

# 8

Curado del hormigón

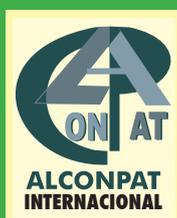
*Cura do concreto*

*Concrete curing*

# Boletín Técnico

*Paulo Helene & Salomon Levy*

Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología  
y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int.



Elaboración de:



## **PREFÁCIO**

Com o grande desenvolvimento atual dos meios de comunicação e de transporte, há efetiva possibilidade e necessidade de integração dos profissionais dos países Ibero-americanos, conscientes de que o futuro inscreve-se numa realidade social onde o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico são as ferramentas corretas a serem utilizadas em benefício da sustentabilidade e qualidade de vida de nossos povos.

É missão e objetivo da ALCONPAT (Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción) ser um forte instrumento de união, desenvolvimento e difusão dos conhecimentos gerados pela comunidade da construção civil, com foco nos materiais e na gestão da qualidade de obras em andamento, no estudo dos problemas patológicos, na manutenção, recuperação e proteção do enorme patrimônio construído e na prevenção de falhas de projeto e construção em obras novas.

Desde sua fundação no ano de 1991 em Córdoba, Argentina, os membros da ALCONPAT Internacional e de suas delegacias e entidades nacionais, vêm organizando cursos, seminários, palestras e, nos anos ímpares o tradicional e reconhecido congresso científico CONPAT, já realizado de forma itinerante em onze diferentes países da Ibero-américa.

Com o objetivo de fortalecer essa integração e valorizar ainda mais a Construção Civil desses países, a ALCONPAT instituiu, em 2011, a “Comisión Temática de Procedimientos Recomendables” sob a profícua coordenação do Prof. Dr. Bernardo Tutikian. Essa Comissão tem o objetivo de levantar temas de interesse da comunidade, buscar um especialista que se disponha a pesquisar e escrever sobre o assunto, voluntariamente, e divulgar esse conhecimento na comunidade Ibero-americana.

O conteúdo deve ser claro, objetivo, com bases científicas, atualizado e não muito extenso, fornecendo a cada leitor profissional as bases seguras sobre um tema específico de forma a permitir seu rápido aproveitamento e, quando for o caso, constituir-se num ponto de partida seguro para um desenvolvimento ainda maior daquele assunto.

O resultado dessa iniciativa agora se cristaliza na publicação de 10 textos fantásticos, em forma de fascículos seriados, cuja série completa ou coletânea se denomina “O QUE É NA CONSTRUÇÃO CIVIL?”. Se tratam de textos conceituais visando o nivelamento do conhecimento sobre as principais “palavras de ordem” que hoje permeiam o dinâmico setor da

Construção Civil, entre elas: Sustentabilidade, Qualidade, Patologia, Terapia, Profilaxia, Diagnóstico, Vida Útil, Ciclo de Vida, e outras, visando contribuir para o aprimoramento do setor da construção assim como a qualificação e o aperfeiçoamento de seus profissionais.

Por ter um cunho didático, os diferentes temas são abordados de modo coerente e conciso, apresentando as principais etapas que compõem o ciclo dos conhecimentos necessários sobre aquele assunto. Cada fascículo é independente dos demais, porém o seu conjunto constituirá um importante referencial de conceitos utilizados atualmente na construção civil.

O curto prazo disponível para essa missão, de repercussão transcendental aos países alvo, foi superado vitoriosamente e esta publicação só se tornou realidade graças à dedicação, competência, experiência acadêmica, profissionalismo, desprendimento e conhecimento do Coordenador e Autores, apaixonados por uma engenharia de qualidade.

Estes textos foram escritos exclusivamente por membros da ALCONPAT, selecionados pela sua reconhecida capacidade técnica e científica em suas respectivas áreas de atuação. Os autores possuem vivência e experiência dentro de cada tópico abordado, através de uma participação proativa, desinteressada e voluntária.

O coordenador, os autores e revisores doaram suas valiosas horas técnicas, seus conhecimentos, seus expressivos honorários e direitos autorais à ALCONPAT Internacional, em defesa de sua nobre missão. Estimou-se essa doação em mais de 500h técnicas de profissionais de alto nível, a uma média de 50h por fascículos, acrescidas de pelo menos mais 200h de coordenação, também voluntária.

Todos os recursos técnicos e uma visão sistêmica, necessários ao bom entendimento dos problemas, estão disponíveis e foram tratados com competência e objetividade, fazendo desta coletânea uma consulta obrigatória. Espera-se que esta coletânea venha a ser amplamente consultada no setor técnico-profissional e até adotada pelas Universidades Ibero-americanas. Esta coletânea é mais um esforço que a ALCONPAT Int. realiza para aprimoramento e atualização do corpo docente e discente das faculdades e universidades, assim como para evolução dos profissionais da comunidade técnica ligada ao construbusiness, valorizando indistintamente a contribuição da engenharia no desenvolvimento sustentado dos países Ibero-americanos.

