

## **VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DA MATURIDADE NO MONITORAMENTO DA RESISTÊNCIA DE CONCRETOS EM REGIÕES DE CLIMA TROPICAL**

Julierme Siriano da Silva (Mestre em Engenharia Ambiental (Universidade Federal do Tocantins), Professor Curso Engenharia Civil UnirG) julierme\_piu@hotmail.com  
Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira (Mestre em Engenharia Ambiental (Universidade Federal do Tocantins), Professor Curso Engenharia Civil UFT)  
Evandro Schmitt (Engenheiro Civil, Professor Curso Engenharia Civil UnirG)  
Fabiano Fagundes (Engenheiro Civil, Professor Curso Engenharia Civil UnirG)

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta um estudo sobre o método não destrutivo da ASTM C 1074-11 para o controle da resistência à compressão a partir da evolução da temperatura ao longo do tempo durante a cura do concreto em regiões de clima tropical, como é o caso do estado do Tocantins, denominado de Método da maturidade. Por meio deste, torna-se possível saber, por exemplo, em que momento poderá ser realizado a desforma, a aplicação de cargas e tempo de cura dos elementos concretados. A pesquisa objetiva-se em avaliar o concreto armado constituído do CP II F - 32 com seixo rolado e relação a/c 0.52, curado em câmara úmida saturada em temperatura média de 25 °C utilizando o conceito de Maturidade, bem como na determinação da energia aparente de ativação que utiliza corpos de prova em argamassa cúbicos de 5 x 5 x 5 cm. Estes, que foram curados às temperaturas de 25, 40 e 60 °C. Para os ensaios de resistência à compressão, romperam-se corpos de prova cilíndricos  $\Phi 10 \times 20$  cm em idades de 1, 3, 7, 14 e 28 dias. Os resultados obtidos permitiram observar a viabilidade e eficiência da utilização do Método da Maturidade para a determinação das resistências à compressão do concreto em regiões com clima tropical.

**Palavras chaves:** ASTM C 1074-11; Clima tropical; Concreto armado.

## **VIABILITY OF THE MATURITY METHOD THAT DOES NOT MONITOR CONCRETE STRENGTH IN TROPICAL CLIMATE REGIONS**

### **ABSTRACT**

This work presents a study on the non-destructive method of ASTM C 1074-11 for the control of the compressive strength from the evolution of the temperature over time during the curing of the concrete in regions of tropical climate, as is the case of the state of Tocantins, denominated Method of maturity. Through this, it becomes possible to know, for example, at what point can be held on removing forms, the application loads and curing time of concrete elements. The research aims at assessing the concrete consisting of CP II F-32 with Boulder and ratio a/c 0.52, cured in the incubation chamber saturated in an average temperature of 25° C using the concept of maturity, as well as in determining the apparent energy of activation that uses in mortar cubic specimens of 5 x 5 x 5 cm. These were cured at temperatures of 25, 40 and 60°C. For the compressive strength tests, broke up bodies of cylindrical test  $\Phi 10 \times 20$  cm in ages

1, 3, 7, 14 and 28 days. The results obtained allowed to observe the feasibility and efficiency of the use of the Maturity Method for the determination of concrete compressive strengths in regions with tropical climate.

**Keywords:** ASTM C 1074-11; Tropical weather; Reinforced concrete.

## **1. INTRODUÇÃO**

No estado do Tocantins o clima é bem definido, com o período chuvoso percorrendo os meses de agosto a maio e o período de seca de junho a setembro, onde, este se caracteriza por apresentar umidades baixas podendo chegar a 20% e incidência de elevadas temperaturas, atingindo até 40 °C nos dias mais quentes. Estas condições climáticas são apresentadas em regiões de clima tropical (BARBOSA & LIMA, 2009).

Esse indicador de elevadas temperaturas pode afetar as propriedades do concreto tanto no estado fresco como no endurecido, pois aceleram liberação de calor em temperaturas mais altas, visto que estas atuam como catalizadores das reações.

Conforme Ceconello & Tutikian (2012) apud Pinto & Barbosa et al. (2006), todo processo de hidratação do cimento pode ser comparado a partir de uma taxa de evolução que depende da concentração e da temperatura de todos os compostos. Assim, a hidratação é acelerada em temperaturas altas e reduzida em temperaturas baixas.

Monteiro apud Thomaz (2016) recomenda que a temperatura de lançamento do concreto seja menor que 19 °C, e a ideal girando em torno de 15 °C.

Tais níveis de temperaturas citados contrapõem-se a realidade climática do estado, a mínima está entre 18 e 20 °C e a máxima entre 38 e 40 ° segundo pesquisas realizadas pelo Laboratório de Meteorologia e Climatologia do CUP/UFT, que coletou dados climáticos da cidade de Palmas-TO em uma série de 08 anos, no período de 2002 a 2009.

Elevadas temperaturas não afetam somente o desenvolvimento das reações de hidratação, mas também as características e posicionamento dos produtos consequentes destas reações. Com a grande velocidade inicial de hidratação não há tempo suficiente para a difusão dos produtos para posições mais distantes das partículas de cimento e para uma precipitação uniforme nos espaços intersticiais, como ocorre a temperaturas mais baixas (VERBECK & HELMUTH, 1968).

Por outro lado, há situações em que se procura aumentar a temperatura no entorno da peça de concreto para acelerar o endurecimento e as reações de endurecimento do concreto, como é caso de indústrias de estruturas de pré-fabricadas (COSTA & SILVA *et al.* 2009). Na cidade de Palmas, atual capital do estado do Tocantins, algumas empresas que produzem peças pré-fabricadas adotam este processo de aceleração de cura utilizando lonas plásticas de polietileno, que encobrem as peças pré-fabricadas, absorvendo calor e, conseqüentemente, acelerando também reações de hidratação.

