



Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2012
Outubro / 2012



@ 2012 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Análise numérica e térmica de blocos de concreto massa por meio de um código computacional

Numerical analysis and thermal of mass concrete blocks using a computer code

Coelho, Nailde de Amorim (1); Rêgo, João Henrique da Silva (2); Pedrosa, Lineu José (3); Nepomuceno, Antonio Alberto (4).

(1) *Doutoranda em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília – UnB;*
(2), (3) e (4) *Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – UnB;*
naildea@yahoo.com.br

Resumo

A engenharia apresenta diversos problemas complexos, com difíceis soluções ou até sem solução analítica. O concreto está sujeito a variações de temperatura ao longo de sua vida útil através dos processos de radiação, condução e convecção. Na fase construtiva, principalmente, para grandes volumes de concretagem, como é o caso do concreto massa, este sofre também com o calor de hidratação, que é a liberação de calor durante a hidratação dos compostos do cimento. Juntos, todas essas ações podem elevar a temperatura do concreto gerando tensões térmicas.

Um recurso utilizado para resolver esse problema é a utilização de códigos computacionais (programas) que possuem ferramentas dinâmicas e interativas capazes de mostrar os resultados de forma rápida e coerente. O Ansys é um desses softwares e representa uma ferramenta de análise versátil com boa aceitação e utilização no mercado. Com ele é possível efetivar várias análises, entre elas a análise térmica e de tensões.

Com o software Ansys foi possível analisar a evolução da temperatura em blocos de concreto massa em diversos estágios de construção, condições iniciais e de contorno. Foram analisadas temperaturas para blocos em diferentes dias de concretagem e com diferentes condições iniciais e de contorno. Essa ferramenta mostrou-se eficaz na análise das temperaturas, interpretando a contento problemas térmicos, e fornecendo resultados mais rápidos que as análises de campo ou experimentais.

Palavra-Chave: Temperatura, Concreto Massa, Método dos Elementos Finitos.

Abstract

Engineering presents several complex problems with difficult solutions or even nonanalytical solution. The concrete is subjected to variations in temperature throughout his life through the processes of radiation, conduction and convection. In the construction phase, especially large volume of concrete, such as the concrete mass, it also suffers from the heat of hydration, which is the release of heat during hydration of the cement compound. Together, all these actions can raise the temperature of the concrete generating thermal stresses. With Ansys software was possible to analyze the evolution of temperature in mass concrete blocks in various stages of construction, initial and boundary conditions. Temperatures were analyzed for blocks of concrete on different days and with different initial and boundary conditions. This tool was effective in the analysis of temperatures, thermal problems interpreting the satisfaction, and providing faster results than the analysis of field or experimental.

Keywords: Temperature, Mass Concrete, Finite Element Method

1 Introdução

De acordo com o American Concrete Institute - ACI (2005), o concreto massa é definido como um grande volume de concreto que apresenta dimensões grandes o suficiente para que algumas medidas sejam tomadas para reduzir a temperatura interna dessa estrutura, ou melhor, para reduzir o gradiente térmico entre as partes interna e externa do concreto. A diferença entre as temperaturas internas e externas do concreto massa faz com que o concreto se deforme ocasionando fissuras. Quanto maior o gradiente de temperatura, maior a possibilidade do surgimento de trincas, e maior também as aberturas dessas fissuras devido ao aumento das tensões.

A geração de calor internamente no concreto provoca efeitos que são capazes de danificar a estrutura, sendo um problema para os construtores. Alguns recursos, como a utilização de softwares, podem prever e avaliar a temperatura interna no concreto massa. Este processo permite a identificação das maiores temperaturas atingidas, do tempo de evolução do calor e dos locais de temperatura crítica na estrutura. Com esses dados é possível buscar soluções para melhor equacionamento do problema.

Um exemplo de software que pode ser utilizado nesses problemas é o ANSYS, uma ferramenta poderosa que utiliza o método dos elementos finitos para solução de vários problemas de engenharia, como estruturais, dinâmicos, térmicos, entre outros. O que proporciona uma análise rápida e econômica quando comparada com ensaios experimentais.

Os resultados fornecidos por este programa podem ser utilizados para identificação das situações críticas e, conseqüentemente, contribuindo para uma busca pelas melhores soluções. Vale ressaltar que esse tipo de análise pode ser estendida para qualquer tipo de estrutura em concreto massa. Assim, pode-se conhecer melhor esse material, avaliar os fatores que influenciam na elevação térmica e analisar os gradientes de temperatura para diferentes condições iniciais e de contorno do concreto massa.