Mérida - México, março de 2013

Prof. Paulo Helene  
*Presidente ALCONPAT Internacional*

Prof. Bernardo Tutikian  
*Coordenador Comisión Temática de Procedimientos Recomendables*

**Junta Directiva de ALCONPAT Internacional (bienio jan.2012/dez. 2013):**

<i>Presidencia:</i>	<i>Prof. Paulo Helene</i>
<i>Presidência de Honor:</i>	<i>Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho</i>
<i>Vicepresidente Administrativo:</i>	<i>Profa. Maria Ysabel Dikdan</i>
<i>Vicepresidente Técnico:</i>	<i>Profa. Angélica Piola Ayala</i>
<i>Secretario Ejecutivo:</i>	<i>Prof. José Manuel Mendoza Rangel</i>
<i>Director General:</i>	<i>Dr. Pedro Castro Borges</i>
<i>Gestor:</i>	<i>Ing. Enrique Crescencio Cervera Aguilar</i>

**Sede permanente ALCONPAT:**

CINVESTAV Mérida México  
<http://www.alconpat.org>  
Dr. Pedro Castro Borges

**Presidente Congreso CONPAT 2013**

Prof. Sérgio Espejo

**Comisiones Temáticas:**

<i>Publicaciones</i>	<i>Dr. Pedro Castro Borges</i>
<i>Educación</i>	<i>Prof<sup>a</sup>. Liana Arrieta de Bustillos</i>
<i>Membrecía</i>	<i>Prof. Roddy Cabezas</i>
<i>Premiación</i>	<i>Prof<sup>a</sup>. Angélica Piola Ayala</i>
<i>Procedimientos Recomendables</i>	<i>Prof. Bernardo Tutikian</i>
<i>Relaciones Interinstitucionales</i>	<i>Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho</i>
<i>Historia ALCONPAT</i>	<i>Prof. Dante Domene</i>
<i>Boletín de Noticias</i>	<i>Arq. Leonardo López</i>

**Missão da ALCONPAT Internacional:**

*ALCONPAT Internacional es una Asociación no lucrativa de profesionales dedicados a la industria de la construcción en todas sus áreas, que conjuntamente trabajan a resolver los problemas que se presentan en las estructuras desde la planeación, diseño y proyecto hasta la ejecución, construcción, mantenimiento y reparación de las mismas, promoviendo la actualización profesional y la educación como herramientas fundamentales para salvaguardar la calidad y la integridad de los servicios de sus profesionales.*

**Visão da ALCONPAT Internacional:**

*Ser la Asociación de especialistas en control de calidad y patología de la industria de la construcción con mayor representatividad gremial y prestigio profesional reconocido internacionalmente, buscando siempre el beneficio social y el óptimo aprovechamiento de los recursos humanos, materiales y económicos para la construcción de estructuras sustentables y amigables con el medio ambiente.*

**Valores de ALCONPAT Internacional:**

*Ciencia, Tecnología, Amistad y Perseverancia para el Desarrollo de América Latina.*

**Objetivos da ALCONPAT Internacional:**

*ARTÍCULO 1.2 del Estatuto. ALCONPAT se define como una asociación sin fines de lucro, cuyos fines son:*  
*a) Contribuir al desarrollo científico y técnico de toda la comunidad Latinoamericana relacionada con la construcción y sus materiales, con énfasis en la gestión de la calidad, la patología y la recuperación de las construcciones.*  
*b) Actuar como un interlocutor cualificado, tanto de la propia sociedad civil como de sus poderes públicos representativos.*  
*c) Promover el papel de la ciencia y la tecnología de la construcción y sus materiales, y contribuir a su difusión como un bien necesario que es para toda la sociedad Latinoamericana y Iberoamericana.*



# 08

## ALCONPAT Internacional

Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y  
Recuperación de la Construcción

# Boletín Técnico

## Curado del hormigón *Cura do concreto* *Concrete curing*

*Paulo Helene*  
*PhD Engenharia. BRASIL*  
*Universidade de São Paulo EP. USP. BRASIL*  
*Salomon Levy*  
*Universidade Nove de Julho. UNINOVE. BRASIL*

### Introdução

Para que o concreto de uma estrutura apresente resultados mais próximos de suas características potenciais, avaliadas em corpos de prova e ensaios padrão, certas operações de cura são de suma importância. É essencial que estas operações tenham início imediatamente após o adensamento do concreto fresco (*Terzian, 1993*).

Entretanto, é notório que, para a grande maioria das obras, os procedimentos de cura limitam-se única e exclusivamente a molhar as estruturas recém concretadas umas poucas vezes ao dia, por um curto período de tempo.

Se essas operações fossem executadas de forma racional e correta, proporcionariam considerável redução de porosidade do concreto. Também reduziriam a carbonatação e difusão de íons cloreto na massa, contribuindo muito para aumento da durabilidade das estruturas de concreto,

especialmente daquele concreto de cobrimento das armaduras, tão importante na garantia da vida útil (*Rincón, 2000; Castro-Borges, 2007*).

