



Medida de maduridade do concreto in situ numa estrutura

J. D. Sota¹, F. A. Avid¹, P. Moreira¹, M. Chury¹

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concordia, Argentina.

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v6i3.149>

Artículo recibido el 30 de Mayo, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 16 de Agosto de 2016. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2017 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2017.

© 2016 ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 6, No. 3, Septiembre – Diciembre 2016, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat_int@gmail.com, Página Web:www.alconpat.org
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de publicación: 30 de septiembre de 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

RESUMO

Neste trabalho foi determinado o grau de maturidade in situ do concreto numa estrutura. Para tanto, as temperaturas foram medidas nas fundações de concreto de uma estrutura, desde as primeiras horas de hidratação até 28 dias, com um equipamento desenvolvido na Faculdade. Simultaneamente, foram realizados ensaios de resistência à compressão para se estabelecer a relação com as temperaturas, com base nas expressões Nurse-Saul e Arrhenius. Os resultados obtidos permitem determinar a curva de maturidade do concreto estudado e estabelecer o grau de maturidade em cada uma das diferentes partes da estrutura.

A utilização desta metodologia permite controlar todo o concreto recebido, a sua homogeneidade e monitorar a resistência em tempo real.

Palavras-chave: maturidade; concreto; temperatura; resistência.

RESUMEN

En este trabajo realizamos la determinación del grado de madurez del hormigón in situ en una estructura. Para ello, se miden las temperaturas en las bases de hormigón de una estructura, desde las primeras horas de la hidratación, hasta los 28 días, con un equipo desarrollado en la Facultad. Simultáneamente se realizan ensayos de resistencia a la compresión estableciendo la relación con las temperaturas, con las expresiones de Nurse-Saul y Arrhenius. Los resultados permitieron determinar la curva de madurez del hormigón estudiado y establecer el grado de madurez en cada una de las partes diferenciadas de la estructura.

El uso de esta metodología permite controlar la totalidad del hormigón recibido, su homogeneidad y monitorear su resistencia en tiempo real.

Palabras claves: madurez; hormigón; temperatura; resistencia.

ABSTRACT

In this paper we determine the degree of maturity in situ concrete structure. To do this, temperatures are measured in the concrete foundations of a structure, from the first hours of hydration, to 28 days, with a device developed at the Faculty. Simultaneously testing compressive strength are performed establishing the relationship with temperature, with expressions Nurse-Saul and Arrhenius. The results allowed to determine the maturity curve of the studied concrete and establish the degree of maturity in each of the different parts of the structure.

The use of this methodology allows to control the entire concrete received, its homogeneity and to monitor resistance in real time.

Keywords: maturity; concrete; temperature; resistance.

Autor de contato: Jorge Daniel Sota (jdsota@gmail.com)

1. INTRODUÇÃO

O método de maturidade fornece um meio simples e útil para estimar o ganho de resistência do concreto nas primeiras idades (geralmente inferiores a 14 dias).

Deve ser mencionado que é necessário ter a curva de maturidade da dosagem a ser utilizada, porque a curva é própria do conjunto dos materiais utilizados.

Este método reconhece o efeito combinado do tempo e da temperatura, fornecendo uma base para estimar o desenvolvimento de resistência do concreto "in loco" através do controle da temperatura e do tempo (Peter C. Taylor, Steven H. Kosmatka, Gerald F. Voigt, et al., 2007).

Os efeitos do tempo e da temperatura no aumento da resistência do concreto foram quantificados por uma função de maturidade, que é indicativo do nível de resistência desenvolvido pelo concreto. As duas funções de maturidade utilizadas para esta finalidade são a de Nurse-Saul e a de Arrhenius (ACI 325.11R-01, 2001).