2 Alguns efeitos térmicos observados no concreto massa

Fairbairn *et al.* (2003), entre outros autores que investigaram problemas térmicos em concreto, que estudaram grandes estruturas, tais como barragens, blocos de fundação e lajes de pontes, comentam que estas podem estar sujeitas a fissurações em idades precoces devido às tensões térmicas e a indução da retração autógena. Do ponto de vista da engenharia, estas tensões podem ser evitadas com algumas medidas preventivas que tentam reduzir os efeitos térmicos na reação de hidratação do cimento. Entre elas pode-se citar:

- Escolha de um material capaz de reduzir a reação de hidratação do cimento e as tensões de retração autógena;
- Controlar a espessura das camadas e o intervalo de tempo entre as camadas para permitir a dissipação do calor;
- Redução da temperatura de lançamento do concreto ou fazer uso dos tubos de resfriamento.

As obras que utilizam concreto massa apresentam, normalmente, um elevado custo e podem causar grandes desastres em caso de ruína. Por isso, torna-se importante uma análise completa das ações, a fim de prevenir as possíveis falhas nessas estruturas.

Segundo o International Commission on Large Dams (2009) o concreto massa difere do concreto estrutural na medida em que é colocado em seções de espessura onde o calor de hidratação dissipa lentamente e o gradiente térmico pode induzir aberturas no concreto.

O aspecto fundamental do concreto massa é o comportamento térmico. O projeto desse tipo de estrutura busca evitar o aparecimento ou controlar a abertura e espaçamento das fissuras. Sabe-se que uma peça de concreto tem restrições, as quais podem ser de origem interna ou externa. Para o estudo de barragens a restrição interna é o que gera as fissurações pelo aquecimento devido a hidratação do cimento, portanto, será o componente de estudo deste trabalho.

As fissuras no concreto massa são prejudiciais e são causadas principalmente por tensões de tração desenvolvidas em resposta à retração térmica em combinação com restrição de mudança de volume do concreto. O gradiente de temperatura pode ser reduzido proporcionando a diminuição do pico da temperatura do concreto e utilizando um concreto com baixas propriedades de contração térmica. A temperatura máxima é dependente da temperatura de lançamento do concreto, do calor de hidratação e da perda ou ganho de calor pelo ambiente.

Para tentar reduzir a geração de calor interno do concreto algumas medidas ou artifícios podem ser adotados:

- Escolher um cimento Portland com uma composição química que resulte um desprendimento lento de calor. Nesse caso é recomendável cimentos com adições que reagem mais lentamente, o cimento CP III - Cimento Portland de alto-forno, que possui de 35% a 70% de escória (NBR 5735, 1991), e o cimento CP IV - Cimento Portland pozolânico, no qual o teor de materiais pozolânicos secos deve estar compreendido entre 15% e 50% da massa total de aglomerante (NBR 5736, 1991);
- O uso de agregado com um tamanho máximo grande e com baixa expansibilidade térmica. A relação água/cimento pode ser alta (até 0,75), pois em estruturas como barragens de gravidade, a resistência do concreto tem pouca importância estrutural (Neville, 1997).

O isolamento da superfície. O objetivo do isolamento superficial não é restringir a elevação de temperatura, mas regular a taxa de queda de temperatura de forma que as diferenças de tensão, devidas a altos gradientes de temperaturas entre a superfície do concreto e seu interior, sejam reduzidas (Mehta e Monteiro, 2008);

- Utilização dos processos de pré-resfriamento do concreto e/ou pós-resfriamento do concreto. As formas de pré-resfriamento do concreto incluem o sombreamento e a aspersão de água nas pilhas de agregados, uso de água gelada, substituição da água da mistura por gelo e a o uso do nitrogênio líquido. Já o pós-resfriamento consiste em tubos de refrigeração que são inseridos no concreto massa para

reduzir de forma rápida a temperatura interior, reduzindo a temperatura máxima atingida por esse concreto (Gadja e Vangeem, 2002).

Choktaweekarn e Tangtermsirikul (2010) fizeram um trabalho mostrando resultados analíticos para as variações de temperatura em diferentes regiões de um bloco de concreto (topo, centro e região inferior), apresentando também o estudo das variações de temperatura para diferentes espessuras de concreto. Os resultados foram encontrados com a utilização do método dos elementos finitos.

A figura 1 *a* mostra a variação da temperatura para diferentes espessuras do concreto, por exemplo, $d0.5$ = espessura da camada igual a 0,5 m. Na figura 1 *b*, apresenta-se a curva da temperatura máxima atingida de acordo com a espessura da camada.