Sem grandes investimentos financeiros, e estendendo-se essas operações por períodos de tempo relativamente curtos, e racionalmente planejados, poder-se-ia obter dos concretos um melhor desempenho.

Contrariamente ao que a maioria pensa, o dano maior causado ao concreto pela falta das operações de cura, não é só impedir o desenvolvimento satisfatório da resistência à compressão. Na maioria dos casos e principalmente em peças espessas, o núcleo das seções de concreto é capaz de reter água mantendo o grau de umidade suficientemente elevado de forma a garantir a hidratação do cimento e conferir resistência à compressão.

A falta de uma cura adequada compromete

qualidade e durabilidade das estruturas de concreto, a qual é inicialmente controlada pelas propriedades das camadas superficiais dos elementos estruturais moldados com esse concreto (Positieri, 2008).

Secagens prematuras resultam em camadas superficiais porosas com baixa resistência ao ataque dos agentes agressivos e facilmente fissuráveis.

Amparado na tecnologia do concreto, os especialistas têm conseguido produzir concretos cada vez mais resistentes e mais duráveis, que são utilizados na construção de estruturas capazes de superar os desafios de sustentabilidade deste milênio, construindo estruturas de vida útil superior a 120 anos, viabilizando construir mais e utilizar cada vez menos matéria prima, para continuar crescendo de forma ordenada e sustentável (Helene, 2007).

Estes novos concretos, além de se mostrarem tecnicamente mais eficientes, apresentam vantagens econômicas quando se analisa o custo da estrutura de forma holística, ou seja, comparando-se, não o valor unitário do m<sup>3</sup> de concreto, e sim à quantidade de materiais utilizados para produzir uma peça capaz de suportar uma carga pré-determinada por certo número de anos de vida útil (Levy, 2001).

Tais concretos, conhecidos por HPC (*High Performance Concrete*) quando utilizados, permitem diminuir o número de pilares nos subsolos, bem como a altura das vigas, aumentando assim o número de vagas disponíveis nos estacionamentos, e gerando estruturas sustentáveis, técnica e ecologicamente corretas.

## 2. Conceitos básicos

Na sequência apresentam-se alguns conceitos básicos com o intuito

Para elucidar esse fato, apresenta-se o exemplo do edifício e-Tower construído em São Paulo, em 2002/2004 (Hartmann, 2003).

Nele a seção transversal dos pilares, originalmente com 0,90m x 1,00m, foi projetada em concreto com  $f_{ck} = 40\text{MPa}$ , e posteriormente, utilizando um concreto com  $f_{ck} = 80\text{MPa}$ , a seção transversal destes pilares foi reduzida para 0,60m x 0,70m.

Analisando essa estrutura holisticamente, Hartmann, (2003) & Helene, (2007) concluíram que houve uma redução de recursos utilizados na estrutura construída com o concreto de 80MPa em relação a estrutura projetada em concreto de 40MPa, da ordem de: cimento 20%, areia 70%, pedra britada 70% e água 50%, sem falar da redução de formas, armadura, e ganhos de espaço.

Como os HPC, via de regra, apresentam  $f_{ck} \geq 60\text{MPa}$ , também apresentarão maior consumo de cimento por m<sup>3</sup> e menor relação a/c, muitas vezes inferiores a 0,30, dando a falsa impressão de que são menos ecológicos e que exigem mais cuidados de cura.

Nesses casos, será ou não necessário cuidados especiais de cura? Serão diferentes dos casos de concreto correntes? Pode haver uma regra ou orientação geral ou cada caso será um caso?

Neste artigo, além de responder a esta questão, demonstra-se a importância do tipo de cimento e da relação a/c na definição científica dos prazos mínimos de cura quando a intenção é unicamente obter resistência à compressão.

de facilitar o entendimento deste tema.

### 2.1 Hidratação do cimento

É a reação química do cimento com a água, gerando produtos que possuem características de pega e endurecimento. Segundo Metha & Monteiro (2008) essa reação ocorre em duas fases sequenciais:

- **Dissolução - precipitação**, com a dissolução

de compostos anidros em constituintes iônicos → formação de hidratos na solução, devido a pouca solubilidade → precipitação de cristais.

- **Topoquímico ou hidratação** em estado sólido do cimento, as reações ocorrem

diretamente no local, ou seja, na superfície dos componentes do cimento anidro sem entrarem em solução.

Os primeiros mecanismos são dominantes nos estágios iniciais. Quando a mobilidade iônica da solução se torna restrita, a reação das partículas residuais do cimento ocorre pelo segundo mecanismo.

A velocidade de hidratação depende da composição do cimento, da finura, da ação de aditivos e das condições extrínsecas de exposição,

tais como temperatura e umidade relativa.

Em condições normais de temperatura, em torno de 23°C e RH > 98%, aos 28 dias, o grau de hidratação do cimento pode ser de 65% a 75%, alcançando os 100% somente aos 50 anos de idade ou mais, desde que em ambientes adequados e favoráveis à hidratação completa.