O concreto estrutural leve (LWC) surgiu no início do século XX. Mantendo um nível aceitável de força, concreto leve; em relação ao peso normal em concreto; (a)

reduz as ações de inércia horizontal em estruturas em regiões sísmicas (Sari e Pasamehmetoglu 2005), (b) tem um efeito favorável sobre os fundamentos de edifícios suportados por solo com baixa capacidade de suporte ec) facilita o transporte de elementos de concreto pré-moldado. Essas propriedades incentivam a indústria de concreto a desenvolver produtos de concreto pré-fabricados, como vigas de concreto armado leve que podem ser instaladas no local por manipulação ligada ao seu peso reduzido.

Em função da carência de estudos sobre o comportamento da resistência mecânica à compressão diante de regiões que apresentam altas temperaturas, entende-se que se fez necessário utilizarem o Método da maturidade, a fim de subsidiar empreiteiros e mestres de obra, e de ser uma nova opção de estudo desta propriedade na produção de elementos estruturais de concreto, buscando uma melhor eficiência e controle de qualidade.

Por ser um material estrutural amplamente utilizado na construção devido às inúmeras vantagens, como resistência, durabilidade, facilidade de fabricação e propriedades não combustíveis, que possui sobre outros materiais de construção. Deve ter uma atenção especial às fases de concretagem e desforma (KODUR, 2014). Por conseguinte, é crucial que um material de construção sustentável e durável, seja efetivamente utilizado em qualquer condição ambiental dada, de modo a sinergizar uma interação sustentável entre ambiente natural e construído (KEWALRAMANI *et al.*, 2017).

Outra questão a ser elencada consiste no esforço de pesquisadores que têm trabalhado continuamente na busca formas de aperfeiçoar os projetos e maximizar o desempenho do concreto em estado fresco e endurecido, diminuindo custos de produção e tempo de desforma (GHASEMI, 2017).

O Método da maturidade é uma ferramenta que permite acompanhar o desenvolvimento da resistência nas idades iniciais após a concretagem, ajudando na tomada de decisão (por exemplo, retirada das fôrmas e escoramentos, liberação de pavimentos para trabalhos e/ou protensão das estruturas de concreto) economizando tempo e custos na construção (MALHOTRA & CARINO, 2004).

## **2. APLICAÇÃO MÉTODO DA MATURIDADE**

A aplicação do método permite a avaliação da resistência à compressão em uma idade precoce, definindo os pontos críticos da estrutura, de modo a evitar o acesso a dados quase instantâneos, além não requererem o transporte dos corpos de prova e ensaios destrutivos (BENAICHA *et al.*, 2016).

O método fornece uma abordagem relativamente simples para avaliar a evolução da força *in situ* do concreto durante a construção. Baseando-se na história da temperatura medida do concreto para estimar o índice de maturidade que é então relacionada com o desenvolvimento da resistência à compressão durante o período de cura. Para cada traço de concreto, a relação entre resistência à compressão e o índice de maturidade pode ser estabelecida por meio de misturas de ensaio submetidas a condições controladas (GALOBARDES *et al.*, 2015).

O conceito de maturidade surgiu na década de 50, mais precisamente na Inglaterra, baseando-se no princípio de que amostras de um mesmo concreto, com a mesma maturidade, apresentarão a mesma resistência, independentemente do seu histórico temperatura-tempo (PERES, 2006).

Como grau de hidratação da pasta de cimento depende conjuntamente do tempo e da temperatura, a resistência do concreto pode ser avaliada a partir do conceito de maturidade que é expresso como a função do tempo e da temperatura de cura (MEHTA & MONTEIRO, 2014). Desta forma, admite-se que, para um determinado traço, os concretos de mesma maturidade atingirão a mesma resistência, independentemente da combinação tempo-temperatura (EVANGELISTA, 2002).

De acordo com Peres *et al.* (2005) para a utilização do método da maturidade, é necessário conhecer previamente o desenvolvimento da resistência do concreto de ao menos uma temperatura isotérmica de cura. Para as outras condições isotérmicas, o ganho de resistência é estimado a partir de funções de maturidade, relacionando os parâmetros tempo e temperatura.

Inicialmente, Saul foi um dos primeiros pesquisadores a propor o conceito de maturidade do concreto, em seguida, outros buscaram aprimorar seu conceito, como Nurse, que sugeriu que produto do tempo x temperatura seria capaz de representar os efeitos de cura a vapor no ganho de resistência a compressão. Para ele, o procedimento poderia levar em consideração agregados diferentes e misturas diversas. Surgiu assim a função de Nurse-Saul que calcula o fator de maturidade a partir do histórico de tempo e temperatura de cura (BARBOSA *et al.*, 2005). A função de Nurse-Saul está apresentada na Equação 1 e na Figura 1 :

$$M(t) = \sum_0^t (T_a - T_0) \cdot \Delta t \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$M(t)$  = Fator de Maturidade à idade  $t$  ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ );

$\Delta t$  = Intervalo de tempo (h);

$T_a$  = Média da temperatura em um intervalo de tempo  $\Delta t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_0$  = Temperatura de base ( $^{\circ}\text{C}$ ).

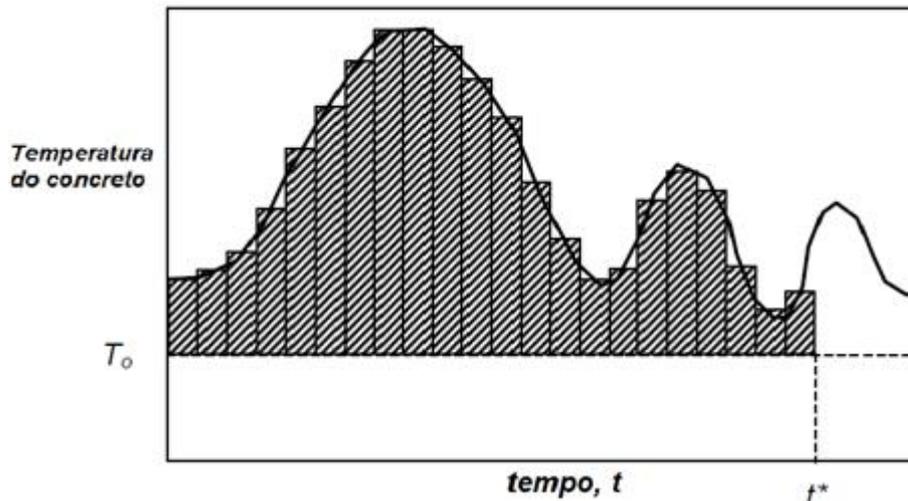


Figura 1 – Histórico de tempo-temperatura computado de acordo com a Equação 1 (Carino & Lew, 2001)