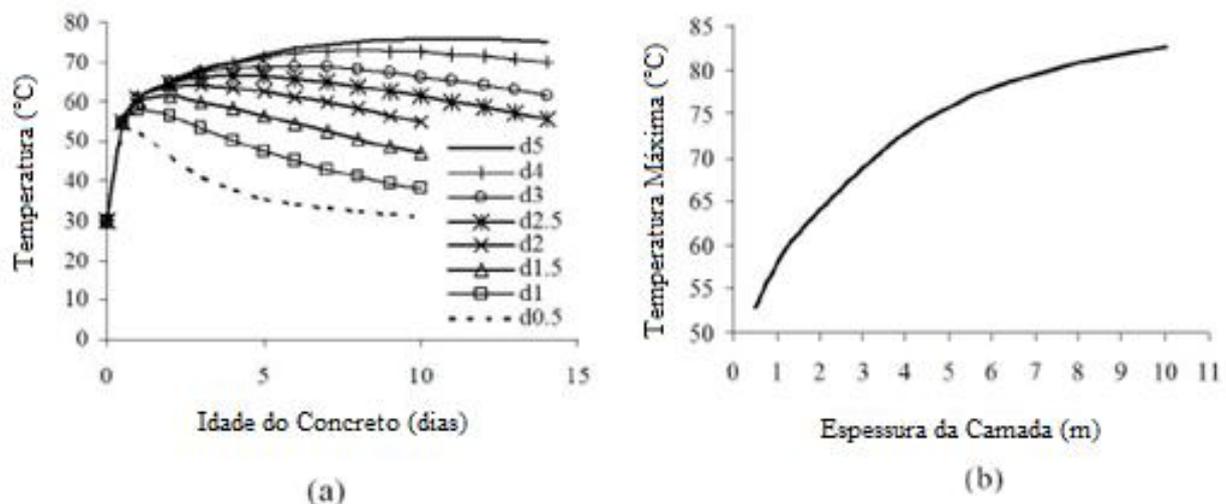
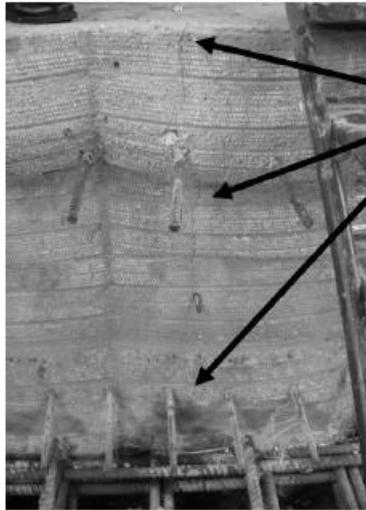
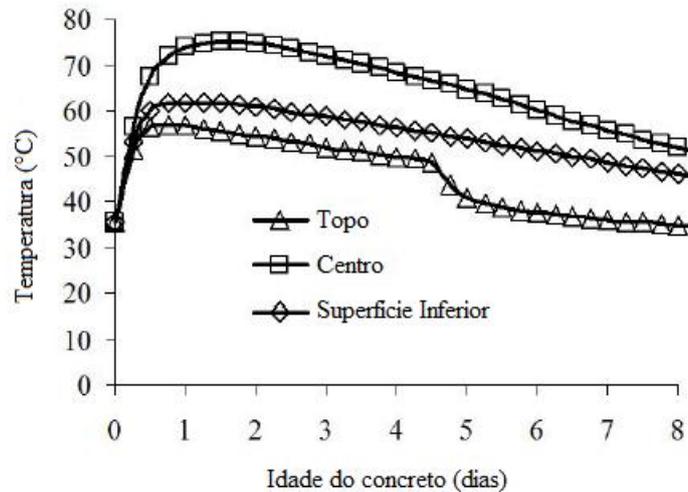


Figura 1 - Variação da temperatura do concreto para diferentes espessuras do concreto (Choktaweekarn e Tangtermsirikul, 2010).

Assim, pode-se notar que a temperatura do concreto varia com a espessura da camada e com a variação do tempo. Quanto mais espessa a camada, maior será a temperatura máxima atingida na reação de hidratação do cimento. A variação de temperatura também muda com a região do concreto analisada, como pode ser notado na figura 2. Para o centro da estrutura têm-se as maiores temperaturas atingidas, enquanto no topo acontece o inverso. Isso resulta num gradiente de temperatura no concreto que é o responsável pela fissuração, por isso o isolamento térmico da superfície no processo de cura é importante. Choktaweekarn e Tangtermsirikul (2010) comentaram e mostraram ainda no seu trabalho que a fissuração foi mais perceptível quando foi retirado esse isolamento, ou seja, por volta de 4,6 dias.



(a)



(b)

Figura 2 - Variação da temperatura em relação do tempo para diferentes posições no concreto (Choktaweekarn e Tangtermsirikul, 2010).