A função de Nurse-Saul, desenvolvida na década de 50 e a mais amplamente aceita para medir a maturidade, é o produto acumulado do tempo e temperatura, equação 1.

$$M(t) = \sum (T_a - T_0) \Delta t \quad (1)$$

onde:

M (t) = maturidade (fator temperatura-tempo) na idade t, em °C.dias ou °C.horas;

T = intervalo de tempo, em dias ou horas;

T_a = temperatura média do concreto durante o intervalo Δt, em °C; e

T₀ = temperatura de referência, em °C.

A temperatura de referência é a temperatura em que cessa o ganho de resistência do concreto; portanto, os períodos em que as temperaturas estão dentro ou abaixo desta temperatura de referência, não contribuem para o aumento da resistência. Geralmente, se utiliza um valor de -10°C para a temperatura de referência na equação Nurse-Saul (ACI 325.11R-01, 2001).

A maturidade também pode ser determinada utilizando o método de Arrhenius, que considera a não linearidade da taxa de hidratação do cimento. O método de Arrhenius produz um índice de maturidade em termos de uma "idade equivalente", que representa o tempo de cura equivalente, a uma temperatura de referência, geralmente 20°C, necessária para produzir uma maturidade igual à alcançada durante um período de cura a temperaturas diferentes da temperatura de referência, equação 2.

$$t_e = \sum e^{-Q \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s} \right)} \Delta t \quad (2)$$

onde:

t_e = idade equivalente a uma temperatura de referência T_s, em dias ou horas;

Q = energia de ativação dividida pela constante geral dos gases, em K;

T_a = temperatura média do concreto durante o intervalo Δt, em K;

T_s = temperatura de referência, em K e

Δt = intervalo de tempo, em dias ou horas.

A equação de Arrhenius é uma melhor representação da função temperatura-tempo que a função Nurse-Saul, quando se espera uma grande variação na temperatura do concreto. Além disso, o foco de Nurse-Saul está limitado em função de assumir que a taxa de ganho de resistência é uma função linear. No entanto, a fórmula Nurse-Saul é mais amplamente utilizada, principalmente devido a sua simplicidade. Ambas as funções de maturidade são consideradas na norma ASTM C 1074 (Barreda M. F., Naber M. J., Quispe Sallo I., Sota J. D., 2003).

Devido a maturidade ser dependente apenas do desenvolvimento do tempo e da temperatura do concreto, os requisitos mais básicos de equipamentos para determinar a maturidade são um termômetro e um relógio. No entanto, ao longo dos anos, têm sido desenvolvidos vários dispositivos de maturidade que monitoram e registram automaticamente as temperaturas do concreto em função do tempo. Estes dispositivos se conectam a termopares embutidos no concreto e podem computar a maturidade pela equação Nurse-Saul e a equação de Arrhenius, em intervalos definidos (ASTM C 1074, 1998).

No caso deste trabalho, tem sido desenvolvido um protótipo de equipamento de medição em conjunto com software, a fim de realizar os ensaios (Sota J. D., Avid F. A., Chury M., Moreira P., 2014).

2. METODOLOGIA

Foi desenvolvido um equipamento de medição que foi complementado com o software que permite a manipulação dos dados obtidos. O projeto do sistema inclui uma série de sensores de temperatura conectados a um minicomputador (Figura 1), registrando também a temperatura na superfície do concreto (Figura 2). Ele lê os sensores (Figura 3), as temperaturas a intervalos predeterminados e os registra. Um programa executa uma leitura permanente da informação gerada que logo a armazena em um banco de dados, permitindo o seu processamento usando as expressões de Nurse-Saul para cálculo da maturidade e/ou de Arrhenius.



Figura 1. Microcomputador (RaspberryPi B+)



Figura 2. Termômetros digitais



Figura 3. Sensores

Foram estudados os concretos das fundações de uma estrutura de expansão dos laboratórios da Faculdade, monitorando o desenvolvimento da resistência com a medida da maturidade dos concretos, com sensores colocados nas mesmas. Figura 4. As bases para posicionar os sensores foram escolhidas em função da sua localização na estrutura e das etapas de lançamento do concreto durante o dia. O que permitiu ter valores registrados em concretos lançados durante a manhã (Sapata 7), na metade da concretagem (Sapata 3) e ao final da mesma (Sapata 10).



Figura 4. Colocação dos sensores

A dosagem foi composta de um cimento Portland CPC-40, cimento Portland composto (até três adições), resistência de argamassa de 40MPa (Norma IRAM 50000); areia silicosa grossa de uma pedreira na área; pedregulho silicoso de tamanhos 1:3 e 1:2 e um aditivo superplastificante. As características dos agregados estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos agregados

Material	Módulo de finura	Dimensão Máxima característica	Massa específica aparente
Areia silicosa grossa	2,69	--	1,5
Pedregulho 1:3	7,26	1"	1,7
Pedregulho 1:2	6,70	3/4"	1,6

As proporções dos materiais componentes da dosagem encontram-se resumidas na Tabela 2.

Tabela 2. Dosagem do concreto usado nos ensaios

Material	Massa específica (g/cm ³)	Volume (litros)	Peso (kg)
Água	1,00	158	158
Cimento	3,11	101	315
Areia silicosa grossa	2,62	309	811
Pedregulho 1:2	2,66	167	444
Pedregulho 1:3	2,67	249	666
Aditivo	2,5 kg/m ³		
Ar (%)	2		
Abatimento (cm)	10		
Resistência média aos 28 dias	25MPa		

Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de 15x30 para determinar a resistência a diferentes idades estudadas, simultaneamente com o lançamento do concreto. As resistências dos corpos de prova se correspondiam com o concreto lançado na fundação onde foram colocados os sensores.

As medições de temperatura foram feitas nas sapatas 3, 7 e 10 da estrutura.

Os ensaios de resistência foram realizados com uma Prensa Automática Digital PILOT 4 (Controles da Itália) de 200 toneladas de capacidade; com visualização gráfica em tempo real dos dados do ensaio, a curva de carga/tempo e a velocidade de carga real, assim como a visualização simultânea da carga, tensão e velocidade de carga real em função das cargas ou das tensões.

Os corpos de prova ensaiados foram mantidos no ambiente das fundações em que foram efetuadas as medições durante o ensaio, sob as mesmas condições de umidade e temperatura (25,5 - 27,5°C e 75% de UR).

3. RESULTADOS

Obtidos os dados de resistência nos ensaios de compressão dos corpos de prova e de temperatura com o equipamento projetado para estas experiências (colocados nas sapatas 3, 7 e 10), procedeu-se a correlação destes com os tempos parciais utilizados. (Dados do madurômetro e resistência com a mesma idade).

Foi utilizada a fórmula de Nurse-Saul - Maturidade (°C.h) para as variáveis, tempo, temperatura e resistência. A Figura 5 mostra a relação tempo vs. maturidade para a sapata 10 (a título de exemplo) e as Figuras 6,7 e 8 a relação resistência vs. maturidade para as sapatas 3, 7 e 10.

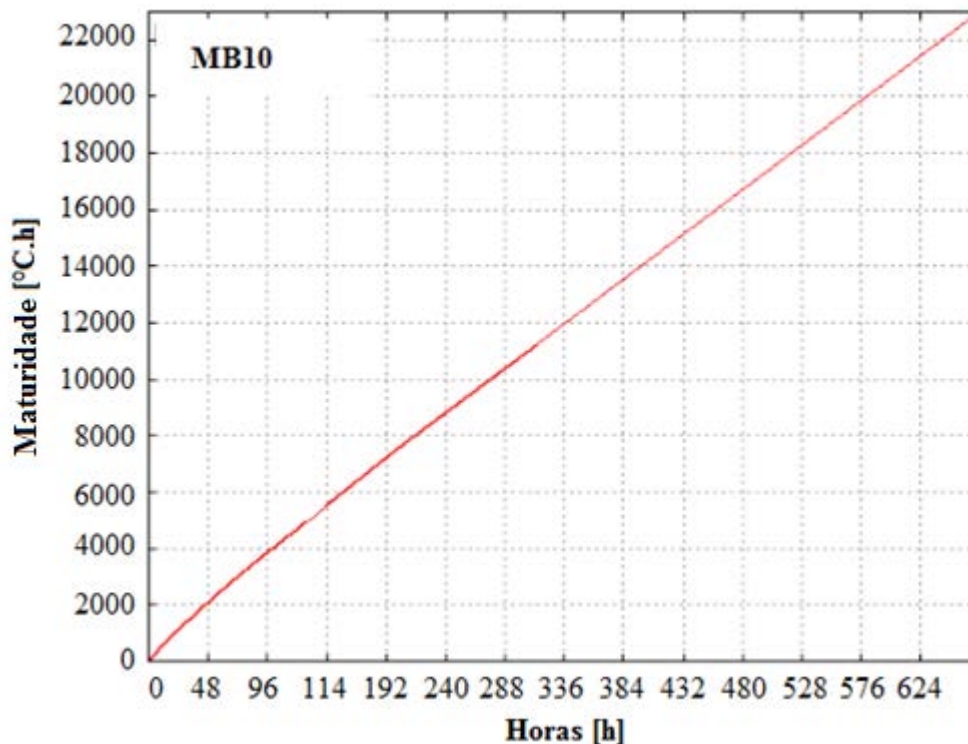


Figura 5. Tempo vs maturidade Sapata 10

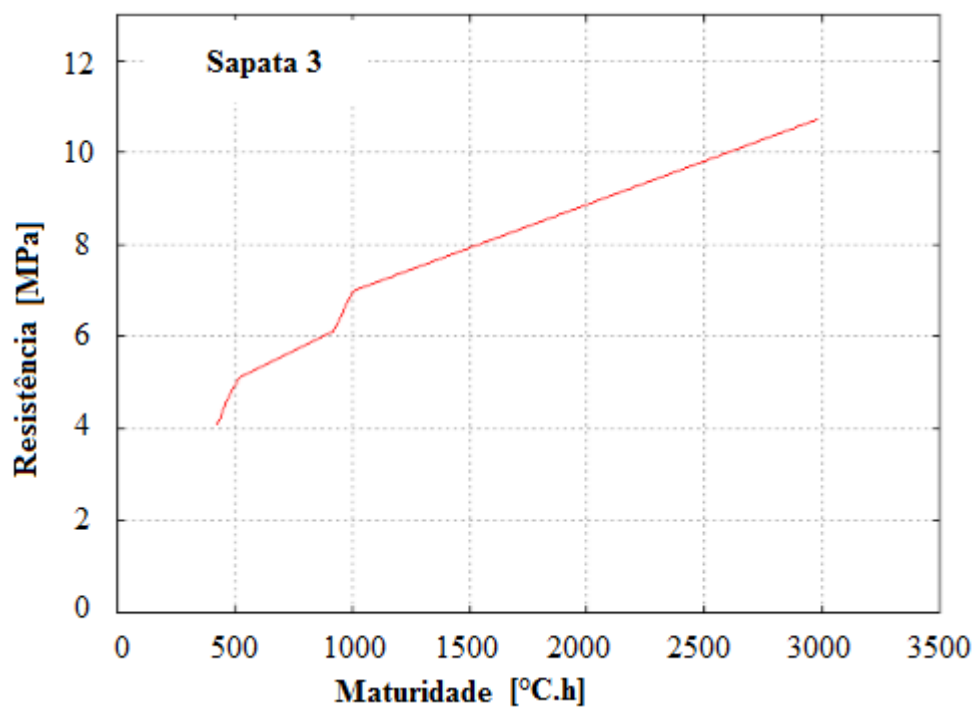


Figura 6. Resistência vs maturidade Sapata 3

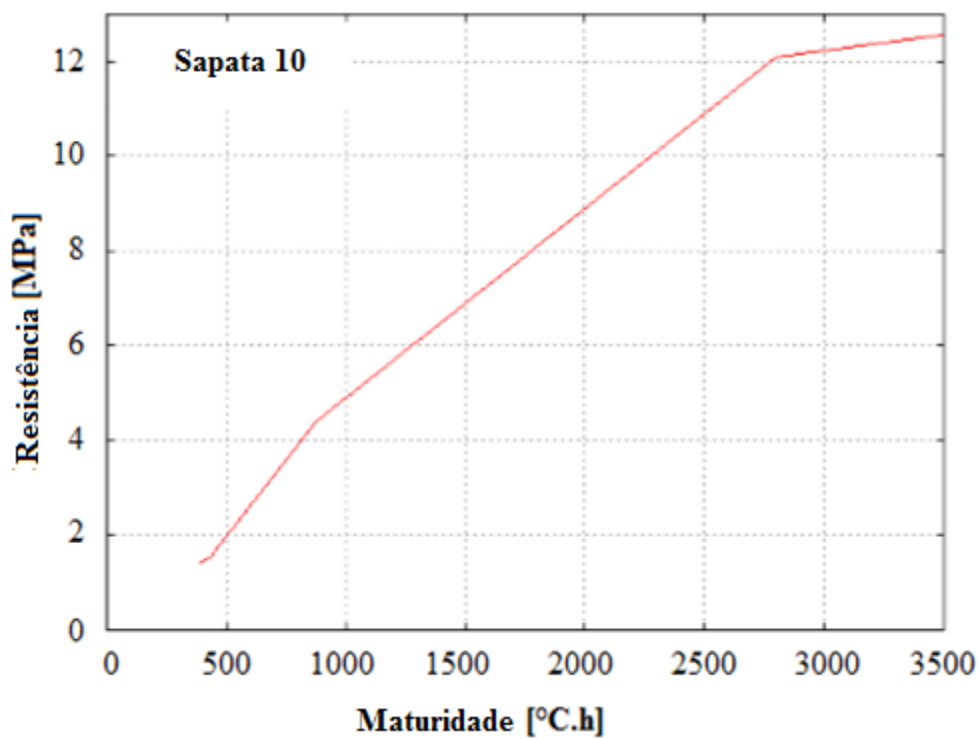


Figura 7. Resistência vs maturidade Sapata 10

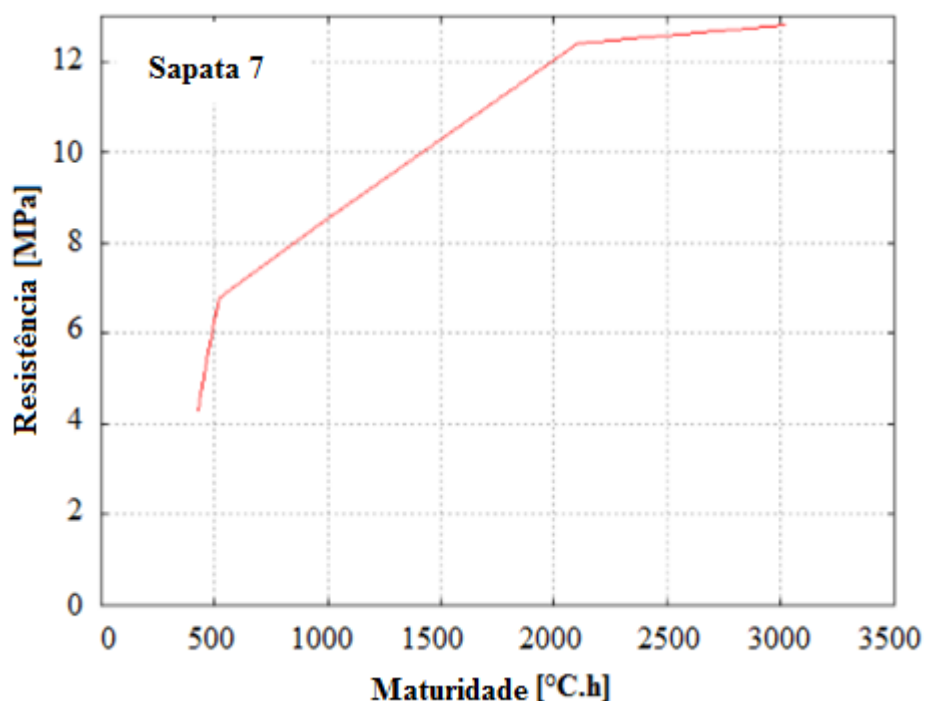


Figura 8. Resistência vs maturidade Sapata 7

Foi observada nas mesmas uma boa correlação entre os valores determinados de maturidade e os correspondentes às resistências. Os gráficos expressam os valores reais de resistência de cada sapata determinados com o ensaio dos corpos de prova. Tabela 3.

Os sensores corroboram que o concreto entregue à obra cumpria com o valor de resistência requerido pela especificação (H21). Os valores de resistência aos 28 dias confirmam isto.

Tabela 3. Resistências determinadas nas sapatas com corpos de prova de concreto a distintas idades

Sapata 3		Sapata 7		Sapata 10	
Idade horas	Resistência em MPa	Idade horas	Resistência em MPa	Idade horas	Resistência em MPa
9	1,4	--	--	--	--
10	1,5	10	4,1	10	4,0
11	--	11	4,7	11	5,6
12	--	12	5,0	12	6,8
20	4,4	20	--	20	--
21	--	21	6,1	21	--
22	--	--	--	22	8,4
23	--	23	7,0	23	--
68	12,1	73	10,7	74	12,8
667	25,0	--	--	--	--

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função dos resultados obtidos nesta primeira experiência, podem-se fazer as seguintes considerações:

A utilização desta metodologia permite controlar todo o concreto recebido, sem necessidade de moldar uma quantidade significativa de corpos de prova para ensaios posteriores.

A leitura dos sensores permite estabelecer a homogeneidade do concreto e monitorar o desenvolvimento da resistência dia a dia.

A metodologia será aplicada em uma próxima experiência ao monitoramento da resistência em uma estrutura completa de concreto (lajes, vigas e pilares).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Empresa Construtora DINALE S.A., à Empresa de Serviços de Concretagem COINAR S.R.L. pela colaboração e dados fornecidos para realizar os ensaios e aos membros do Grupo GIICMA por sua colaboração nos ensaios, em especial aos alunos companheiros de engenharia civil Andrea Pereyra e Alberto Palacios.

6. REFERÊNCIAS

- ACI 325.11R-01 (2001), American Concrete Institute. Accelerated Techniques for Concrete Paving.
- ASTM C 1074 (1998), Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method.
- Barreda, M. F., Naber, M. J., Quispe Sallo, I., Sota, J. D. (2013), “*Fisuras de contracción en pavimentos de hormigón y el aserrado de juntas*”, XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción. CONPAT 2013. Octubre de 2013. Cartagena de Indias, Colombia.
- Sota, J. D., Avid, F. A., Chury, M., Moreira P. (2014), “*Medida de la madurez del hormigón de pavimentos urbanos para determinar su resistencia. Diseño de equipamiento*”, X Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. CINPAR 2014. 4 al 6 de junio de 2014. Santiago, Chile.
- Taylor, P. C., Kosmatka, S. H., Voigt, G. F. et al (2007), *Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: a State-of-the-Practice Manual*, FHWA Publication No. HIF - 07 – 004.