

APLICAÇÃO DE CONCRETO RESFRIADO EM FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL: ESTUDO DE CASO EM NATAL/RN

I. V. Monte Júnior^{1,2}; D. F. L. de Paiva¹; H. A. A. Diniz¹; L. K. M. de Mendonça¹; C. M. Pederneiras¹.

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

²Av. Ayrton Senna, 2327, Apt 302 – Bloco L, Nova Parnamirim, CEP 59.151-906, Parnamirim/RN - italo.vale@unp.br

RESUMO

Trata-se de um estudo de caso com monitoramento e análise do comportamento térmico do concreto utilizado nas fundações de um edifício residencial em Natal/RN, através do registro da temperatura média do elemento estrutural nas primeiras idades, a cada duas horas, durante cinco dias consecutivos após a concretagem. Para tanto, foi acompanhada a evolução da temperatura do concreto pré-resfriado, com F_{ck} de 40 MPa, usinado com a substituição parcial e/ou total da água de amassamento por gelo. Os resultados demonstraram que tanto os blocos com substituição de 40% da água de amassamento por gelo, como os blocos com 100% de substituição, apresentaram temperaturas acima do esperado. Foi observado ainda que questões geométricas dos blocos influenciaram nas temperaturas alcançadas, sendo o maior pico de temperatura apresentado pelo bloco F, 55 °C no segundo dia de controle. Fatores como temperatura ambiente na hora da concretagem também influenciaram nas temperaturas de hidratação verificadas.

Palavras-chave: Temperatura do concreto. Concreto resfriado. Fissuração plástica do concreto.

INTRODUÇÃO

O concreto é um material heterogêneo cujos componentes constituintes possuem diferentes propriedades térmicas. Dessa forma, vários fatores como os tipos de materiais utilizados, o volume de agregados, o teor de água, a porosidade resultante, podem afetar as propriedades térmicas do compósito.

Uma peça de concreto com dimensões tais que necessitem de medidas a serem tomadas para minimizar a geração de calor de hidratação do cimento e, conseqüentemente, o aparecimento de fissuras é chamado de concreto massa ⁽¹⁾.

A retração ou contração térmica do concreto ocorre devido ao seu resfriamento nas primeiras idades, e se inicia após a expansão do concreto, a qual é resultante da elevação da temperatura gerada pelo calor de hidratação ⁽²⁾. Este fenômeno é normalmente observado em estruturas de grande porte, e as altas temperaturas geradas são resultantes tanto do calor de hidratação do cimento como da dificuldade ou das condições em que essas estruturas de concreto têm de dissipar o calor ⁽³⁾.

Durante a hidratação do cimento ocorre uma reação exotérmica, liberando calor no período de endurecimento do concreto. Este calor de hidratação produz gradientes térmicos, resultando em tensões térmicas e, conseqüentemente, no aparecimento de fissuras ⁽⁴⁾. O calor gerado que não escapa para o meio ambiente é retido, causando aumento de temperatura e expansão no concreto. Isto ocorre devido à baixa condutividade térmica do compósito que evita uma dissipação rápida do calor em peças mais espessas, como no caso do concreto massa. Quando a espessura da peça é superior a 1 metro, o centro está praticamente em condições adiabáticas, porque o concreto é um mau condutor de calor (1,5 a 1,8 W/m/K) ⁽⁵⁾.

A manifestação patológica relacionada com a retração térmica é a fissuração do concreto. Essa retração pode levar a uma deterioração das estruturas tendo em vista a abertura de um caminho livre para a percolação de água, iniciando um processo de lixiviação do concreto. Essas fissuras podem ainda promover a penetração de agentes agressivos e contribuindo para a corrosão das armaduras. Sendo assim, o controle de fissuração em estruturas de concreto é importante para garantir a durabilidade desde as primeiras idades ⁽²⁾.