A geração de calor no interior de um bloco de concreto gera um gradiente de temperatura em relação aos bordos externos que, se o concreto não puder se movimentar livremente, induz o surgimento de tensões de tração que, se ultrapassarem a resistência à tração do concreto, haverá fissuração e podem causar danos e a estanqueidade da estrutura (INOUE, 1986). Muitos estudos tem sido efetuados na literatura, a respeito do fenômeno relativo aos efeitos térmicos no concreto massa, como é o caso de CALMON (1995), SANTOS (2004), FARIA (2004), SILVOSO (2002), KAVAMURA (2005), KRÜGER (2002), SILVA (2003), AZENHA (2011), entre outros.

3 Fundamentos teóricos

O fenômeno da condução do calor é regido pela Lei de Fourier, formulada a partir de fenômenos observados, a qual estabelece que a quantidade de calor que passa através de uma área A , colocada normalmente à direção do fluxo calorífico, por unidade de tempo, é proporcional ao produto da área A pelo gradiente térmico, como mostra a equação 1.

$$\frac{dq}{dt} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$\frac{dq}{dt}$ = quantidade de calor que atravessa a área A na unidade de tempo, ou seja, taxa de transferência de calor;

A = área da seção transversal considerada;

$\frac{dT}{dx}$ = gradiente térmico;

k = condutibilidade térmica, que representa a quantidade de calor que passa, perpendicularmente, através da unidade de superfície de um corpo, por unidade de tempo, quando existe uma diferença de temperatura unitária entre essa superfície e outra igual afastada de uma distância unitária.

Considerando-se um meio homogêneo no interior do qual não há movimento macroscópico, e a distribuição de temperaturas $T(x,y,z)$ sendo representada em coordenadas cartesianas, a equação geral da transmissão de calor obtida por meio do fluxo de calor que passa através desse corpo e torna-se:

$$k\Delta x\Delta y\Delta z \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = c\rho\Delta x\Delta y\Delta z \frac{\partial T}{\partial t} \Rightarrow \quad \text{(Equação 2)}$$

Ou:

$$k\nabla^2 T = c\rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{(Equação 3)}$$

A equação 3 é a chamada Equação de Fourier.

Se o corpo desenvolver calor, como é o caso do concreto massa, a Equação de Fourier assume a expressão:

$$k\nabla^2 T + \dot{q} = c\rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde \dot{q} é a quantidade de calor desenvolvida, por unidade de volume, na unidade de tempo.

Logo, a Equação Geral da Condução de Calor, considerando a Equação de Fourier e a geração de calor interno (calor de hidratação), pode ser rearranjada a partir da equação 5:

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{c\rho}{k} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{(Equação 5)}$$

3.1 Condições Iniciais e de Contorno

Para resolver a equação 5 necessita-se prescrever as condições iniciais e de contorno associadas no problema.

As definições das condições iniciais e de contorno aqui determinadas foram adaptadas de Santos (2004) e Mehta e Monteiro (2008).

Condições iniciais de temperatura para o lançamento do concreto:

A princípio deve-se definir uma condição inicial pela prescrição da distribuição de temperatura através de um corpo no tempo zero para todo o domínio, como uma função de x , y e z , como mostrado na equação 6.

$$T(x,y,z,t=0) = f(x,y,z) \quad \text{(Equação 6)}$$

Condições de temperatura no contorno do volume de concreto:

As condições gerais de contorno às quais se encontram sujeitas a equação de Fourier são as condições de Dirichlet e de Neumann.

A condição de Dirichlet, também dita condição essencial de contorno (tipo 1), mostra que a temperatura existente em uma porção do contorno do corpo Γ_t é dada pela equação 7:

$$T(x, y, z, t) = f(x, y, z, t) \quad x, y, z \text{ em } \Gamma_t \quad (\text{Equação 7})$$

O fluxo de calor prescrito no contorno é dado pela condição de Neumann (tipo 2). Esta supõe que o fluxo de calor através de uma parte do contorno exterior do domínio Γ_q é conhecido para todo ponto de tal contorno e para qualquer instante de tempo t . Matematicamente tal condição se traduz em determinar a derivada do campo de temperaturas em relação à normal ao sólido na fronteira Γ_q , sendo tal derivada uma função conhecida, como mostra a equação 8:

$$k \frac{\partial T}{\partial n}(x, y, z, t) = q_n(x, y, z, t) \quad x, y, z \text{ em } \Gamma_q \quad (\text{Equação 8})$$

Sendo q_n a quantidade de fluxo de calor dada no ponto (x, y, z) , e n é a normal externa à superfície.