McIntosh (1949) propôs inicialmente que o valor da temperatura de base ( $T_0$ ), temperatura abaixo da qual não ocorre hidratação do concreto, fosse de  $-1,1^\circ\text{C}$  e Carino & Lew (2001) propuseram  $-10^\circ\text{C}$ . Conforme Oluokun *et al.* (1990) *apud* Evangelista (2002), num estudo sobre maturidade obtida em idades iniciais, citam que nos Estados Unidos e no Canadá são aceitos valores de  $T_0$  entre  $-11,7^\circ\text{C}$  e  $-10^\circ\text{C}$ .

Rastrup (1954) *apud* Peres *et al.* (2005) introduziu o termo idade equivalente -  $t_e$ , admitindo que o concreto atinge o mesmo grau de maturidade que atingiria caso fosse mantido a uma temperatura de referência até a idade  $t_e$ . Neste caso, calcula-se o tempo necessário para atingir-se o mesmo grau de maturidade que seria atingido caso a temperatura durante a cura do concreto fosse a temperatura de referência.

Com o progresso dos estudos sobre a maturidade, Saul reformulou a função elaborada por Nurse e Saul, adicionando uma variável em função da idade equivalente (SANTOS, 2010).

Conforme Carino & Lew (2001), utiliza-se o valor de  $20^\circ\text{C}$  para essa temperatura nos países europeus e nos Estados Unidos aplica-se o valor de  $23^\circ\text{C}$ . Então, a função de Nurse-Saul, em idade equivalente, assume a seguinte forma da equação 2:

$$t_e = \sum_0^t \frac{T_r - T_0}{T - T_0} \cdot \Delta t \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$t_e$  = Idade equivalente na temperatura de referência  $T_r$  (h);

$T_r$  = Temperatura de referência ( $^\circ\text{C}$ );

$\Delta t$  = Intervalo de tempo (h);

$T$  = Temperatura média no intervalo de tempo  $\Delta t$  ( $^\circ\text{C}$ );

$T_0$  = Temperatura de base ( $^\circ\text{C}$ ).

Então, em 1977 Freiesleben-Hansen e Pedersen propuseram uma nova função para computar a maturidade, a partir da relação entre as velocidades de hidratação do cimento na temperatura desejada e na temperatura de referência –  $T_r$ . Porém, para isso acontecer, foi necessário incluir um parâmetro relacionado à sensibilidade térmica da pasta, chamado Energia aparente de ativação ( $E_a$ ) (PERES *et al.*, 2005). Esta função foi baseada no modelo de Arrhenius para cinética das reações, usando-a para descrever o efeito da temperatura e para avaliar as reações de hidratação do concreto que se desenvolvem de forma exponencial e não linearmente como a fórmula de Nurse-Saul (CARINO & LEW, 2001).

$$t_e = \sum_0^t \exp^{\frac{-E}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right)} \cdot \Delta t \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$t_e$  = Idade equivalente à temperatura de referência  $T_r$  (h);

$E_a$  = Energia aparente de ativação (J/mol);

$T_a$  = Média da temperatura em um intervalo de tempo  $\Delta t$  (K);

$T_r$  = Temperatura de referência (K);

$\Delta t$  = Intervalo de tempo (h);

$R$  = Constante universal dos gases (8,314 J/K mol).

Conforme Atkins (1998) apud Carvalho (2002), a Energia aparente de ativação provém da ideia de que as moléculas devem possuir uma quantidade mínima de energia cinética para reagir. Esta energia é aquela necessária para transformar os reagentes em produtos. Como o contato do cimento com a água consta-se como uma reação exotérmica, os reagentes estão em um estado de energia maior do que o estado dos produtos. Desta forma, a energia de ativação é a diferença entre a energia necessária para ativar a reação e o nível de energia dos reagentes, sendo que o calor total gerado na reação é a diferença entre o nível de energia dos reagentes e o nível de energia dos produtos. Segundo Carino & Lew (1991), a maioria dos valores de Energia aparente de ativação estão compreendidos entre 41 kJ/mol e 67 kJ/mol, variando de acordo com o tipo de cimento utilizado.

A Norma Americana ASTM C 1074-11 determina a energia de ativação para argamassas de concreto é realizada a partir de processos mecânicos. Os ensaios são realizados em corpos de prova cúbicos (5 x 5 x 5 cm), submetidos em no mínimo 3 condições isotérmicas de cura. A ASTM 1074-11 aconselha que essas temperaturas sejam em valores inferiores e superiores ao que se encontra o concreto curado *in loco*, onde a terceira seja uma média entre essas duas. Os ensaios de resistência à compressão têm início quando a argamassa atinge 4 MPa, aproximadamente. As rupturas seguintes são realizadas em valores múltiplos da idade que apresentou resistência de 4 MPa. Por exemplo, se a argamassa necessitar 6 horas para atingir 4 MPa, as rupturas futuras serão a 12h, 24h, 48h, 96h e 192h, num total de seis rupturas. A partir da obtenção das resistências segue-se um processo recomendado pela norma com a utilização de gráficos e fórmulas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Partes das atividades realizadas na pesquisa foram alcançadas no Laboratório de Materiais e Estruturas do CEULP/ULBRA em Palmas-TO, entretanto, devido à necessidade de deslocamento, acompanhamento dos experimentos que exigiram um grande controle e demanda de tempo, ou a produção e utilização de uma tecnologia que não constava no acervo do laboratório, necessitou-se também da realização de algumas atividades na empresa de construção civil Hikari Construções LTDA, na concreteira Bloco-mix e na residência do autor da pesquisa. O programa experimental foi dividido em três etapas.