Além dos constituintes que influenciam no aumento da temperatura final do concreto, fatores ambientais afetam a perda de água por evaporação, como por

exemplo as condições climáticas do dia da concretagem, contribuindo para o aparecimento das fissuras após o lançamento e acabamento final da peça estrutural.

A previsão da evolução da temperatura do concreto devido ao calor de hidratação em estruturas é um problema de grande complexidade ⁽⁶⁾. A temperatura é então um parâmetro importante no controle tecnológico, devendo ser monitorada, principalmente, em obras com elementos estruturais com grandes volumes.

Em muitos casos, é necessária a pré-refrigeração do concreto com a utilização de gelo em substituição parcial à água, de ar frio, de água gelada ou nitrogênio líquido, e até mesmo a refrigeração dos agregados para reduzir-se a temperatura de lançamento ⁽²⁾.

A água de amassamento tem o maior efeito na temperatura do concreto por unidade de peso dentre todos os demais componentes. O uso de água de amassamento resfriada e/ou gelo na mistura é a melhor maneira de reduzir a temperatura do concreto porque o gelo absorve 80 cal/g ao derreter ⁽³⁾.

Sendo assim, esse trabalho se propõe a monitorar e analisar a evolução da temperatura de um concreto massa, aplicado em blocos de fundação de um edifício residencial localizado na cidade de Natal/RN, no qual parte da água de amassamento foi substituído por gelo, com o objetivo de reduzir a temperatura do concreto.

MATERIAIS E MÉTODOS

As fundações do edifício residencial em estudo são constituídas por estacas hélices contínua, com diâmetro variando entre 40 e 80 cm, sendo coroadas por blocos em concreto armado, interligados por cintas.

Apresentando nove configurações diferentes, em função do número de estacas coroadas, os blocos possuem volume de concreto variando entre 0,65 m³ (uma estaca \varnothing 40 cm) e 151,06 m³ (treze estacas \varnothing 80 cm), sendo o sistema de fôrmas executado em alvenaria de uma vez com bloco cerâmico, estruturada por cintas e pilaretes em concreto armado.

Nas Figuras 1a e 1b, exemplificam-se as fôrmas dos blocos cujos volumes de concreto são 151,06 m³, 37,49 m³ e 20,16 m³.

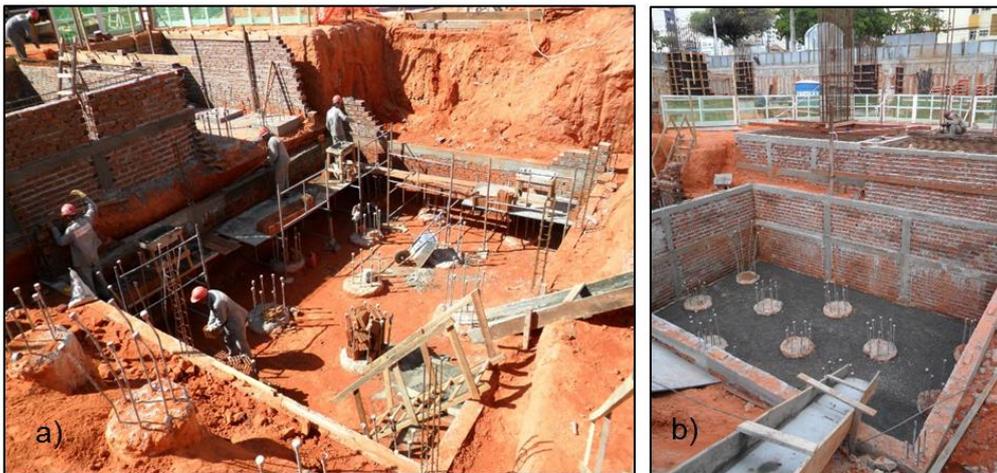


Figura 1 – Sistema de fôrmas - a) Elevação da alvenaria para os blocos; b) Fôrmas concluídas

O concreto foi produzido para uma resistência à compressão axial, aos 28 dias, de 40 MPa, com um consumo de cimento em 375 kg/m³, abatimento 100 ± 20 mm, brita de origem granítica, e substituição parcial e/ou total da água de amassamento por gelo que foi aplicado na própria usina, sendo a concretagem de cada bloco de coroamento realizada em camada única.