O fluxo de calor nas superfícies externas analisadas pode ser dado segundo o somatório dos fluxos de calor devido à radiação solar, convecção e radiação, segundo equação 9.

$$q(x, y, z, t) = q_s(x, y, z, t) + h[T(x, y, z, t) - T_a(t)] \quad (\text{Equação 9})$$

Sendo:

- $T(x, y, z, t)$ a temperatura existente em cada ponto do contorno;
- T_a a temperatura ambiente existente no exterior do domínio;
- h o coeficiente de transferência de calor global;
- $q_s(x, y, z, t)$ o calor ganho devido à radiação solar (radiação de onda curta) e é dado por:

$$q_s(x, y, z, t) = a_r \cdot I(x, y, z, t) \quad (\text{Equação 10})$$

Em que a_r é o fator de absorção e $I(x, y, z, t)$ é a radiação total incidente sobre qualquer ponto da superfície no instante t .

4 Análise da influência das condições iniciais e de contorno

Um ponto importante para ser analisado no concreto massa é a variação das condições iniciais e de contorno em termos da temperatura. Para isso, foi analisado um bloco de concreto em duas dimensões (5 x 5) m, podendo ser reproduzido em qualquer estrutura. O estudo foi realizado por meio do programa ANSYS, com o elemento PLANE55, com análise após dois dias de concretagem. As propriedades utilizadas para o concreto massa foram as seguintes:

- Condutividade térmica (k) = 1,79 W/m.°C

- Massa específica (ρ) = 2300 kg/m³
- Calor específico (c) = 1000 J/g.°C
- Coeficiente de convecção (h) = 10 W/m².°C

4.1 Condições Iniciais de Temperatura para o Lançamento do Concreto

Inicialmente, foram verificadas as variações das condições iniciais de lançamento do concreto. Para isso, utilizou-se como temperatura nas laterais do bloco de 20°C e para as temperaturas de lançamento do concreto foram utilizados 20°C, 30°C, 40°C e 45°C. Os resultados obtidos encontram-se na figura 3 e na tabela 1.