Para relações  $a/c$  muito baixas, em torno de 0,4, ou concretos mantidos em ambientes muito secos, nunca será alcançada a hidratação completa (Andrade, 2010).

## 2.2 O que é cura do concreto?

Podemos designar por cura o conjunto de operações ou procedimentos adotados para proteger a superfície dos elementos estruturais (contra temperaturas muito altas ou muito baixas, impactos, desgastes prematuros, dessecação

prematura) e, principalmente, evitar que a água usada no amassamento e destinada à hidratação do cimento evapore precocemente ao ambiente pelas regiões superficiais do concreto (Figueiredo, 2008).

## 2.3 Porque é necessária?

A água é parte integrante do processo de pega e endurecimento, conseqüentemente não poderá ser perdida sob pena de deixar vazios e criar esforços de retração hidráulica. Desta forma, quando uma mistura corretamente dosada é seguida de cura úmida, durante os primeiros estágios de endurecimento será conferido ao concreto as

melhores condições para se tornar um material de baixa permeabilidade, de baixa absorção de água, de alta resistência à carbonatação e à difusão de íons, e com resistência mecânica e durabilidade adequada, podendo em alguns casos até serem utilizados como cascos de navios (Fernandes, 2008).

## 2.4 Quais os principais objetivos da cura úmida?

Fundamentalmente, o conjunto de operações de cura a ser adotado para a hidratação do cimento em condições adequadas, deverá:

- Impedir a perda de água de hidratação precocemente;
- Controlar a temperatura do concreto durante

período de tempo suficiente, até que alcance o nível de resistência desejado;

- Eventualmente, em casos muito especiais, fornecer um suplemento adicional de água para as reações de hidratação.

## 2.5 Quais os procedimentos adequados para cura úmida de uma estrutura de concreto?

Existem vários procedimentos que podem ser adotados para curas normais em temperaturas ambientes, situação que ocorre na grande maioria das obras:

- Represamento ou imersão;
- Borrifamento de água ou neblina de água (*Spray*);
- Uso de revestimentos saturados que retenham

umidade (sacos de aniagem, mantas, cobertores, etc.);

- Vedação da superfície concretada através da aplicação de manta de papel impermeável, mantas de polietileno, compostos formadores de membrana de cura.

Na Fig. 1 apresentam-se dois procedimentos adequados e usuais de se curar o concreto.



1.a Cura úmida deve iniciar o mais cedo possível, e em ambiente seco e quente, o ideal é com uso de névoa (aspersão).



1.b Cura úmida com manta absorvente, permeável e saturada.

Figura 1. Exemplos práticos de procedimentos adequados de cura úmida (acervo de Carlos Brites, PhD Engenharia).

Quando houver necessidade de acelerar o ritmo da obra, agilizando-se a desforma, poderão ser utilizados procedimentos para cura acelerada. Tais procedimentos consistem em aquecer as fôrmas por meio da utilização de vapor d'água a temperaturas em torno de 60°C. Nessas condições, elevados

graus de hidratação podem ser obtidos em horas e assim reduzir o prazo de cura convencional à temperatura ambiente.

O mais importante é assegurar a hidratação do cimento para reduzir a porosidade e mobilidade iônica dentro do concreto (Helene, 1986, Guimarães, 2002).

### 3. Qual dos fatores mais contribui para o crescimento da resistência do concreto: o grau de hidratação ou a relação água/cimento?

Powers (1958) propôs o modelo matemático representado pela Equação 1 para determinação da resistência do concreto:

$$f_c = k \cdot \left[ \frac{0,68\alpha}{0,32\alpha + a/c} \right]^n \quad (\text{Eq.1})$$

onde:

$k$  e  $n$  são constantes que dependem do tipo de

cimento e dos agregados utilizados;

$\alpha$  = grau de hidratação;

$a/c$  = relação água/cimento do concreto, em massa.

Derivando-se a função  $f_c$  em relação à  $\alpha$  e  $a/c$  e dividindo-se as expressões obtidas, chega-se ao resultado expresso na Equação 4, o qual permite avaliar qual parâmetro terá maior influência na resistência do concreto.

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} = k \cdot n \cdot \left[ \frac{0,68\alpha}{0,32\alpha + a/c} \right]^{n-1} \cdot \left\{ \frac{[0,32\alpha + a/c] \cdot 0,68 - 0,68 \cdot \alpha \cdot 0,32}{[0,32\alpha + a/c]^{n-1}} \right\} \quad (\text{Eq.2})$$

$$\frac{\partial f}{\partial a/c} = k \cdot n \cdot \left[ \frac{0,68\alpha}{0,32\alpha + a/c} \right]^{n-1} \cdot \left\{ \frac{[0,32\alpha + a/c] \cdot 0,000 - 0,68 \cdot \alpha \cdot 1,00}{[0,32\alpha + a/c]^{n-1}} \right\} \quad (\text{Eq.3})$$