A Tabela 1 apresenta as características dos blocos monitorados.

Tabela 1 – Características dos blocos de coroamento monitorados

Nomenclatura do bloco	Dimensões (cm)	Volume de concreto (m ³)	Quantidade e diâmetro das estacas
A	350 x 630 x 170 (h)	52,96	8 ∅ 70 cm
D	330 x 530 x 215 (h)	37,60	6 ∅ 80 cm
E	480 x 530 x 215 (h)	54,70	7 ∅ 80 cm
F	830 x 650 x 280 (h)	151,06	13 ∅ 80 cm

Para o controle tecnológico, os blocos de coroamento foram analisados em dois agrupamentos: (i) volume 37,60 m³ (bloco D), com substituição de 40% da água de amassamento por gelo, teve a temperatura medida apenas no momento do lançamento; (ii) os blocos com volume acima de 50 m³ (blocos A, E e F), com substituição de 100% da água de amassamento, tiveram as temperaturas monitoradas desde o lançamento até cinco dias após a concretagem com intervalos de medição de duas horas.

Era previsto que a temperatura do concreto durante o descarregamento seria no máximo 20 e 24 °C, para as peças com volume superior e inferior a 50 m³, respectivamente.

Procedeu-se a aferição das temperaturas ambiente e do concreto com um termômetro digital tipo espeto a prova d'água, com haste de 15 cm em aço inox, escala de leitura entre -50 °C a 300 °C, e precisão de 1º C.

As Figuras 2a, 2b e 2c, demonstram a aferição das temperaturas ambiente, do concreto no estado plástico - recebimento na obra, e durante o período de controle de 5 dias, respectivamente.

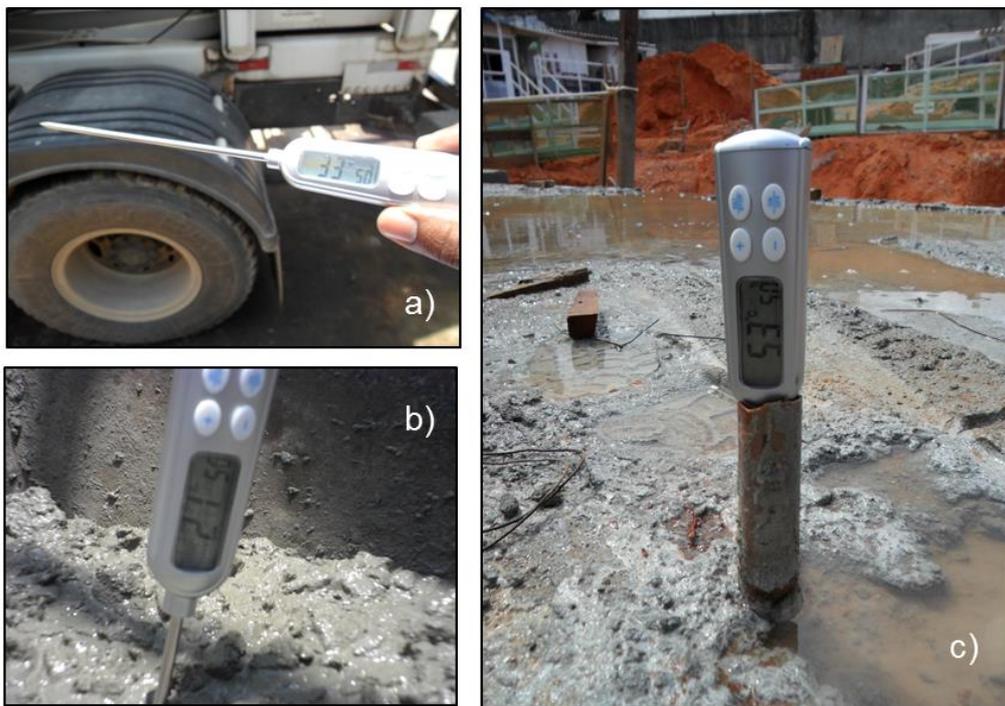


Figura 2 – Aferição da temperatura com termômetro digital - a) Ambiente (33 °C); b) Concreto no estado plástico (27 °C); c) Concreto no estado endurecido (53 °C).