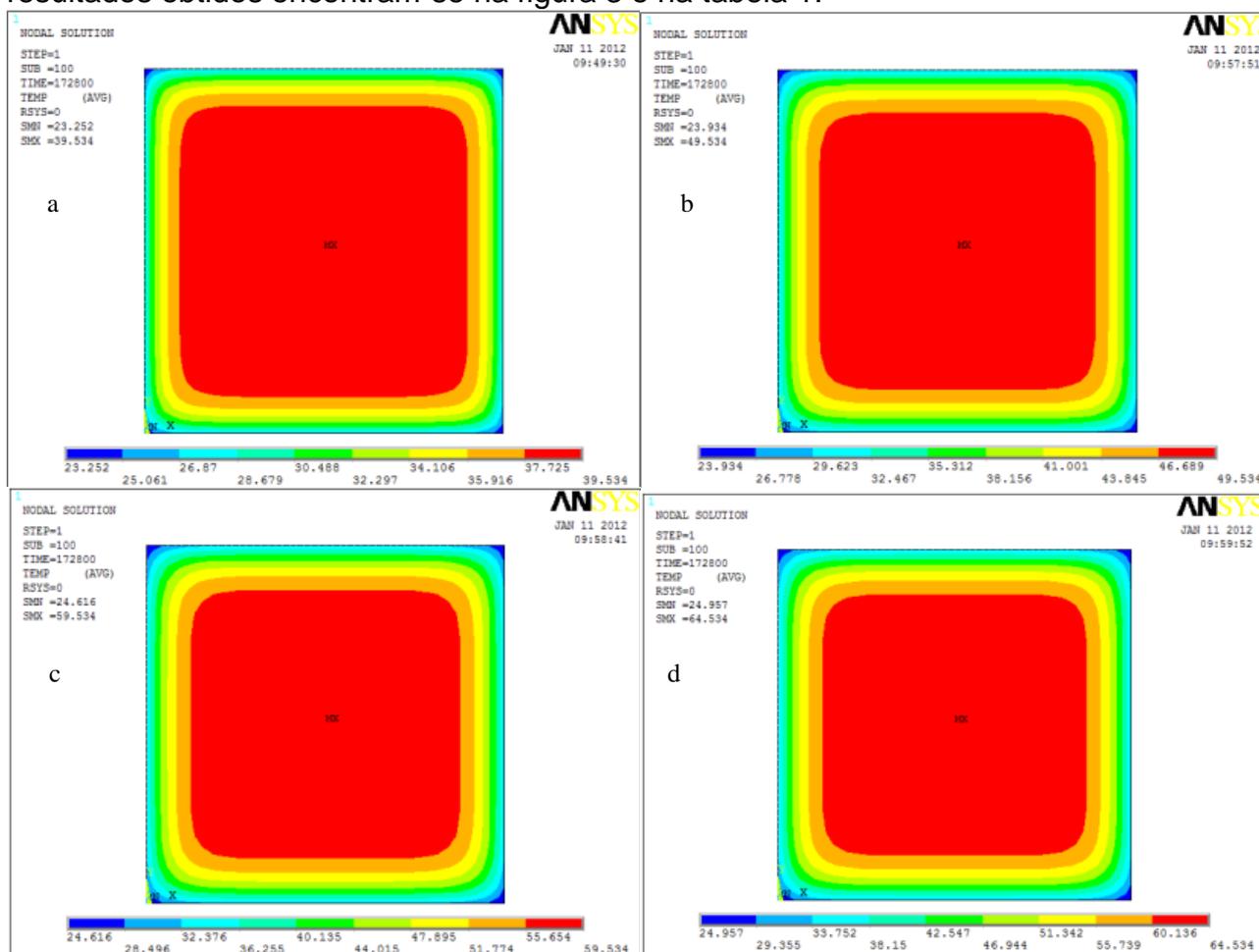


Figura 3 - Isotermas de temperatura para 2 dias de concretagem e temperatura de lançamento do concreto de a) 20°C; b) 30°C; c) 40°C; d) 45°C.

Tabela 1 – Resultados encontrados para diferentes condições iniciais.

Temperatura de lançamento do concreto	Diferença entre as temperaturas de lançamento	Temperatura máxima; nó	Diferença entre as temperaturas máximas
20°C	-	39.534°C Nó = 1402	-
30°C	10°C	49.534°C Nó = 1401	10°C
40°C	10°C	59.534°C Nó = 1401	10°C
45°C	5°C	64.534°C Nó = 1401	5°C

É possível notar que a temperatura máxima atingida é diretamente proporcional à temperatura de lançamento do concreto. Quanto maior a temperatura de lançamento, maior será a temperatura final atingida pelo concreto.

4.2 Condições de Temperatura no Contorno do Bloco de Concreto

Para a análise das condições de contorno, foram usadas as mesmas propriedades utilizadas nas condições iniciais, temperatura de lançamento do concreto fixa a 30°C. Já as condições de contorno foram modificadas como mostra a tabela 2 e figura 5. A referida tabela apresenta também o gradiente térmico para cada situação adotada. Este gradiente mostra a diferença entre as temperaturas máximas e mínimas atingidas. A figura 4 mostra a geometria utilizada, sendo que F1 = face 1; F2 = face 2; F3 = face 3 e F4 = face 4.

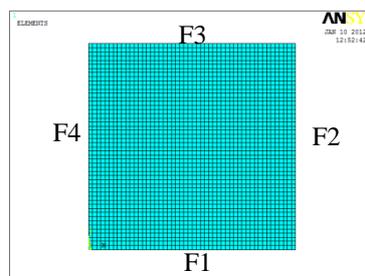


Figura 4 – Faces do bloco para análise das condições de contorno.

As constantes utilizadas para o concreto massa no estudo do presente caso foram:

- Condutividade térmica (k) = 1,79 W/m.°C
- Massa específica (ρ) = 2300 kg/m³
- Calor específico (c) = 1000 J/g.°C
- Coeficiente de convecção (h) = 10 W/m².°C

Tabela 2 – Resultados encontrados para diferentes condições de temperatura no contorno.

Caso	Temperatura das faces	Temperatura máxima; nó	Gradiente de temperatura
a	F1 = 20°C F2 = 20°C F3 = 20°C F4 = 20°C	49.534°C Nó = 1401	25.600°C
b	F1 = 30°C F2 = 30°C F3 = 30°C F4 = 30°C	49.534°C Nó = 1402	16.282°C
c	F1 = 40°C F2 = 40°C F3 = 40°C F4 = 40°C	50.159°C Nó = 451	7.590°C
d	F1 = 30°C F2 = 30°C F3 = 20°C F4 = 20°C	49.534°C Nó = 1449	25.600°C
e	F1 = 40°C F2 = 40°C F3 = 20°C F4 = 20°C	50.159°C Nó = 2313	26.225°C
f	F1 = 40°C F2 = 30°C F3 = 30°C F4 = 30°C	49.903°C Nó = 1382	16.651°C

