \times 10^{-4}$	276	2,028	31,7204	306,2796	0,1901
Barra Rio Centro	$-3,3453 \times 10^{-4}$	281	2,028	25,5193	312,4807	0,1733
Alto da Boa Vista	$-2,8941 \times 10^{-4}$	289	2,028	16,4973	321,5027	0,1262
Guaratiba	$-2,7254 \times 10^{-4}$	292	2,028	13,1218	324,8782	0,0919

Conclusões

Ao organizar os valores de retração em ordem decrescente, conforme apresentado na Tabela 8, é observado que a umidade relativa tem maior influencia na retração quando comparada com a temperatura. Desta forma, regiões que apresentaram climas mais secos, como o caso de São Cristóvão e Irajá, foram as regiões em que apresentaram os maiores valores de retração. Já para as regiões mais umidas, como o caso de Guaratiba e Alto da Boa Vista, foram as regiões que apresentaram menores valores de retração, sendo Guaratiba a que apresentou o menor valor de retração.

Utilizando os dados médios de temperatura e de umidade para se determinar a abertura de fissuras na laje de concreto armado analisada, as regiões em que apresentaram maiores valores de retração propiciaram os maiores valores de abertura.

Ao analisar a abertura de fissura para nas região propostas observou-se que para a área de aço de 600 mm² a maioria das regiões não estariam em conformidade com o limite proposto para as classes de agressividade ambiental II e III pela Tabela 13.4 da ABNT NBR 6118 de 2014, em que determina que o limite para essas agressividades é de 0,30 mm. Ao fazer a mesma análise para a área de aço de 750 mm² as regiões estariam dentro do limite proposto pela norma brasileiro, todavia, tal fato não descartou a preocupação de que a região de São Cristóvão apresentou abertura de 0,27 mm de fissura, próximo ao limite estipulado, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Tabela resumo de abertura de fissuras para as regiões analisadas e para as diferentes quantidade de armadura analisada.

Estação Meteorológica	Temperatura Média	Umidade Relativa média	ϵ_{cs} (10.000,5)	A _s de 600 mm ²	A _s de 750 mm ²	A _s de 900 mm ²
				w (mm)	w (mm)	w (mm)
São Cristóvão	25,3 °C	70,8%	-4,0668 x 10 ⁻⁴	0,3909	0,2730	0,2044
Irajá	25,8 °C	71,7%	-3,9919 x 10 ⁻⁴	0,3852	0,2696	0,2023
Santa Cruz	25,0 °C	75,4%	-3,6719 x 10 ⁻⁴	0,3534	0,2517	0,1908
Jardim Botânico	24,4 °C	75,6%	-3,6553 x 10 ⁻⁴	0,3535	0,2506	0,1901
Barra Rio Centro	25,0 °C	78,6%	-3,3453 x 10 ⁻⁴	0,3121	0,2250	0,1733
Alto da Boa Vista	21,7 °C	82,5%	-2,8941 x 10 ⁻⁴	0,2094	0,1575	0,1262
Guaratiba	23,6 °C	83,8%	-2,7254 x 10 ⁻⁴	0,1448	0,1119	0,0919

Vale ressaltar que a análise realizada considera apenas para a interferência da retração no elemento, não sendo contabilizada as cargas que virão a ser impostas no elemento. Por conta disto, acredita-se que ao se analisar o elemento carregado e combinando com a influência da retração, este virá a apresentar fissuras superiores as que foram calculadas.

Acredita-se que hoje a Norma Brasileira possa está subestimando os valores de retração e consequentemente os valores de abertura de fissuras ao longo prazo, desta forma estas servirão como caminhos preferenciais para a penetração de agentes agressivos no elemento propiciando o surgimento prematuro de diversas patologias e comprometendo a durabilidade da estrutura.

Face ao exposto, se entende que ensaios laboratoriais de longo prazo devam ser realizados para rever os parâmetros preconizados pela NBR 6118, como por exemplo o parâmetro α , que expressa a velocidade de endurecimento do cimento, desta forma, possibilitando uma maior aderencia dos resultados ao fenomeno. Outro aspecto a ser considerado é que a Norma Brasileira não faz distição quanto aos tipos de retração, ao

contrário de outros códigos normativos, como por exemplo o CEB-*fip* de 2010 que pondera a influência da retração autógena.

A diferença de valores encontrados para cada uma das regiões apontam que as particularidades climáticas de cada uma das regiões estudadas influenciou na magnitude da retração, de modo que para estudar o comportamento da retração é necessário o estudo das condições locais em que a estrutura será inserida.

Bibliografia

- (1) ALMEIDA, L. C. **Identificação de parâmetros estruturais com emprego de análise inversa**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.
- (2) KATAOKA, L. T. **Análise da deformabilidade por fluência e retração e sua utilização na monitoração de pilares em concreto**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.
- (3) HELENE, P. R. L. **Introdução da Vida Útil no projeto das estruturas de concreto NB1/2001**. Workshop sobre Durabilidade das Construções – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2001, pp. 58-94.
- (4) ISAIAS, G. C. **Durabilidade do concreto ou das estruturas de concreto? reflexões sobre o tema**. Workshop sobre Durabilidade das Construções – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2001, pp. 5-31
- (5) FONSECA, J. S. & MARTINS, G. A. **Curso de estatística 6ª ed.** São Paulo: Editora Atlas S.A, 2008.
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NÓRMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014.
- (7) GILBERT, R. I. Shrinkage cracking in fully restrained concrete members, ACI Structural Journal. Detroit, 1992, pp. 141-149.