Para aferição das temperaturas no concreto após o início da pega foram introduzidos verticalmente nos blocos de coroamento quatro tubos em PVC posicionados nos cruzamentos dos terços médios, conforme o esquema na Figura 3. Os tubos foram preenchidos com água, objetivando que esta entrasse em equilíbrio térmico com o interior da massa de concreto. Considerou-se a temperatura do concreto equivalente à média das quatro medições realizadas.

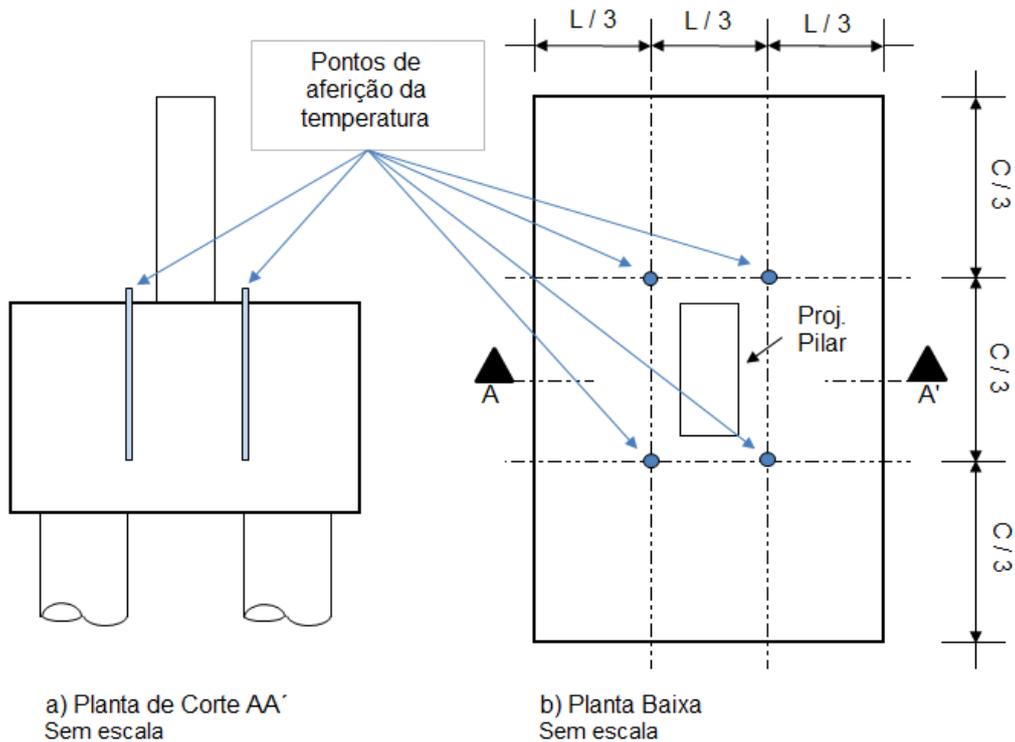


Figura 3 – Posicionamento dos pontos de medição da temperatura - a) Detalhe na Planta de Corte AA', b) Detalhe na Planta Baixa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A localização dos pontos de monitoramento da temperatura do concreto pelo terço médio das dimensões do bloco de coroamento investiga o parâmetro, apenas, nas porções mais centrais do elemento estrutural, nesse caso impedindo uma análise do gradiente de temperatura entre a superfície e o centro da peça. Esse gradiente se traduz em retração térmica diferencial, que durante o esfriamento, a temperatura da superfície diminui muito mais rápido do que a do centro da estrutura, potencializando a fissuração superficial da peça, se as tensões de tração na superfície forem superiores à sua resistência à tração ⁽⁵⁾.