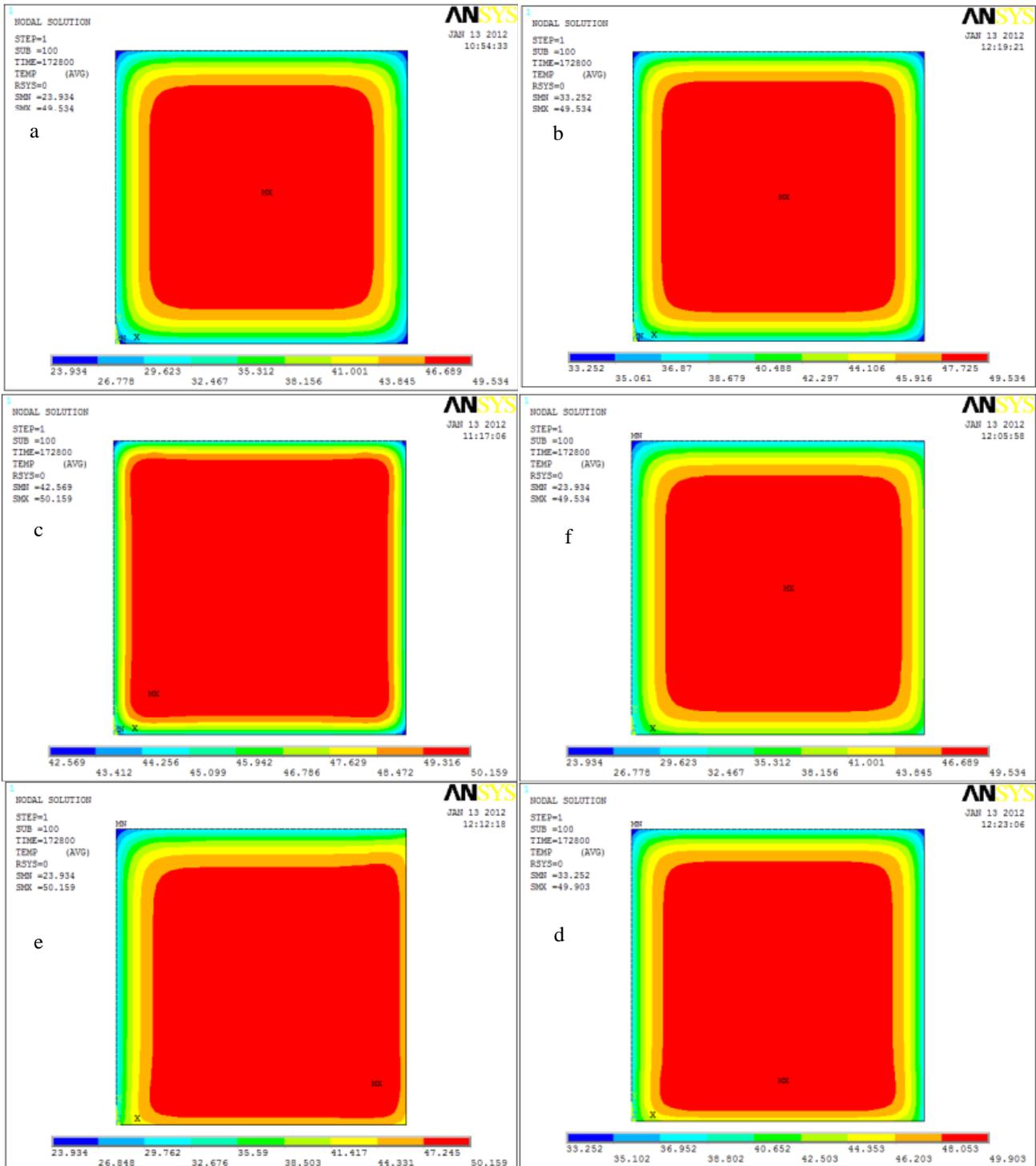


Figura 5 - Isotermas de temperatura para 2 dias de concretagem e condições de contorno para os casos de "a" a "f", conforme a tabela 2.

Os casos de 'a', 'b' e 'c' mostram as temperaturas máximas atingidas na situação de todas as faces estarem com a mesma temperatura. Nesta situação observa-se que quanto mais próxima a temperatura de lançamento da temperatura ambiente, menor será o gradiente térmico e, conseqüentemente, menor os riscos de uma eventual fissuração, por exemplo. Percebe-se também que a temperatura do contorno influencia na temperatura máxima e no ponto onde se encontra essa temperatura.

Os casos 'd' e 'e', mostram duas faces com uma temperatura e as outras duas com uma temperatura maior. Observa-se também que para as faces com temperatura maior que o lançamento do concreto, a máxima temperatura atingida ficou próxima a esta superfície. É possível afirmar também que ao existir diferença entre temperatura ambiente e a temperatura da superfície de recebimento do concreto; quanto maior a temperatura da superfície de recebimento, maior será o gradiente térmico.

O caso 'f', mostra uma análise semelhante às realizadas anteriormente. Tem-se um maior gradiente de temperatura para o caso em que se tem maior diferença entre a temperatura de lançamento e a temperatura no contorno.

5 Conclusão

Um dos fatores de mais influência nos efeitos térmicos é a geração do calor interno no concreto. Quando os grãos do cimento entram em contato com a água eles se hidratam e liberam calor. Essa geração de calor provoca as tensões térmicas que podem causar danos a estrutura. No entanto, essas tensões são mais significativas quando há um maior gradiente de temperatura - maior diferença entre as temperaturas máximas e mínimas no concreto massa.