A primeira etapa constou na produção dos equipamentos que não continham no acervo do Laboratório de Materiais e Estruturas do CEULP/ULBRA em Palmas-TO, e também na dosagem do traço de concreto, ambas necessárias para dar segmento às etapas seguintes.

A segunda correspondeu na determinação experimental da Energia aparente de ativação da argamassa peneirada a partir de uma peneira de 4.8 mm para separar a argamassa do concreto para moldagem dos corpos de prova cúbicos 5 x 5 x 5 cm.

Como não encontrou-se uma câmara térmica na cidade de Palmas - TO para a realização de ensaios em curas térmicas foi necessário produzir equipamentos para este fim. Conforme pode se observar na Figura 2.

Para os corpos de prova em cura térmica foram adaptados um refrigerador de 300 L de dimensões 0,45 x 0,45, 1,25 m e uma caixa térmica de 100 L de 0,4 x 0,5 x 0,6 m como recipientes de vedação hermética em que um ebulidor mergulhão de 1000 Watts para temperatura de 60 °C e uma resistência elétrica de chuveiro para a temperatura de 40 °C produziam vapor d'água em seu interior. Para o controle de temperatura adotou-se um termômetro tipo espeto. Desta forma, após a moldagem, os corpos de prova foram armazenados dentro do recipiente e sua temperatura foi elevada até aproximadamente 40 °C com resistência de chuveiro e ebulidor mergulhão de 60 °C.

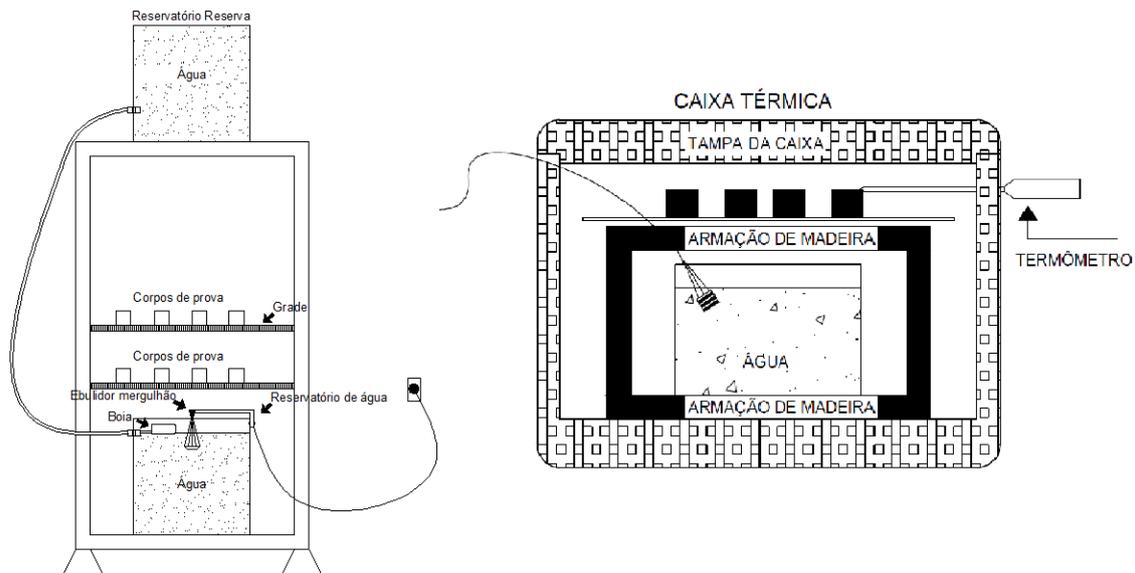


Figura 2 – Esquemas de Câmaras térmicas adaptadas.

**4. RESULTADOS**

O concreto utilizado com um traço em massa calculado foi 1 cimento : 2,09 areia : 2,27 seixo rolado – a/c: 0,52 e o consumo de cimento de 394 kg/m<sup>3</sup>.

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados parciais das resistências à compressão dos corpos de prova cúbicos (5 x 5 x 5 cm) de argamassa para temperaturas de 25, 40 e 60 °C em função da idade de ruptura e da temperatura de cura para a obtenção da Ea.

Tabela 1 – Resistências da argamassa

<i>Cura úmida - 25 °C</i>		<i>Cura térmica - 40 °C</i>		<i>Cura térmica - 60 °C</i>	
Dias	MPa	Dias	MPa	Dias	MPa
0,5	3,98	0,4	4,1	0,17	4,2
1	19,2	0,8	18,82	0,34	17,1
2	29,8	1,6	27,8	0,68	26,5
4	32,1	3,2	29,9	1,36	28,6
8	38,7	6,4	34,6	2,72	31,5
16	45,2	12,8	41,3	5,44	34,1

Nota-se, que a resistência da argamassa diminui conforme a temperatura se eleva. Isto se dá, devido aos produtos formados na reação química de hidratação do cimento e a água não se distribuírem de maneira homogênea na matriz em formação, gerando a uma maior porosidade e, conseqüentemente, uma menor resistência à compressão.

A obtenção da Energia aparente de ativação seguiu as recomendações da ASTM C 1074-11, onde, com as resistências dos corpos de prova cúbicos em mãos foi possível dar início com a elaboração dos gráficos.

O gráfico da Figura 3 com o inverso da resistência no eixo das ordenadas (eixo y) em função do inverso da idade no eixo das abscissas (eixo x), realizado com as 4 últimas idades de rompimento dos corpos de prova para cada temperatura:

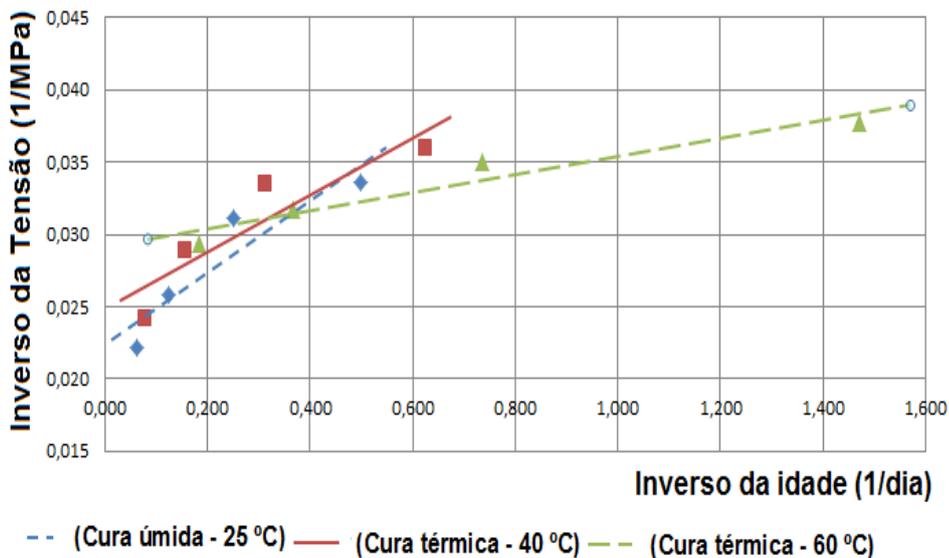


Figura 3 – Gráfico de inverso da tensão (1/MPa) x inverso da idade (1/dias)

Feito isso, buscou-se um novo valor denominado de  $S_u$ , que corresponde ao inverso da intersecção das retas com os eixos das abcissas obtidos a partir da Figura 3 e estão apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 – Intersecção com o eixo das ordenadas (eixo y) e valor da resistência última ( $S_u$ )

Cura úmida - 25 °C		Cura térmica - 40 °C		Cura térmica - 60 °C	
Intersecção em Y	$S_u$	Intersecção em Y	$S_u$	Intersecção em Y	$S_u$
0,0225	44,4	0,225	40,0	0,0291	34,4

Com o  $S_u$ , confecciona-se um segundo gráfico com os valores de A no eixo das ordenadas e os valores das idades de rompimento dos corpos de prova no eixo das abcissas.

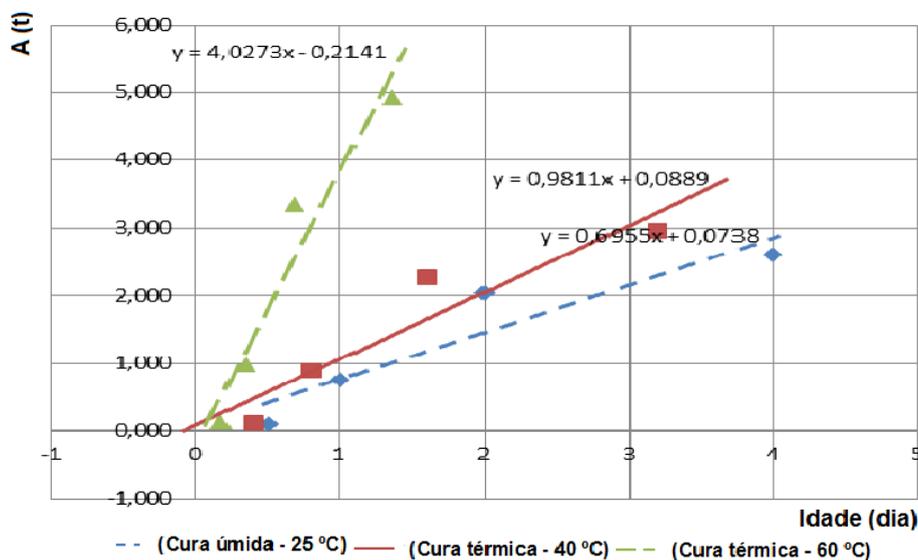


Figura 4 - Valores de A em função da idade

Sendo A obtido pela equação 4, que utiliza agora, os últimos quatro valores de resistência para cada uma das três temperaturas de cura.

$$A = \frac{S}{(S_u - S)} \tag{Equação 4}$$

Onde:

A = resistência relativa;

S = resistência em uma idade específica (MPa);

$S_u$  = resistência última da argamassa (MPa)

Em seguida, encontrou-se para cada temperatura, o valor do parâmetro k, sendo o coeficiente angular do gráfico mostrado na Figura 4. E na Figura 5 contém o terceiro gráfico, com K em função das 3 temperaturas de cura.

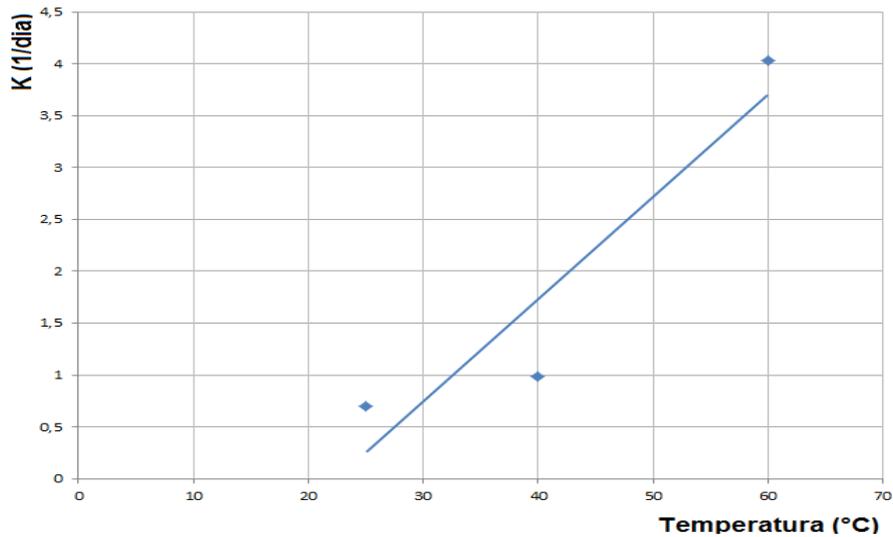


Figura 5 - Valores de k em função da temperatura

E na Figura 6 está o valor da Energia aparente de ativação, dado por meio do coeficiente angular da reta formado pelo limite natural de K no eixo das ordenadas em função das temperaturas de cura convertidas em Kelvin no eixo das abcissas, sendo: -5055,2 K.

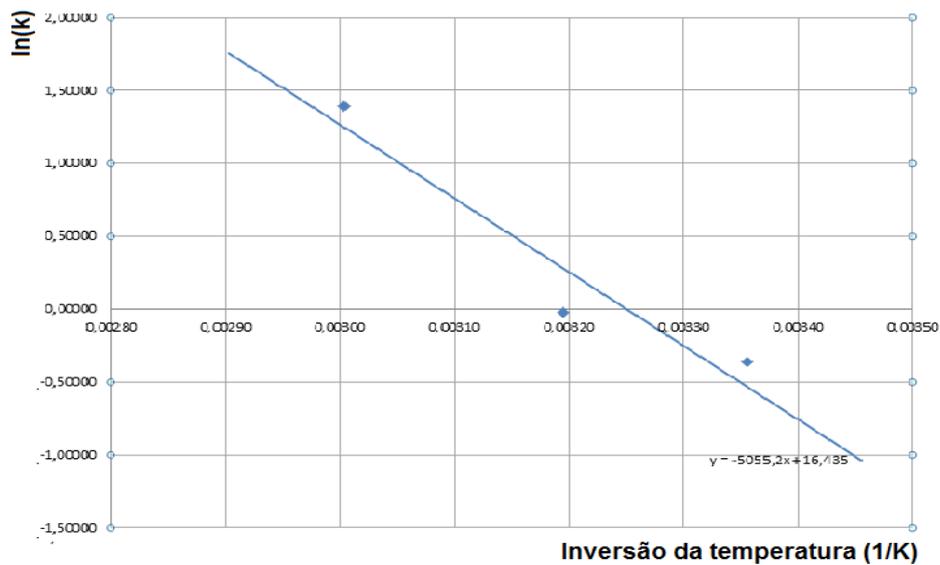


Figura 6 - Gráfico de ln(k) x inverso da temperatura (1/K)

Multiplica-se pela constante universal dos gases ( $R = 8,314 \text{ J / K.mol}$ ) e divide por 1000:  $E_a = (-5055,2 \times 8,314)/1000 \rightarrow E_a = 42,03 \text{ kJ/mol}$

Para o Método da maturidade, a Figura 7 mostra a curva de evolução das médias de resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos de 10 x 20 cm para as idades de ensaios 1, 3, 7, 14 e 28 dias, com três para cada uma.

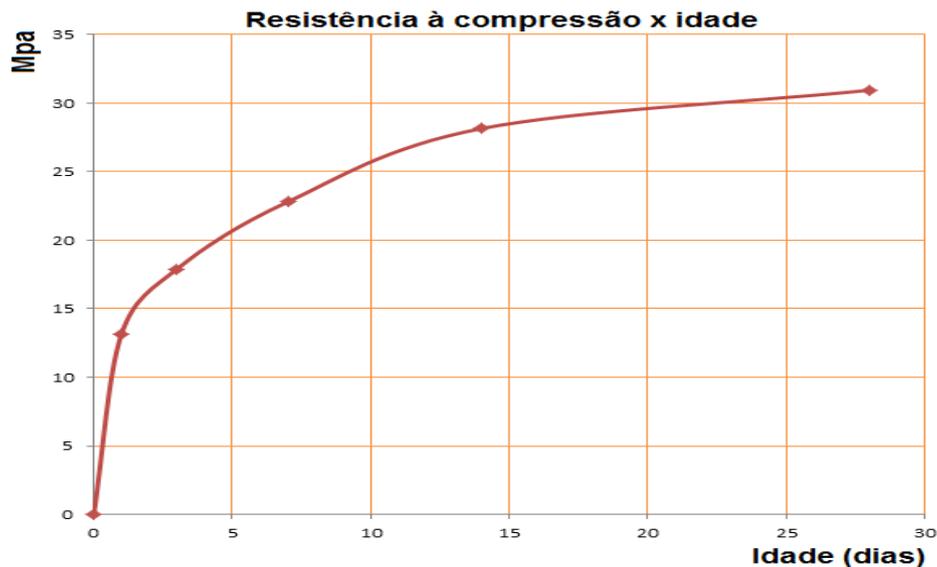


Figura 7 - Gráfico de evolução da resistência à compressão x idade

A Figura 8 apresenta o monitoramento da temperatura do concreto durante o processo de cura na câmara úmida à temperatura de 25°C durante 28 dias.

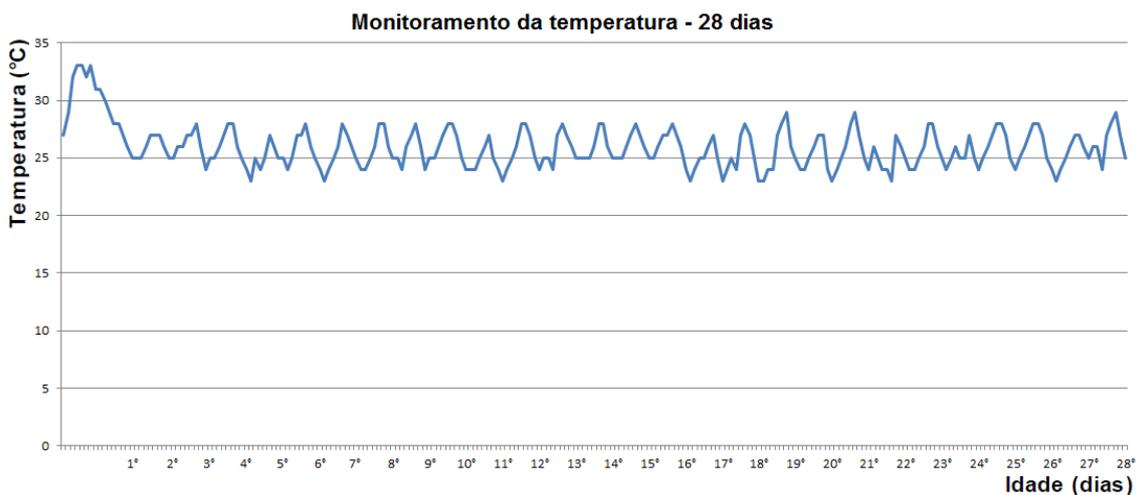


Figura 8 – Histórica de temperaturas do concreto curado em câmara úmida

Pode-se observar que a evolução da temperatura apresenta um padrão similar com o decorrer do tempo de hidratação, apresentando um desvio maior nas primeiras idades. Isto decorre devido às reações de hidratação do cimento com a água liberarem maior calor de hidratação nas primeiras horas após a concretagem. Depois do terceiro dia a diferença máxima de temperatura foi da ordem de 5 °C.

Ao aplicar o método da maturidade, com  $E_a = 43,20$  KJ/mol obteve-se os gráficos de resistência à compressão x idade equivalente a 20°C, onde segundo Neville (2015), temperaturas de cura inferiores a esta retardam o endurecimento, enquanto que temperaturas mais elevadas aceleram o processo.

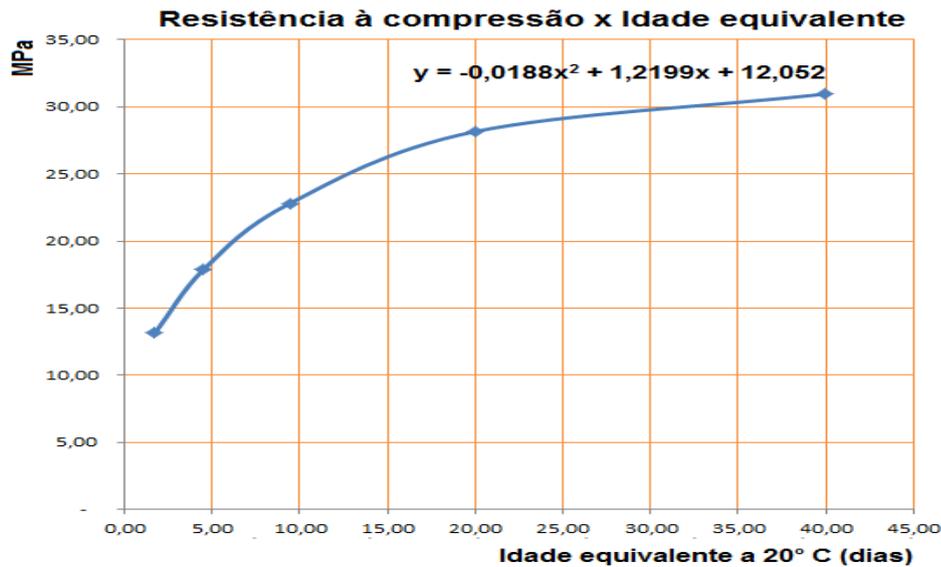


Figura 9 – Gráfico de resistência à compressão X idade equivalente

Na Figura 10, nota-se, que a correlação entre idade equivalente x idade real a 20°C apresenta uma diferença entre o tempo real ocorrido e o tempo necessário que seja o mesmo grau de maturidade à temperatura constante de 20°C, para o concreto submetido à cura úmida.

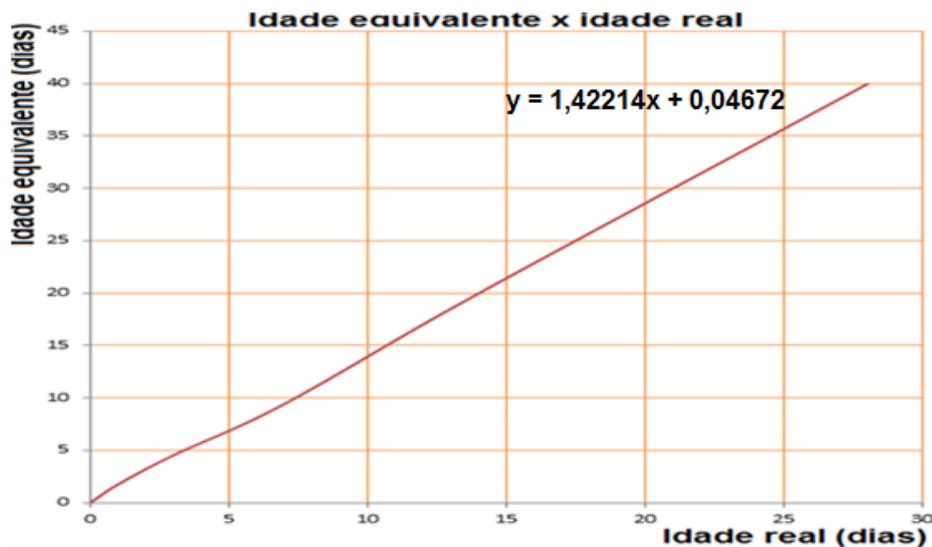


Figura 10 – Idade equivalente à temperatura de 20 °C x Idade real

Com os valores dos ajustes linear do gráfico da Figura 10 e parabólico do gráfico da Figura 12 torna-se possível calcular com exatidão os termos de idade equivalente a 20 °C em função do tempo ou da resistência.

Com os gráficos das Figuras 9 e 10, torna-se possível estimar a resistência à compressão do concreto aqui investigado para qualquer idade. Por exemplo, o concreto que necessitou de 7 dias para apresentar uma resistência de aproximadamente 23 MPa, somente obteria a mesma resistência aproximadamente aos 10 dias de cura sob uma

temperatura de referência de 20 °C. Para fazer esta verificação, entra-se com a idade de 7 dias no gráfico da Figura 10, obtendo-se o valor correspondente a 9,99 dias para a idade equivalente. Então, com esta, correlaciona a idade equivalente observada no do gráfico da figura 10 e determina-se a resistência à compressão, que corresponde aos 23 MPa.

## 5. CONCLUSÃO

O valor de Energia aparente de ativação esteve dentro do estipulado na norma ASTM C 1074 que varia de 40 a 45 KJ/mol para cimentos Tipo I, que apesar de não possuírem a mesma constituição química, variam pouco seus valores de  $E_a$ .

Também foi possível estimar a resistência através da função FHP para uma temperatura de referência de 25 °C, entretanto, segundo a ASTM C 1074-11, tradicionalmente, adotam-se valores de 20°C ou 23°C para a temperatura de referência, mas qualquer outra temperatura é conveniente. Dependendo das necessidades de se obter uma nova temperatura de referência pode-se utilizar, por exemplo, uma temperatura ambiente de 30 °C.

Com os valores das linhas de tendências calculadas foi possível obter com exatidão os valores de idade equivalente a 20 °C em função do tempo e da resistência de uma temperatura de referência de 25 °C durante o período de cura de 28 dias. Porém, para alcançar resultados mais confiáveis e satisfatórios é necessário estender o tempo de cura dos corpos de prova em câmara úmida, pois o concreto não se hidratou completamente com esse prazo. Aumentando-se o tempo de cura, torna-se possível um ajuste com linhas de tendências mais fieis, podendo estimar as resistências de uma idade equivalente além do final de cura.

Nota-se também, que o Método da maturidade é passível de aplicação em indústrias de pré-moldados em regiões com clima predominantemente tropicais, visto que, estas trabalham acelerando a cura das peças através de cobrimento com lonas pretas de plástico sem nenhuma tecnologia para obtenção de estimativas de resistência à compressão em função das temperaturas de cura. Com o uso deste método torna-se possível estimar o tempo para desforma quando o concreto apresentar a resistência projetada.

Contudo, utilizar o Método da maturidade *in loco* torna-se um processo complicado, visto que têm-se que contar com uma tecnologia superior a utilizada neste estudo. Além de enfrentar dificuldades em encontrar o material necessário na cidade de Palmas-TO.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM C1074-11, **Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.

BARBOSA, M. P., PINTO, R. C. A., LAZARI, C. R., SALLES, F. M. **O Método da maturidade na determinação da resistência à compressão do CAD produzido com seixo rolado**. 1º Encontro Nacional de pesquisa-projeto-produção em concreto pré-moldado. São Carlos. Novembro/2005.

BARBOSA, D. J., LIMA, M. B. **Arquitetura bioclimática: recomendações apropriadas para Palmas/TO.** ANAIS ELETRÔNICOS - 1ª JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO DO IFTO. Palmas, 2009.

BENAICHA, M.; BURTSHELL, Y.; ALAOUI, A. H. **Prediction of compressive strength at early age of concrete - application of maturity.** Journal of Building Engineering. Available online 7 March, 2016.

CARVALHO, A. G. **Energia de ativação dos concretos: experimentação e modelagem.** Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação para mestre em Ciências em Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2002.

CARINO, N. J.; LEW, H.S. **The Maturity Method: From Theory to Application.** Reprinted from the Proceedings of the 2001 Structures Congress & Exposition, 2001.

CECCONELLO, V.; TUTIKIAN B. **A influência das baixas temperaturas na evolução das resistências do concreto.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. Vol.5 nº 1. São Paulo, Fev. 2012.

COSTA E SILVA, A. J.; BARBOSA, F. R.; MOTA, J. M. F.; VIEIRA FILHO, J. O. **Influência da temperatura na evolução da resistência à compressão do cimento Portland.** Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Pernambuco, 2009.

EVANGELISTA, A. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos.** 239f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

GALOBARDES, I. CAVALARO, S. H. GOODIER, G. I. AUSTIN, S. RUEDA, A. **Maturity method to predict the evolution of the properties of sprayed concrete.** Revista: Construction and Building Materials. Volume 79, 15 March 2015, Pages 357–369.

Ghasemi, Y. **Aggregates in Concrete Mix Design. Division of Structural and Fire.** Engineering Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering Luleå University of Technology SE-97187 Luleå, Sweden, 2017.

KEWALRAMANI, M. A. MOHAMEDA, O. A. SYEDA, Z. I. **Engineered cementitious composites for modern civil engineering structures in hot arid coastal climatic conditions.** Procedia Engineering, Volume: 180, 2017, Pages 767 – 774

KODUR, V. **Review Article: Properties of Concrete at Elevated Temperatures.** Hindawi Publishing Corporation. ISRN Civil Engineering. Volume 2014, Article ID 468510, 15 pages.

McINTOSH, J. D. **Electrical curing of concrete.** Magazine of Concrete Research, vol.1, p. 21-28, 1949.

MALHOTRA, V.M.; CARINO, N.J. **Handbook on nondestructive testing of concrete** (2nd ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida (2004), pp. 101–146

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 2 Ed. Edição: Nicole Pagan Hasparyk, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª Ed. Bookman, 2015.

PERES, L. D. P., BARBOSA, M. P., PINTO, R. C. A. **Aplicação do Método da Maturidade na avaliação da resistência à compressão de peças pré-moldadas**. 1º Encontro Nacional de pesquisa-projeto-produção em concreto pré-moldado. São Carlos. Novembro/2005.

PERES, L. D. P. **Avaliação de propriedades mecânicas de peças pré-moldadas submetidas à cura térmica pelo Método da Maturidade: estudo de caso**. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira Júlio de Mesquita Filho. Dissertação mestrado em Engenharia Mecânica. Ilha Solteira – SP, 2006.

SANTOS, L. F. **A influência do patamar de cura térmica sobre a resistência dos concretos auto-adensáveis elaborados com diferentes tipos de cimento: avaliação pelo método da maturidade**. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira Júlio de Mesquita Filho. Dissertação mestrado em Engenharia Mecânica. Ilha Solteira – SP, 2010.

VERBECK, G. J.; HELMUTH, R. H. **Structure and physical properties of cement paste**. In: International Symposium on the Chemistry of Cement, 5. 1968, Tokyo. Proceedings. Tokyo, 1968.

THOMAZ, E. C. S. NOTAS DE AULA: **Cimentos e Concretos**. Disponível em: [http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos\\_concretos/cimentos.pdf](http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos_concretos/cimentos.pdf)  
Acesso em: 2017.