Na Tabela 2, observa-se que a variação na temperatura do concreto no estado plástico, para os blocos com volume de concreto igual a 37,6 m³ (blocos D), ocorreu entre 24 °C (T_{\min}) e 30 °C (T_{\max}), com temperatura média no lançamento de 27 °C, superando a expectativa inicial de 24 °C. A temperatura e coeficiente de variação (8,7%) máximos, foram registrados no bloco D (P17) quando a concretagem ocorreu no período da tarde.

Tabela 2 – Controle da temperatura do concreto no estado plástico – recebimento na obra

Bloco / Pilar	Horário (h:min)		Variações da temperatura (°C)				
	Início	Término	T _{min}	T _{máx}	T _{méd}	Desvio Padrão	Coefficiente Variação (%)
D (P19)	8:30	11:32	24	27	26	1,30	5,1
D (P18)	8:54	12:27	26	29	28	1,14	4,1
D (P17)	13:49	17:05	25	30	28	2,41	8,7
D (P14)	9:13	13:16	24	27	26	1,34	5,2
D (P11)	8:47	14:13	24	25	25	0,55	2,2
E (P13)	8:41	13:15	23	27	25	1,35	5,4
D (P10)	9:06	12:02	26	29	28	1,22	4,4
F (P5, P8)	8:55	20:31	20	26	24	1,71	7,2
A (P1, P3)	8:19	13:05	21	26	23	1,7	7,5

Essa temperatura elevada do concreto fresco resulta em uma hidratação do cimento mais rápida e leva, portanto, a pega acelerada e menor resistência em longo prazo do concreto endurecido ⁽⁷⁾.

Constatado que a temperatura do concreto no lançamento para os blocos D, com 40% de substituição da água de amassamento ficou acima do previsto, optou-se por substituir 100% da água por gelo, além de resfriar o agregado graúdo com banho de água gelada para os blocos com volume de concreto superior a 50 m³ (blocos A, E e F).

A variação da temperatura para os blocos A, E e F, esteve entre 20 °C (T_{min}) e 27 °C (T_{máx}). O bloco E obteve o menor coeficiente de variação para as temperaturas mínima e máxima (5,4%), porém registrou as maiores temperaturas 23 °C (T_{min}) e 27°C (T_{máx}), sendo a temperatura média igual a 25 °C.

Os blocos A e F apresentaram os coeficientes de variação 7,5% e 7,2%, respectivamente, sendo as temperaturas médias de 23 °C para o bloco A e 24 °C para o bloco F. Se comparados ao bloco E, o aumento na variação da temperatura do concreto no estado plástico foi promovido pela redução nas temperaturas mínimas, sendo 20 °C para o bloco F e 21 °C para o bloco A. Esse fato pode ser atribuído a possível falha na continuidade do resfriamento da brita, visto que as menores temperaturas foram registradas nas primeiras medições.

A Figura 4 demonstra que o pico de temperatura do concreto no bloco E foi de 54 °C, registrado após 18 horas do lançamento. A elevação da temperatura do concreto (ΔT_{Aq}) foi de 29 °C, sendo registrada uma redução na temperatura (ΔT_{Rf}) de 15 °C, após 80 horas de atingido o pico de temperatura para uma variação na temperatura ambiente de 11 °C.