Foram estudados diversos casos de blocos em concreto massa. Os efeitos térmicos podem ser analisados através das isotermas de temperatura obtidas com o software ANSYS. Essas isotermas indicam a evolução do calor, mostrando onde se encontram as temperaturas mais baixas e mais altas.

Para as condições iniciais de lançamento, foi possível observar que a temperatura máxima atingida é diretamente proporcional à temperatura de lançamento do concreto, ou seja, quanto maior a temperatura de lançamento, maior será a temperatura final atingida pelo concreto. Aspecto que ressalta a importância do processo de pré-resfriamento do concreto utilizando água gelada ou gelo no processo de preparação do concreto.

Analisando as condições da temperatura no contorno, conclui-se que quanto mais próxima a temperatura de lançamento da temperatura ambiente, menor será o gradiente térmico e, conseqüentemente, menor os riscos de fissuração. A temperatura do contorno (condições ambientais), também influencia na temperatura máxima. Do mesmo modo, quanto maior a diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura da superfície de recebimento do concreto, maior será o gradiente térmico. Assim, é desejável que as temperaturas do concreto, da superfície de recebimento e do ambiente estejam próximas.

Os resultados obtidos pelo programa ANSYS, reproduziram a contento as previsões teóricas esperadas para o comportamento térmico dos blocos de concreto estudados. A durabilidade dos resultados encontrados nas simulações efetuadas, qualificam o presente



Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2012
Outubro / 2012



@ 2012 - IBRACON - ISSN 2175-8182

programa, como uma ferramenta efetiva na análise dos efeitos térmicos provocados pelo calor de hidratação do cimento em grandes volumes de concreto massa.

6 Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Cement and Concrete Terminology**. ACI 318 Farmington Hills, 2005.

AZENHA, M. A. D.; CRUZ, J. S.; CAMÕES, A.; FERREIRA, R. M.; **Numerical Simulation of the Structural Behaviour of Concrete Tetrapods Subject to Imposed Deformations and Applied Loads**. Congress on Numerical Methods in Engineering. Coimbra. Junho: 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735**: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro: 1991.

_____. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro: 1991.

CALMON, J. L. **Estudio térmico y tensional en estructuras masivas de hormigón. Aplicacion a las presas durante la etapa de construcción**. Tese de Doutorado. Universidade Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona: 1995.

CHOKTAWEEKARN, P.; TANGTERMSIRIKUL, S.; **Effect of aggregate type, casting, thickness, and curing condition on restrained strain of mass concrete**. Songklanakarin J. Sci. Technol. Thailand: 2010.

FARIA, E. F.; **Predição da exotermia da reação de hidratação do concreto através de modelo termo-químico e modelo de dados**. 145 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio De Janeiro – COOPE/UFRJ. Rio de Janeiro: 2004.

FAIRBAIRN, E. M. R.; SILVOSO, M. M.; FILHO, R. D. T.; ALVES, J. L. D.; EBECKEN, N. F. F.; **Optimization of mass concrete construction using genetic algorithms**. Rio de Janeiro. Elsevier: 2003.

GADJA, J.; VANGEEM M.; **Controlling Temperatures in Mass Concrete**. **Concrete International**. January, 2002.

INOUE, G.; **Medidas Preventivas de Controle de Temperatura que Induz Fissuração no Concreto Massa**. Boletim Técnico Nº 7; Escola Politècnica da Universidade de São Paulo – EPUSP; São Paulo: 1986.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS; **The Specification and Quality Control of Concrete for Dams**. Paris: 2009.



Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2012
Outubro / 2012



@ 2012 - IBRACON - ISSN 2175-8182

KAVAMURA, E. E.; **Estudo do comportamento termo-estrutural bidimensional de barragens de concreto utilizando o Método dos Elementos Finitos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba: 2005.

KRÜGER, D. A. V.; **Análise térmica transiente de estruturas de concreto executadas por camadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba: 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

Mistério dos transportes. Disponível em: <<http://www2.transportes.gov.br/bit/hidroviavias/barragens/tucurui.htm>>. Acesso em: Abril 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. 828 p.

SANTOS, S. B. **Uma Contribuição ao Estudo do Comportamento Termomecânico de Estruturas Maciças de Concreto. Modelagem Viscoelástica Linear e Aplicações**. 287 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória: 2004.

SILVA, M. T. Q. S.; **Análise térmica transiente e de tensões em estruturas executadas em camadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba: 2003.

SILVOSO, M. M.; **Modelagem Numérica do Concreto a Poucas Idades**. 83 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro: 2002.