Dividindo-se:  $\frac{\text{eq.2}}{\text{eq.3}}$  tem-se:

$$\frac{\frac{\partial f}{\partial \alpha}}{\frac{\partial f}{\partial a/c}} = \frac{\frac{0,68a/c}{[0,32\alpha + a/c]^{n-1}}}{\frac{-0,68\alpha}{[0,32\alpha + a/c]^{n-1}}} = \frac{a/c}{\alpha} \quad (\text{Eq. 4})$$

Para a avaliação de qual dos parâmetros terá maior influência no crescimento da resistência do concreto, adota-se o seguinte raciocínio:

A Equação 4 apresentará seu valor em módulo, maior, menor ou igual a 1 (um), e uma das seguintes condições ocorrerá:

- Se  $|eq. 4|$  for  $> 1$ , indica que a influência de  $\partial f/\partial \alpha$  será maior e, portanto a variação de  $\alpha$  terá maior importância na variação do crescimento da resistência do concreto, sempre que  $\alpha < a/c$ ;
- Se  $|eq. 4|$  for  $< 1$ , indica que a influência de  $\partial f/\partial a/c$  será maior, portanto, a variação de  $a/c$  terá maior importância na variação do crescimento da resistência do concreto, sempre que  $a/c < \alpha$ ;
- Se  $|eq. 4|$  for  $= 1$ , a influência das duas derivadas será igual, e isso ocorrerá quando  $\alpha = a/c$ , portanto, quando o valor de  $\alpha$  se tornar igual ao valor de  $a/c$ , ambos terão a mesma importância na variação do crescimento da resistência do concreto.

Logo o parâmetro que mais influi no crescimento do valor da resistência será o de menor valor unitário. Fisicamente, significa que o grau de hidratação  $\alpha$  terá menor influência no crescimento

da resistência a partir do momento que superar o valor da relação  $a/c$  (Malhotra 1999, 2002).

Portanto, pode-se concluir que os procedimentos de cura serão de suma importância até o instante em que o valor de  $\alpha$  supere o de  $a/c$ .

Assim sendo, conclui-se que concretos com elevadas relações  $a/c$  devam ser curados em condições ideais por períodos de tempos mais longos que os concretos de elevado desempenho (HPC), pois estes têm baixa relação  $a/c$  e o grau de hidratação supera o valor de  $a/c$  rapidamente.

Adotando-se arbitrariamente  $k = 160$  e  $n = 3$  como valores médios característicos das constantes  $k$  e  $n$  para a maioria dos concretos, e substituindo-se esses valores na equação 1, resultará:

$$f_c = 100 \cdot \left( \frac{0,68\alpha}{0,32\alpha + a/c} \right)^3 \quad (\text{Eq. 5})$$

Utilizando-se a Equação 5, foram calculados os diversos valores de  $f_c$ , para os vários pares  $[\alpha, a/c]$ , conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Valor da resistência à compressão, em MPa, de um concreto arbitrário, em função do grau de hidratação ( $\alpha$ ) e da relação  $a/c$ .

$\alpha$	0,25	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
0,25		22	14	10	7	5	4	3	3	2	2
0,30		33	22	15	11	8	6	5	4	3	3
0,35		45	31	22	16	12	9	7	6	5	4
0,40		60	41	29	22	17	13	10	8	7	6
0,45		75	52	38	28	22	17	14	11	9	8
0,50		91	65	47	36	28	22	18	14	12	10
0,55		108	78	58	44	34	27	22	18	15	12
0,60		126	91	68	52	41	33	27	22	18	15
0,65		144	105	80	61	48	39	32	26	22	18
0,70			120	91	71	56	45	37	31	26	22
0,75			135	103	81	65	52	43	36	30	26
0,80				116	91	73	60	49	41	35	29
0,85				128	102	82	67	56	47	39	34
0,90				141	113	91	75	62	52	44	38
0,95					124	101	83	69	58	50	43
1,00					135	110	91	76	65	55	47

A partir dos valores apresentados na Tabela 1, pode-se observar que sempre que  $\alpha = a/c$ , a resistência à compressão desse concreto arbitrário alcança valor da ordem de 22MPa.

Em outras palavras, significa dizer que, do ponto de vista da resistência à compressão, quando o concreto atingir uma resistência por volta de 20MPa, as operações de cura (que manteriam  $a/c$ ) já não serão mais tão relevantes para o crescimento da resistência do concreto.

Deve ser lembrado que tal fato ocorre justamente nas primeiras idades dos concretos de elevado desempenho, assim como recordar que aos 28 dias de idade um concreto em ambiente usual de 16°C a 32°C terá grau de hidratação do cimento da ordem

de 70% (Andrade, 2010).

Cabe observar também que para essas resistências à compressão deve corresponder uma resistência à tração suficiente para resistir à maioria dos esforços usuais de retração hidráulica.

Portanto, se o objetivo for exclusivamente resistência, os concretos deveriam ser muito bem curados, ou seja, impedidos de perder água até que sua resistência à compressão seja da ordem de 22MPa, ou seja, acima de 20MPa.