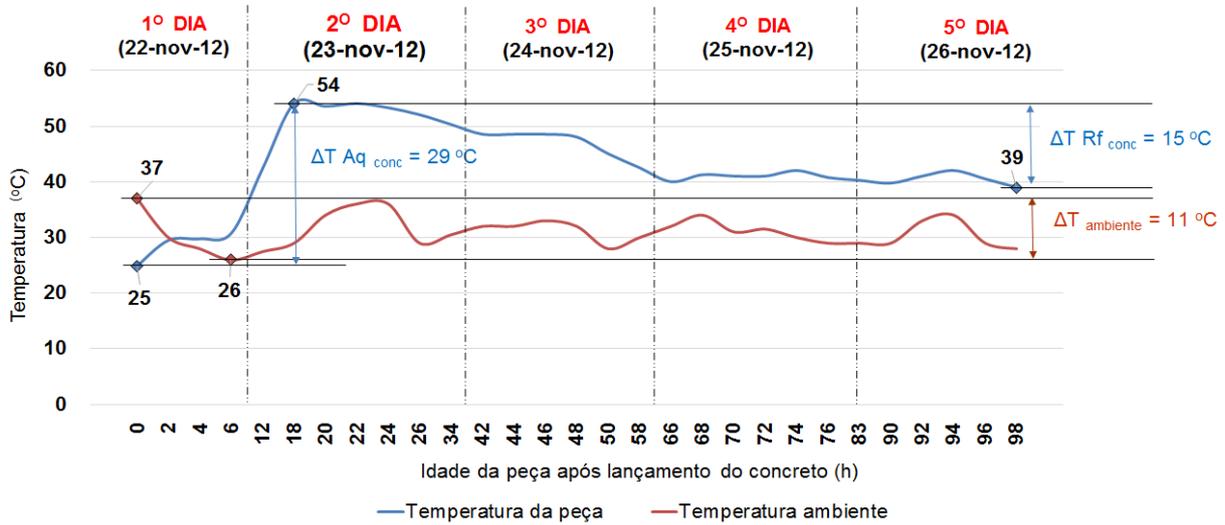


Figura 4 – Evolução da temperatura no bloco de fundação (E) com volume de 54,70 m³

Na Figura 5, observa-se que o pico de temperatura do concreto, no bloco F, foi de 55 °C, registrado após 17 horas do lançamento. A elevação da temperatura do concreto (ΔT_{Aq}) foi de 31 °C, sendo registrada uma redução na temperatura (ΔT_{Rf}) de 10 °C, após 66 horas de atingido o pico de temperatura para uma variação na temperatura ambiente de 7 °C.

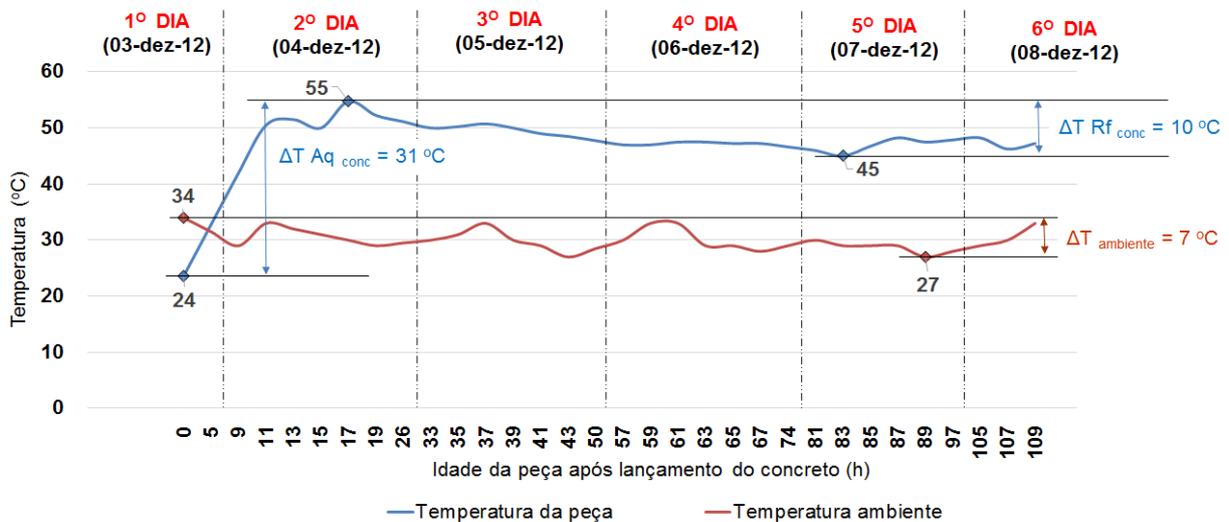


Figura 5 – Evolução da temperatura no bloco de fundação com volume de 151,06 m³

Na Figura 6 observa-se que o pico de temperatura do concreto, no bloco A, foi de 51 °C, registrado após 23 horas do lançamento. A elevação da temperatura do concreto (ΔT_{Aq}) foi de 28 °C, sendo registrada uma redução na temperatura (ΔT_{Rf}) de 13 °C, após 66 horas de atingido o pico de temperatura para uma variação na temperatura ambiente de 11 °C.

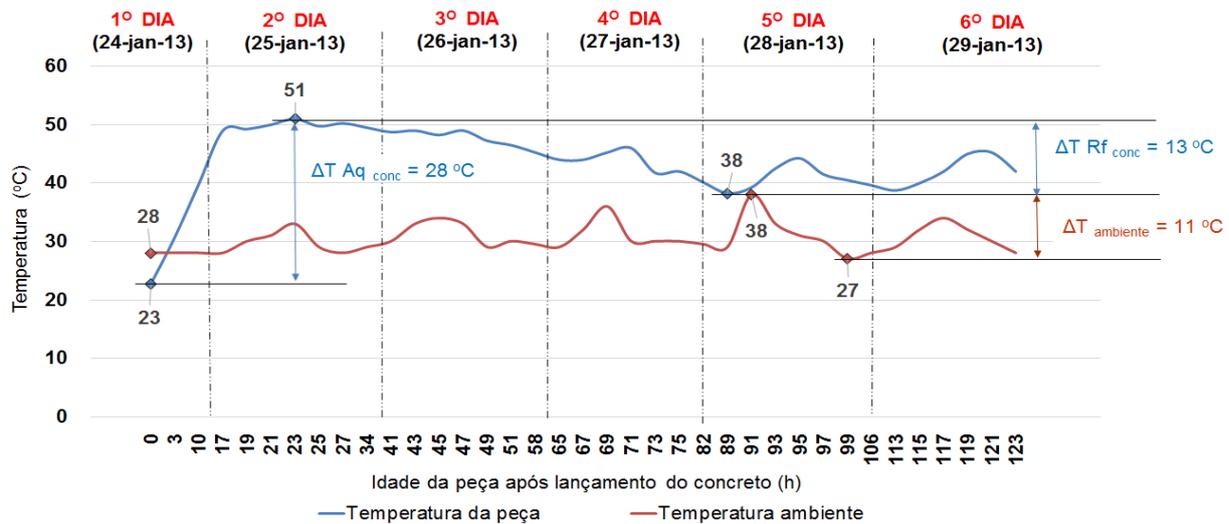


Figura 6 – Evolução da temperatura no bloco de fundação com volume de 52,96 m³

Os gradientes térmicos no concreto são influenciados, entre outros fatores, pela geometria da peça estrutural, sendo o volume relacionado ao aquecimento - conduzido pelo calor de hidratação do cimento e a área superficial ao resfriamento - promovendo equilíbrio térmico com o ambiente.

Considerando que o sistema de fôrmas atuou como material isolante, a troca de calor entre o concreto e o ambiente ocorreu fundamentalmente na parte superior do bloco de coroamento. Assim, observando a evolução da temperatura do concreto a luz da relação volume/superfície (V/S) em cada peça estrutural, percebeu-se que o resfriamento do composto tem relação inversa à variável V/S. O bloco E, com menor V/S (2,15 m) obteve a maior variação de temperatura que foi de 15 °C. Já o bloco F, com maior V/S (2,80 m), apresentou a menor variação 10 °C.

O aumento na temperatura do concreto tem relação direta ao volume e altura da peça estrutural, uma vez que esses fatores são preponderantes para a dissipação do calor. O bloco A, com menor volume e altura, apresentou a menor variação no aquecimento, que foi de 28 °C. Já o bloco F, com maior volume e altura, apresentou a variação de 31 °C.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados constatou-se que:

- (i) Os pontos de monitoramento da temperatura concentrados apenas na parte central da peça estrutural, formados a partir dos terços médios entre largura e comprimento, impossibilitaram analisar os gradientes térmicos;
- (ii) A substituição de 40% da água de amassamento por gelo, nos blocos D, não foi eficiente o suficiente para que as temperaturas dos compósitos durante o lançamento registrassem 24 °C. Tais blocos atingiram temperaturas médias de 27°C, portanto, a maior substituição da fração de água por gelo se mostrou necessária;
- (iii) Nos blocos com volumes acima de 50m³, além da substituição de 100% da água por gelo, foi realizado o resfriamento do agregado graúdo. Ainda assim, a maior média de temperatura alcançada foi de 25°C, superior a temperatura requerida de 20°C para tais blocos.
- (iv) O pico máximo de temperatura do concreto foi de 55 °C, ocorrendo no bloco F de maiores volume e altura, após 17 horas do lançamento, para uma formulação do compósito com consumo de cimento em 375 kg/m³, brita granítica e substituição total da água de amassamento por gelo;
- (v) O resfriamento do concreto em endurecimento ocorreu de forma inversa à relação volume/superfície da peça estrutural, sendo a maior variação de 15 °C, registrada após 80 horas de atingido o pico de temperatura para uma variação na temperatura ambiente de 11 °C.

Sendo assim, o acompanhamento da evolução da temperatura em blocos de coroamento de grandes volumes é recomendado de forma a minimizar o surgimento de fissuras e conseqüentemente, contribuir para uma maior durabilidade.

REFERÊNCIAS

- (1) American Concrete Institute. Cement and Concrete Terminology. ACI 318 Farmington Hills, 2005.
- (2) SANTOS, S. B.; BITTENCOURT, R. M.; GRAÇA, N. G. Efeitos da temperatura sobre o concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.) *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 705-731.

(3) MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

(4) DE SCHUTTER, G. Finite element simulation of thermal cracking in massive hardening concrete elements using degree of hydration based material laws. Computers & Structures, v. 80, p. 2035-2042, 2002.

(5) ACKER, A.; TORRENTI, J.M.; GUÉRINET, M.. Controle da fissuração nas primeiras idades: condição de durabilidade das obras de concreto. In: OLLIVER, J.P.; VICHOT, A. (Ed). Durabilidade do concreto: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. São Paulo: IBRACON, 2014. p. 181-206.

(6) KIM, J. K.; KIM, K. H.; YANG, J. K. Thermal analysis of hydration heat in concrete structures with pipe-cooling system. Computers & Structures, v. 79, p.163-171, 2001.

(7) NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J.. Tecnologia do concreto. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. p. 161-174.

APPLICATION OF COOLED CONCRETE IN FOUNDATIONS OF RESIDENTIAL BUILDING: CASE STUDY IN NATAL

ABSTRACT

This research shows a case study about the monitoring and analysis of thermal behavior of the concrete used in the foundations of a residential building in Natal/RN, by recording the average temperature of the structural element in the first ages, every two hours for five days row after concreting. Thus, it was accompanied the evolution of the pre-cooled concrete temperature with F_{ck} 40 MPa, with the partial replacement or total of water by ice. The results showed that both blocks with replacement of 40% of mixing water with ice, and the blocks with 100% replacement showed up the expected temperatures. It was also observed that geometrical issues of the blocks influenced the temperatures reached, the highest peak temperature presented was the block F, 55 °C during the second day of control. Factors such as ambient temperature at the time of concreting also influenced the verified hydration temperatures.

Key-words: Concrete temperature. Cooled concrete. concrete plastic cracking.