Essa é uma regra prática e muito eficaz que usa a linguagem do operário e engenheiro de obra, porém outros fatores devem ser considerados, principalmente os de durabilidade e aspecto superficial.

#### 4. Afinal qual deve ser o período ou tempo de cura a ser adotado para as estruturas de concreto visando apenas a resistência?

Para responder a esta questão, que tem sido motivo de constante preocupação de engenheiros e construtores, será necessário estimar como cresce a resistência do concreto com o tempo (idade).

Esse crescimento depende, em princípio, de 3 fatores fundamentais:

- A relação água/cimento ( $a/c$ );
- O grau de hidratação do cimento;
- O tipo de cimento a ser utilizado na produção do concreto.

O modelo clássico de crescimento da resistência com a idade recomendado pelo *fib Model Code 2010*, é:

$$\frac{f_{c,t}}{f_{c,28}} = e^{s^* \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right)}$$

onde  $s=0,20$  para os HPC,  $s=0,25$  para os concretos normais ou correntes e  $s=0,38$  para os concretos com adição de pozolana ou escória de alto forno em teores superiores a 30% da massa de clínquer.

Em princípio, considerando-se os cimentos atuais, qualquer concreto com relação  $a/c \leq 0,50$  atingirá resistência superior a 20MPa aos 3 (três) dias de idade, ou seja, para tais concretos, esmero nas operações de cura não se justificam após atingirem a idade de 3 dias.

#### 5. A cura segundo o American Concrete Institute ACI

É próprio do ACI (*American Concrete Institute. Manual of Concrete Practice, Part 2, 2012*) oferecer um conjunto de procedimentos complexos e extensos para serem cumpridos em obra, dando sempre muita importância à qualidade da execução.

No caso, o ACI 318-11, *Building Code Requirements for Structural Concrete, chapter 5, item 5.11 Curing*, recomenda que, em geral, os concretos devem ser curados apropriadamente até que atinja 70% de sua resistência especificada (conceito similar ao de  $f_{ck}$ ), mas adverte que em certos casos onde a durabilidade seja muito importante, a cura pode durar ainda mais tempo.

O ACI 318-11 também se remete a outros documentos, indicando que a cura correta do concreto deve considerar, no mínimo, os seguintes procedimentos, apresentados de forma sucinta:

**1. ACI 308.1-11 Specification for Curing Concrete. ACI 308R-01 Guide to Curing Concrete**, que recomenda que os concretos correntes devam ser mantidos úmidos/saturados durante 7 dias e sempre em temperaturas acima de 10°C. No caso de HPC, podem ser assim mantidos por apenas 3 dias. No caso de uso de cura térmica, introduzem o conceito de maturidade;

**2. ACI 306.1-90 Standard Specification for Cold Weather Concreting. ACI 306R-10 Guide to Cold Weather Concreting**, que recomenda que se evite concretar em temperaturas abaixo de 5°C, e chama atenção para se evitar que a água do concreto congele;

**3. ACI 305.1-06 Specification for Hot Weather Concreting. ACI 305R-10 Guide to Hot Weather Concreting**, que recomenda uma série de cuidados extras para evitar a evaporação precoce e danosa da água de amassamento do concreto.

## 5. A cura segundo o *fib Model Code 2010*

A cura do concreto está referenciada no Chapter 8, Construction, item 8.6.3 Curing:

Todo concreto deve ser curado e protegido nas suas primeiras idades, para:

- Minimizar a retração plástica;
- Assegurar adequada resistência superficial;
- Assegurar adequada durabilidade frente à agressividade do ambiente;
- Proteger contra concretagem em clima quente;
- Proteger contra congelamento precoce;
- Proteger contra desgaste impacto superficial

Recomenda em seguida que sejam respeitadas as regras e procedimentos de bem construir constantes da ISO 22966, que especifica 4 procedimentos distintos de cura, com duração desde 12 horas (cura acelerada) a 70% da resistência característica aos 28 dias.

Recomenda ainda que exista uma “*Especificação da Execução*”, algo como um “*Projeto de Execução*” para cada estrutura, e que a cura esteja bem definida nesse documento e na tabela de preços (previsão orçamentária) da obra.

## Considerações finais

Segundo *Aitcin (2000)* “... a superfície do concreto é sempre a primeira linha do ataque do ambiente sobre uma estrutura. Caso tenha ocorrido um enfraquecimento superficial devido à cura inadequada isto pode ser crítico para a durabilidade da estrutura. Assim é sempre importante avaliar o risco que se assume, enfraquecendo-se a superfície do concreto, por uma cura inadequada”.

Os efeitos negativos de uma cura inadequada não são percebidos a olho nu e muitas vezes não são devidamente compreendidos por aqueles engenheiros com pequeno conceito de durabilidade.

A maioria dos problemas gerados (porosidade, fissuras, corrosão precoce das armaduras, redução de rigidez, redução do isolamento acústico e térmico, falta de estanqueidade, poeira excessiva em pavimentos, descolamentos de pisos aderidos, e outros) só vão se manifestar anos depois e vão, principalmente, infernizar a vida dos usuários (*Helene, 1988, 1997; Husni, 2003*).

Daí a importância de se cumprir com as regras de bem construir, mesmo que estas, a curto ou imediato prazo, não demonstrem seu benefício. Cabe ressaltar que para obter o maior incremento de resistência e a melhora das propriedades de

um concreto através das operações de cura, estas deverão se programadas e planejadas desde o início da obra, principalmente com disposição de pontos de água, aquisição de manta, aquisição de máquinas aspersoras de spray, etc.

Concluindo:

- Na grande maioria dos casos é necessário, suficiente e fundamental, manter a cura adequada até que o concreto estrutural ou de pavimento (piso) atinja 20MPa;

- A cura úmida deve ser mais demorada em concretos de baixa resistência que em concretos do tipo HPC. Ironicamente, as obras que mais necessitam das operações cuidadosas de cura são as que menos as recebem (pequenas obras com concretos de relação a/c elevada);

- Infelizmente, os componentes estruturais que mais necessitam de cura, como pilares, vigas de transição e vigas em geral, são os que menos a recebem. É prática usual curar somente a parte superior das lajes. Não curar pilares, vigas e paredes somente se justificariam se as fôrmas fossem mantidas pelos prazos prescritos, impedido a evaporação da água de amassamento do concreto;

- Para os concretos de elevado desempenho

(HPC) e aqueles produzidos com cimentos mais finos, adições e com baixas relações a/c, as atividades de cura não são de vital importância além de 2 a 3 dias de idade.

Neste trabalho, procurou-se demonstrar e deduzir os prazos de cura adequados e necessários

para obtenção das resistências à compressão desejadas. Todavia, cabe ressaltar que nos casos onde a durabilidade é um parâmetro determinante, as considerações serão mais complexas e os procedimentos mais exigentes.

## Referências Bibliográficas

- AITCIN, P.C. **Concreto de Alto Desempenho**. Trad. Geraldo G. Serra, 1ª Edição. São Paulo: PINI, 2000.p. 360.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI 318-11 **Building Code Requirements for Structural Concrete**. ACI Manual of Concrete Practice, 2012
- ANDRADE, Tibério & HELENE, Paulo. **Concreto de Cimento Portland**. Capítulo 29. In: ISAILA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2 ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2. p. 945-984 ISBN 978-85-98576-14-5 e 978-85-98576-15-2
- CASTRO-BORGES, Pedro & HELENE, Paulo. **Service Life Concepts of Reinforced Concrete Structures**. New Approach. Chapter 13. In: Sagues, A.A.; Castro-Borges, Pedro; Castañeda-Lopez, H. & Torres-Acosta, A.A (Ed.). Corrosion of Infrastructure. 13 ed. USA: The Electrochemical Society, 2007, ECS Transactions, v. 3. p. 9-14 ISBN 978-1-56677-540-3
- FERNANDES, Juliana; BITTENCOURT, Tulio N. & HELENE, Paulo. **A Review of the Application of Concrete to Offshore Structures**. Chapter 25. In: Fifth ACI/CANMET International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials. ACI SP-253. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, 2008. p. 393-408 ISBN 978-0-87031-277-9
- Fib (CEB-FIP) Model Code 2010**. Final Draft. V. 1 & 2. Bulletin 65 & 66, 2012. ISBN 978-2-88394-106-9. ISSN 1562-3610
- FIGUEIREDO, Enio J. P.; HELENE, Paulo; HOLLAND, Terence & BITTENCOURT, Rubens. **Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing**. ACI SP-229. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2005. v.1. 510 p. ISBN 0-87031-182-4
- FIGUEIREDO, Enio; HOLLAND, Terence; MALHOTRA, V. M. & HELENE, Paulo. **Fifth ACI/CANMET International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials**. ACI SP-253. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, 2008. 413 p. ISBN 978-0-87031-277-9
- GUIMARÃES, André & HELENE, Paulo. **Influence of the Saturation Degree of Concrete on Chloride Diffusion: Laboratory and Field Tests in Marine Structure 22-year-old**. Chapter 11. In: Mohan Malhotra; Paulo Helene; Enio Figueiredo & Armando Carneiro (Ed.). **High-performance Concrete. Performance and Quality of Concrete Structures**. ACI SP-207. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, 2002. v.1. p. 169-192. ISBN 0-87031-079-8
- HARTMANN, Carine T & HELENE, Paulo. **HPCC in Brazilian Office Tower**. Concrete International, v.25, p.64 - 68, 2003
- HELENE, P. **Concreto e Sustentabilidade, In Concrete Show**. 2007. São Paulo – SP. Anais CD-ROOM. São Paulo: ABCIC, 2007.
- HELENE, Paulo. **Vida Útil das Estruturas de Concreto** In: IV Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle da Qualidade CONPAT-97, 1997, Porto Alegre. IV Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle da Qualidade CONPAT-97, 1997. v.1. p.1 – 30
- HELENE, Paulo. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. São Paulo: PINI/IPT, 1986. 45 p. ISBN 85-09-00004-2
- HELENE, Paulo. **Manual para Reparación, Refuerzo y Protección de las Estructuras de Concreto**. México City, Instituto Mexicano del Cimento y del Concreto IMCYC, 1997. 148p. ISBN 968-464-005-6
- HELENE, Paulo. **Manual Prático para Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo, Pini, 1988. 119p. CDD 624.18340288
- HELENE, Paulo. **Protección y Mantenimiento de las Superfícies de Hormigón**. Capítulo 12. In: Xavier Casanovas (Ed.). **Manual de Diagnosis e Intervención en Estructuras de Hormigón Armado**. Barcelona, Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, 2000, p. 115-126. ISBN 84-87104-43-6
- HUSNI, Raul; PEREIRA, Fernanda; HELENE, Paulo; CASTRO, Pedro & AGUADO, Antonio (Ed.). **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón: Reparación, Refuerzo y Protección**. São Paulo: Red Rehabilitar, CYTED, 2003. v.1. 750 p. ISBN: 85-90370-71-2
- LEVY, Salomon Mony. **Durabilidade de Concretos com Agregados Reciclados de Concreto e Alvenaria**. 2001. São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil (Tese de Doutorado)
- MALHOTRA, Mohan; HELENE, Paulo; FIGUEIREDO, Enio & CARNEIRO, Armando. **High-performance Concrete. Performance and Quality of Concrete Structures**. ACI SP-207. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, 2002. v.1. 514 p. ISBN 0-87031-079-8
- MALHOTRA, Mohan; HELENE, Paulo; PRUDÊNCIO Jr., Luis & MOLIN, Denise. **High-performance Concrete. Performance and Quality of Concrete Structures**. ACI SP-186. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, 1999. v.1. 793 p. ISBN 99-62046
- METHA, P. Kumar & MONTEIRO, P.J. M. **Concreto, Estrutura Propriedades e Materiais**, Revisores e Coordenadores, HASPARYK, N. P., HELENE P. & PAULON A. V. São Paulo, IBRACON, 2008. 674p
- POSITIERI, Maria & HELENE, Paulo. **Physico-mechanical Properties and Durability of Structural Colored Concrete**. Chapter 13. In: Fifth ACI/CANMET International Conference on High-Performance Concrete Structures and Materials. ACI SP-253. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, 2008. p. 183-200 ISBN 978-0-87031-277-9
- POWERS, Treal C. **Structure and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste**. **Journal of the American Ceramic Society**, v.41, n.1, p.1-6, 1958
- RINCÓN, Oladis; HELENE, Paulo; CARRUYO, Aleida R; ANDRADE, Carmen & DÍAZ, Isabel (Ed.). **Manual for Inspecting, Evaluating and Diagnosing Corrosion in Reinforced Concrete Structures**. Maracaibo, Red Durar, CYTED, 2000. v.1. 204 p. ISBN 98-02965-41-3
- TERZIAN, Paulo & HELENE, Paulo. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo, PINI / SENAL, 1993. 189p. ISBN 85-7266-007-0

# Boletins Técnicos Alconpat

**BT 01 – Bernardo Tutikian e Marcelo Pacheco**

Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil

*Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico na Construção Civil*  
*Civil Construction Assessment*

**Boletim técnico 02 – Raúl Husni**

Reparación y Refuerzo

*Reparo e Reforço*  
*Repair and Strengthening*

**Boletim técnico 03 – Antônio Carmona Filho e Thomas Carmona**

Grietas en Estructuras de Hormigón

*Fisuração nas Estruturas de Concreto*  
*Cracking in Concrete Structures*

**BT 04 – Fernando Branco, Pedro Paulo e Mário Garrido**

Vida Útil en la Construcción Civil

*Vida Útil na Construção Civil*  
*Service Life in Civil Construction*

**BT 05 – Gilberto Nery**

Monitoreo en la Construcción Civil

*Monitoração na Construção Civil*  
*Monitoring in Civil Construction*

**BT 06 – Enio Pazini Figueiredo e Gibson Meira**

Corrosión de armadura de estructuras de hormigón

*Corrosão das armaduras das estruturas de concreto*  
*Reinforcement corrosion of concrete structures*

**BT 07 – Alicia Mimbacas**

Sostenibilidad en la Construcción

*Sustentabilidade na Construção*  
*Construction Sustainability*

**BT 08 – Paulo Helene e Salomon Levy**

Curado del Hormigón

*Cura do Concreto*  
*Concrete Curing*

**BT 09 – Paulo Helene e Jéssika Pacheco**

Controle da Resistência do Concreto

*Control de la Resistencia del Hormigón*  
*Conformity control for compressive strength*

**BT 10 – Hênio Tinoco**

Responsabilidad Social en Construcción

*Responsabilidade Social na Construção Civil*  
*Social Responsibility in Civil Construction*

Patrocínio de: