

## MONITORAMENTO DA TEMPERATURA DO CONCRETO EM BLOCOS DE FUNDAÇÃO.

Ítalo Vale Monte Júnior<sup>1</sup>; Paloma Weidy Bezerra Diniz<sup>1</sup>

**RESUMO** A execução de peças com grande volume de concreto tem sido cada vez mais comum em obras convencionais. A construção desses volumes de concreto necessita de cuidados especiais capazes de diminuir o gradiente entre as temperaturas do centro e das camadas exteriores, pois o posterior resfriamento pode levar o concreto à fissuração. Desse modo, o objetivo deste artigo consiste em avaliar a evolução da temperatura do concreto utilizado em fundações. O assunto é tratado desde a sua conceituação teórica e exposto, experimentalmente, através do estudo de caso, com monitoramento e análise do comportamento térmico do concreto dividido em etapas, por meio do registro da temperatura média do elemento estrutural nas primeiras idades, três vezes ao dia, durante seis dias consecutivos após a concretagem. Os resultados encontrados correlacionam-se entre si e as temperaturas do bloco utilizando as equações geradas aproximam-se bastante do valor encontrado em campo. Pode-se observar que o pico de temperatura da segunda camada é mais elevado que o da anterior, em razão desta ter sido lançada sobre a primeira camada, a qual se encontrava ainda mais quente do que a temperatura ambiente. Tornou-se possível a verificação para o conhecimento aproximado da temperatura máxima que o núcleo do bloco irá atingir, mediante a altura do bloco de concreto e suas propriedades, possibilitando uma análise anterior à construção, o que viabiliza estratégias capazes de reduzir as tensões derivadas dos efeitos térmicos.

**Palavras-chave:** Concreto massa. Calor de hidratação. Elevação de temperatura do concreto...

**ABSTRACT:** The construction of blocks with large volumes of concrete has been increasingly common in civil construction. The making of such large volumes of concrete requires special care, enabling the decrease of the temperature gradient between the core and outer layers; otherwise, the subsequent cooling may lead the concrete to crack. Thus, this paper aims to evaluate the evolution of concrete temperatures used in foundations. The subject will be analysed from its theoretical framework and presented, experimentally, as a study case. This study case monitors and analyses the thermal behaviour of concrete, divided in stages, through the recording of average temperature of the structural element in the early ages, three times per day, for six consecutive days after concreting. The findings of this paper correlates within each other and the block temperatures, and when using the generated equations, the results are extremely close to the numbers found in the field. It is observed that the temperature peak of the second

<sup>1</sup> Universidade Potiguar - UnP

layer is higher than the first layer, as a result of the former being placed over the latter, whilst the first layer was warmer than the ambient temperature. It became possible to verify the approximate maximum temperature the core of the concrete block will reach, given the height of the block and its properties, allowing an analysis prior to the construction, which enables the development of strategies to reduce the structural tensions deriving from thermal effects.

**Keywords:** Concrete mass. Heat of hydration. Concrete temperature rise.

## INTRODUÇÃO

Conforme expõe o American Concrete Institute (ACI,2005), concreto massa é um grande volume de concreto com dimensões suficientes que necessitam de medidas a serem tomadas para suportar a geração de calor pela hidratação do cimento e a conseqüente variação volumétrica das peças estruturais, minimizando as fissuras.

Em decorrência do crescimento numeroso da construção de edifícios, a execução de peças com grande volume de concreto tem sido cada vez mais comum em obras convencionais, não se restringindo mais às obras específicas, como pontes e barragens. Portanto, uma previsão das divisões e distribuições de temperatura do concreto oferecem um valor experimental necessário e prático na avaliação de serviço do ciclo de vida do mesmo (ZENG *et al.*, 2022).

Para isso, a construção desses volumes de concreto necessita de cuidados especiais capazes de diminuir o gradiente entre as temperaturas do centro e das camadas exteriores, bem como reduzir o pico de temperatura das peças (CARNEIRO; GIL e CAMPOS NETO, 2011), visto que o problema não está no fato da elevação ocorrer de forma rápida – expandindo – mas sim no posterior resfriamento do concreto, cuja tendência ao equilíbrio com a temperatura ambiente acarreta a retração da estrutura, o que poderá levar o concreto à fissuração, caso os esforços superem a capacidade do concreto de resistir.

Nesse sentido, a umidade no interior do concreto atua como regulador do equilíbrio térmico entre a peça estrutural e o ambiente. Chen *et al.* (2022) constaram experimentalmente que o tempo de secagem do concreto aumenta com o aumento das dimensões da peça, além de influenciar nas resistências à tração e compressão do material.

A elevação da temperatura das estruturas de concreto é dada pelas reações de hidratação do cimento. Essas reações exotérmicas liberam energia sob a forma de calor e a metade desse calor é liberado entre o primeiro e o terceiro dia. Graeff (2017) afirma que, em concretos convencionais, para consumos de cimento acima de  $300 \text{ kg/m}^3$ , uma elevação no consumo de cimento de  $100 \text{ kg/m}^3$  causa um aumento de  $12^\circ\text{C}$  na temperatura do núcleo da peça de concreto, independentemente do tipo de cimento utilizado.

Outro problema causado pela elevação da temperatura é a formação de etringita tardia, definida como a formação vagarosa do mineral chamado etringita, em um processo que se inicia após o endurecimento do concreto, cuja reação não há sulfatos vindos de um meio externo (ANDRADE; TORRES, 2016). Um fenômeno que pode ocorrer quando o concreto atinge temperaturas superiores a  $65^\circ\text{C}$ , responsável por gerar expansões no concreto que resultam em fissurações mapeadas ou direcionadas na superfície do mesmo.

Comparado com concretos antigos, os modernos propendem a apresentar fissuras de modo mais fácil, o que pode ser atribuído tanto à sua menor fluência (deformação lenta), como à maior retração térmica e à maior retração por secagem. Isso ocorre porque antigamente os concretos desenvolviam a resistência muito lentamente, posto que eram moídos com grãos grossos. Para obter, então, altas resistências nas primeiras idades do concreto, mantendo assim rápidos prazos de construção, substituiu-se o  $\text{C}_2\text{S}$  – que tem baixo calor de hidratação – pelo  $\text{C}_3\text{S}$  e  $\text{C}_3\text{A}$  – que liberam calor muito rápido. Conseqüentemente, um maior calor de hidratação do cimento, associado às desvantagens, com um concreto mais poroso e com maior permeabilidade, tornando-o mais sensível à carbonatação e mais propício à penetração de agentes agressivos (THOMAZ, 2008).

Por estas razões, é indicado o estudo térmico com o propósito de planejar o modo mais adequado para a execução do concreto massa, especificamente em blocos de fundações em obras convencionais, requerendo-se, para tanto, atenções de construções, uma vez que o calor gerado é tão grande quanto o das obras especiais como pontes e barragens. Considerando cuidados como temperatura de lançamento do concreto, processo de cura, tipo do cimento e de outros materiais envolvidos na mistura, formas e dimensões da peça do concreto, altura das camadas de concretagem, assim como o intervalo

de tempo entre concretagem das camadas, entre outros. Dessa forma, ainda que a massa de concreto possa atingir um pico de temperatura elevado, o resfriamento será mais uniforme, não gerando um gradiente alto o bastante para causar fissuração.

Desse modo, este artigo se dispõe a verificar a evolução da temperatura do concreto utilizado em fundações e controlar o calor de hidratação dessas peças. Abordando e orientando métodos de prevenção de fissuras provenientes da variação térmica devido o desconhecimento por parte do meio técnico, considerando que a normalização nacional não aborda o tema.

## **FATORES QUE CONTRIBUEM NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO CONCRETO**

Postas as considerações iniciais, é essencial a necessidade de prevenção e controle das condições para tentar minimizar a geração de calor interno do concreto. São vários os fatores e procedimentos que influenciam essa quantidade de calor a ser produzido, do mesmo modo que são diversos os critérios ou procedimentos que devem ser adotados para que não desencadeie manifestações patológicas, tais como as condições ambientais, a refrigeração, tipo e consumo do concreto e a geometria da peça estrutural.

### **Condições ambientais**

Conforme Zeng *et al.* (2022), devido à superfície do concreto estar diretamente exposta aos fatores atmosféricos, ela tem uma resposta mais rápida à temperatura externa do que o interior do concreto, resultando em uma distribuição não homogênea da temperatura interna. Assim, a distribuição de temperatura leva diretamente a deformações do concreto como carga térmica, expansão, contração e flexão, que influenciam a integridade original das estruturas de concreto.

Carneiro, Gil e Campos Neto (2011) afirmam que a exposição ao sol deve ser evitada ou fazer parte da análise ao calor de hidratação, pois, uma vez exposto, o concreto absorve muito calor externo, causando um aumento considerável de temperatura do material. A temperatura ambiente torna-se

então importante, uma vez que influencia diretamente na temperatura que o concreto fresco atingirá antes da concretagem, isto é, no lançamento, já que somado ao ganho de temperatura com o calor produzido internamente devido às reações internas do concreto, atinge valores indesejáveis para a estrutura, podendo causar fissuras por retração.

Assim, Choktaweeakarn e Tangtermsirikul (2010) afirmam que uma técnica com capacidade de reduzir a geração de calor do concreto é o isolamento da superfície, controlando a perda de calor por condução, evaporação e radiação, regulando a taxa de queda de temperatura de forma a reduzir as diferenças de tensão devido a altos gradientes de temperatura.

### **Refrigeração do concreto**

Outra maneira de reduzir o calor de hidratação são os processos de pré-refrigeração e pós-refrigeração do concreto, a fim de reduzir a temperatura máxima alcançada. Para Coelho (2012), as maneiras de pré-refrigeração incluem a aspersão de água nos agregados, tendo grande efeito, visto que representam cerca de 70 a 85% do peso do concreto. Saidi, Jadidi e Karakouzian (2022) também indicam o resfriamento com uso de gelo incluso na água de mistura para absorver o calor por fusão. Bem como, o nitrogênio líquido, que pode ser injetado no misturador para resfriar o concreto misturado.

Já a pós-refrigeração consiste em processos com uso de tubos de refrigeração inseridos no concreto massa, cuja finalidade é reduzir de forma ágil a temperatura interior. Porém esse método é recomendado apenas quando a pré-refrigeração não é suficiente para diminuir a temperatura do concreto ao nível desejado.

### **Tipo e consumo de cimento**

Conforme explica Coelho (2012), o cimento escolhido como constituinte do concreto deve possuir uma composição química que resulte um desprendimento lento de calor, reduzindo os efeitos térmicos. Assim, o autor propõe cimentos como o CP III – Cimento Portland de alto-forno, que possui de 35% a 75% de escória, e o cimento CP IV – Cimento Portland pozolânico, que

possui um teor de materiais pozolânicos secos entre 15% e 50% da massa total de aglomerante (ABNT, 2018). Observa-se que estes cimentos apresentam menor teor de compostos que se hidratam mais rapidamente, como o  $C_3S$  e  $C_3A$ , mesmo que desenvolva uma menor resistência inicial não modifica a resistência final.

Desse modo, existem cimentos com maior e menor calor de hidratação, e devido ao fato de o cimento influenciar significativamente na temperatura final do concreto, o consumo e a quantidade empregada deste material são fatores bastante pertinente para o calor de hidratação. Portanto, o traço do concreto deve ser controlado a fim de encontrar uma solução que atenda a resistência característica de projeto e o calor produzido dentro da tolerância.

### **Geometria da peça estrutural**

Tratando-se de concreto massa o qual possui regiões cercadas por grandes espessuras de concreto em todas as direções, permitindo que o bloco possua um centro com pouca capacidade de liberar calor, torna-se necessário adotar medidas para suportar a geração de calor pela hidratação.

Chen *et al.* (2022) em seus estudos com corpos de prova de concreto com diferentes tamanhos mostram que a força do concreto após a secagem foi afetada pelo tamanho. O concreto em diferentes espécies de tamanhos tem diferentes temperaturas de distribuição. Com um maior concreto tem-se então, um maior tempo de secagem, e à medida que o tamanho da estrutura aumenta, as propriedades mecânicas representadas pela resistência não são mais constantes.

Segundo Carneiro, Gil e Campos Neto (2011), definir a altura das camadas de concretagem é uma prática comum na prevenção do problema térmico. Para evitar regiões centrais muito afastadas da atmosfera, o que aprisionaria o calor na estrutura por mais tempo, é necessário definir o número de camadas e a altura das mesmas para que o calor de cada camada possa ser dissipado, determinando também o intervalo de tempo entre a concretagem das camadas, a fim de que a camada de baixo tenha perdido calor suficiente para evitar problemas à estrutura.

Choktaweekarn e Tangtermsirikul (2010) demonstraram através de gráficos um estudo onde foram analisadas as mudanças de temperatura para diferentes espessuras do concreto que variaram de 0,5 a 5 metros. Foi possível notar que a temperatura do concreto variou conforme a espessura da camada e ao longo do tempo, ou seja, quanto mais espessa era a camada, maior a temperatura máxima atingida na reação de hidratação do cimento.

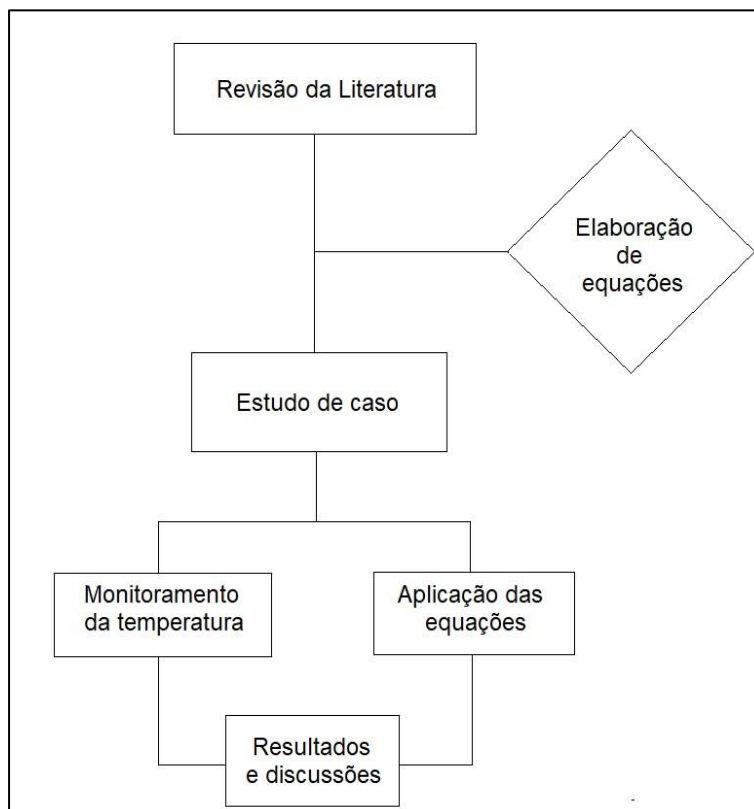
## **METODOLOGIA**

Esse estudo realizou-se em três fases. A primeira fase desse trabalho consistiu em uma busca por material bibliográfico, seguida por uma pesquisa exploratória com relação ao tema em estudo, buscando uma abordagem sobre o concreto massa e os efeitos térmicos a que está submetido.

Após a familiarização com o tema, estudou-se os principais fatores que contribuem no comportamento térmico do concreto, bem como o conhecimento de pesquisas com programas e *softwares* através de análises mais simplificadas, partindo-se para exemplos já estudados com outros recursos computacionais e experimentais.

Os estudos feitos e a análise das pesquisas sobre o comportamento térmico do concreto serviram como fundamentação teórica e como auxílio a fim de instruir a melhor opção viável, acessível e econômica diante das diversas situações e construções, bem como a geração de equações com o propósito de determinar um valor aproximado da temperatura final que o concreto pode atingir, como forma de solução do problema. As fases podem ser compreendidas com maior facilidade a partir da visualização esquemática da Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do trabalho



Fonte: Autores (2022).

Após essas etapas partiu-se para o estudo de caso, expondo experimentalmente o comportamento da estrutura quanto aos efeitos térmicos, admitindo-se a geração interna de calor no concreto massa em estruturas reais e mostrando na prática os métodos para combater as fissuras por calor de hidratação em obras convencionais da construção civil.

Para que fosse possível determinar a temperatura no interior do bloco, foi utilizado uma régua de alumínio, a mesma foi concretada junto ao bloco e preenchida com água, fez-se então um isolamento térmico com folhas de compensados, na primeira etapa, pois o local possuía muita incidência tanto de vento como de insolação. Com o uso de um termômetro digital inserido na água foi possível verificar as temperaturas que o interior do bloco de concreto estava atingindo. Na parte superior foi feito um cordão de argamassa e uma camada de lâmina d'água com 5 cm, o isolamento foi feito com um isopor apenas na região da régua.

Ao se realizar a primeira etapa da concretagem, as temperaturas foram monitoradas nos horários de 7:00, 12:00 e 17:00 horas durante os primeiros seis



dias. Quando, enfim, se verificou que a temperatura do bloco estava atingindo um valor próximo da temperatura ambiente, foi liberada a segunda etapa de concretagem, a qual seguiu o mesmo período de monitoramento descrito na primeira etapa.

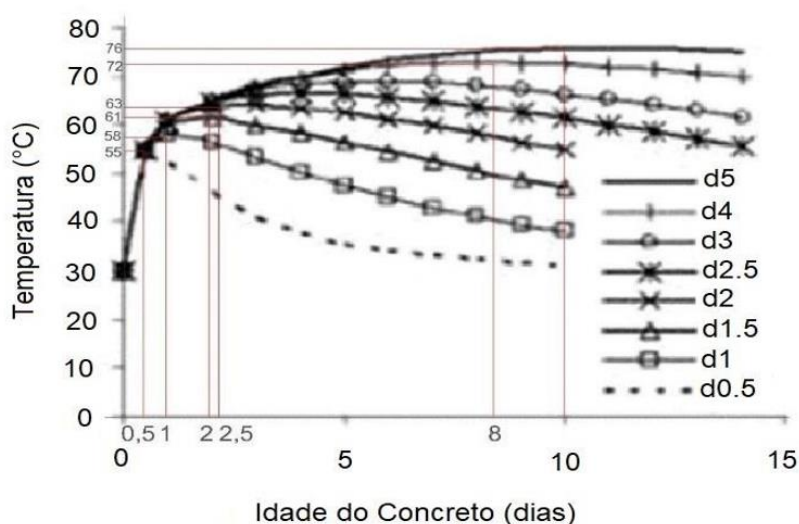
Foi utilizado um concreto com Fck de 40 MPa produzido a partir do cimento Portland CPV ARI com consumo igual a 380 kg/m<sup>3</sup>. A concretagem realizada possuiu um intervalo de lançamento de seis dias entre as duas etapas.

Em seguida, foi feito a análise comparativa entre os dados coletados em campo e as equações geradas, para que assim fosse possível validar o estudo, e então analisar e discutir os resultados.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Baseado nos dados do estudo de Choktaweekarn e Tangtermsirikul (2010) elaborou-se uma rotina de cálculos matemáticos possível de prever o pico de temperatura que o concreto atingiria. De acordo com o gráfico adaptado na Figura 2, analisando a espessura e a idade do concreto foi possível determinar os picos de temperatura para cada dimensão, bem como a temperatura adiabática (sistema isolado de qualquer troca de calor), atingida pelo bloco de maior espessura, esse o qual é possível o maior aparecimento de patologias, representado pela curva mais externa do gráfico.

Figura 2 – Gráfico de Choktaweekarn e Tangtermsirikul para identificação das temperaturas



Fonte: Adaptado de Choktaweekarn e Tangtermsirikul (2010).

A rotina de cálculos inicia-se com as determinações dos gradientes ( $\Delta T$ ) e coeficientes ( $K_t$ ) de temperatura, de acordo com as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$(1) \quad \Delta T = T_{\max} - T_I$$

$$(2) \quad K_t = \frac{\Delta T}{T_{adb}}$$

Onde,

- $\Delta T$  = gradiente de temperatura;
- $T_{\max}$  = temperatura máxima;
- $T_I$  = temperatura de lançamento do concreto;
- $K_t$  = coeficiente de temperatura;
- $T_{adb}$  = temperatura adiabática.

Os dados encontrados na Figura 2 foram associados as Equações 1 e 2 para determinação do coeficiente “ $K_t$ ” como demonstra a Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados encontrados de temperatura de acordo com os dias e as espessuras, para determinação do coeficiente “ $K_t$ ”

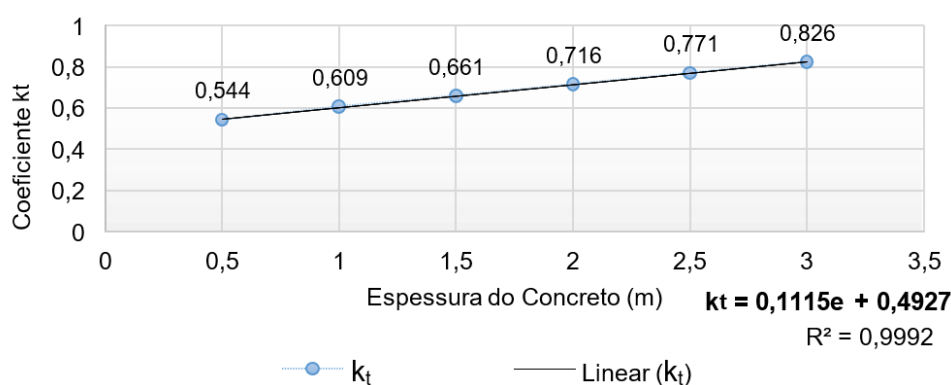
| Tempo<br>(dias) | e<br>(m) | $T_{\max}$<br>(C°) | $T_I$<br>(C°) | $\Delta T$<br>(C°) | $K_t$ |
|-----------------|----------|--------------------|---------------|--------------------|-------|
| 0,5             | 0,5      | 55                 | 30            | 25                 | 0,543 |
| 1               | 1,0      | 58                 | 30            | 28                 | 0,609 |
| 2               | 1,5      | 61                 | 30            | 31                 | 0,674 |
| 2,5             | 2,0      | 63                 | 30            | 33                 | 0,717 |
| 4,5             | 2,5      | 66                 | 30            | 36                 | 0,783 |

|    |     |    |    |    |       |
|----|-----|----|----|----|-------|
| 6  | 3,0 | 68 | 30 | 38 | 0,826 |
| 8  | 4,0 | 72 | 30 | 42 | 0,913 |
| 10 | 5,0 | 76 | 30 | 46 | 1     |

Fonte: Autores (2022).

Tornando possível encontrar uma fórmula para o valor de “ $K_t$ ” com a relação da espessura do concreto ( $e$ ), mostrado no gráfico da Figura 3.

Figura 3 – Gráfico para identificação do coeficiente  $k_t$



Fonte: Autores (2022).

Pode-se observar que as variáveis “ $K_t$ ” e “ $e$ ” apresentam forte correlação linear com o coeficiente  $R^2 = 0,9992$ .

Embasado no estudo de Graeff (2017) foi possível elaborar outra equação, pela qual se pode ter uma aproximação da temperatura máxima final do concreto. Uma vez encontrado o coeficiente “ $k_t$ ” que está diretamente relacionado a espessura do bloco de concreto, tal como o conhecimento do consumo de cimento e da temperatura a qual o concreto está sendo lançado, pode-se obter a Equação 3.

$$T_f = (C_c \times 0,12 \times k_t) + T_i \leq 65^\circ\text{C}$$

(3)

Onde,

- $T_f$  = temperatura final ( $^\circ\text{C}$ );
- $C$  = consumo de cimento ( $\text{m}^3$ );

- 0,12 = elevação de temperatura a cada  $\text{kg/m}^3$  de cimento independentemente do tipo, segundo estudos de Graeff (2017);
- $k_t$  = coeficiente de temperatura;
- $T_1$  = temperatura de lançamento do concreto ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### **Ações para a redução da temperatura inicial do concreto**

Para evitar problemas advindos do calor de hidratação no bloco de fundação em questão, algumas ações foram tomadas. Optou-se por horários com temperaturas ambiente mais amenas, tendo em vista à localização da obra ser na Região Nordeste do Brasil, caracterizada pelas altas temperaturas.

A execução do bloco foi dividida em duas etapas de concretagem de 0,65 metros de altura para evitar regiões centrais muito afastadas da atmosfera, o que aprisionaria o calor na estrutura por mais tempo. Então, tanto as camadas como a altura das mesmas foram definidas para que o calor de cada camada pudesse ser dissipado em grande parte antes da aplicação da próxima camada.

Para que o concreto não apresentasse um acentuado gradiente de temperatura, foi feito um isolamento térmico, posto que o local possui muita incidência de vento e de insolação. Ademais, fez-se a cura úmida nas duas camadas e utilizou-se folhas de compensados por toda a superfície do concreto. Para que fosse possível manter a temperatura da água de medição de temperatura do núcleo do bloco adotou-se folhas de isopor apenas na região onde estavam localizados os materiais, de modo a permitir que as mesmas não perdessem calor para o ambiente, conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Isolamento feito com folhas de isopor na região da coleta de temperatura do núcleo



Fonte: Autores (2022).

Observa-se na Figura 5, o resfriamento da base com uso de água antes da concretagem, a fim de diminuir a temperatura das fôrmas que receberiam o concreto.

Figura 5 – Bloco sendo preparado para concretagem



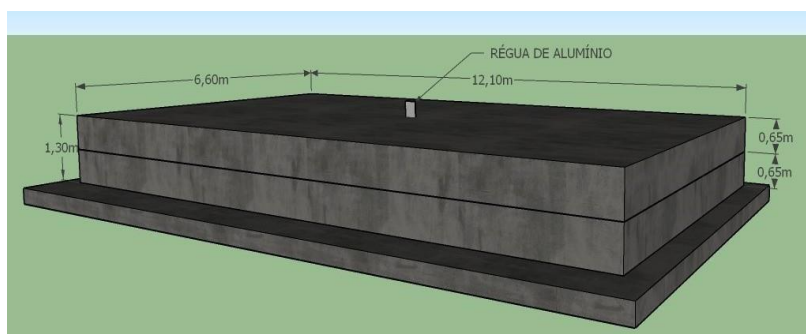
Fonte: Autores (2022).

A relação água/cimento, já definida pelo traço do concreto, foi relativamente baixa, precisamente no valor de 0,40, o que possibilita uma menor tendência de liberação de calor do concreto, segundo estudos realizados por Ern e Helene (2007).

## Monitoramento da temperatura

O bloco em estudo com dimensões de 12,10 metros de comprimento, 6,60 metros de largura e 1,30 metros de altura, executada sobre uma camada de regularização de concreto magro de 0,10 metros de espessura, foi executado em duas etapas de concretagem de 0,65 metros de altura, como observado na Figura 6. Ressalte-se que a régua de alumínio utilizada para determinar a temperatura no interior do bloco foi concretada no centro do próprio bloco.

Figura 6 – Dimensões do bloco em metros e localização da régua de alumínio

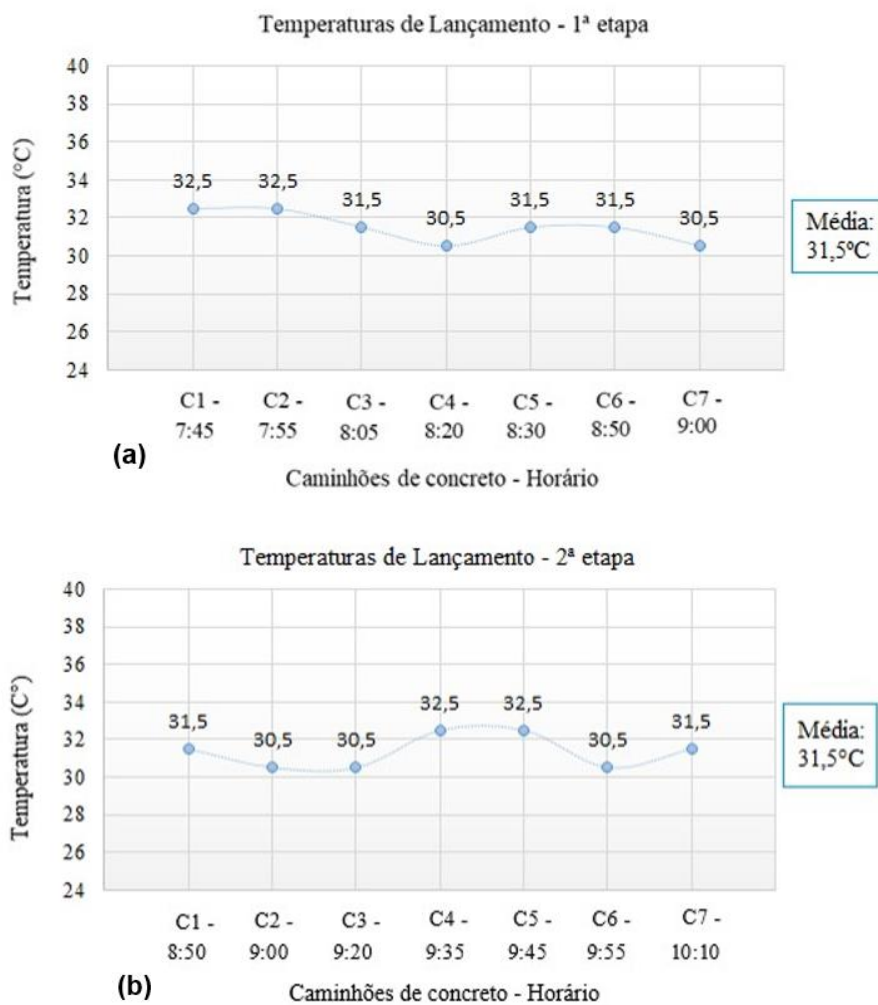


Fonte: Autores (2022).

Ao se monitorar as temperaturas nos horários de 7:00, 12:00 e 17:00 horas durante a primeira concretagem constatou-se que no 6º dia já atingira um valor próximo da temperatura ambiente, passando-se, então, ao início da segunda concretagem.

A temperatura ambiente nos dias da concretagem estava em torno de 30°C e a temperatura média de lançamento dos sete caminhões de concreto utilizados em cada etapa foi de 31,5°C, o que pode ser observado nas Figuras 7a e 7b.

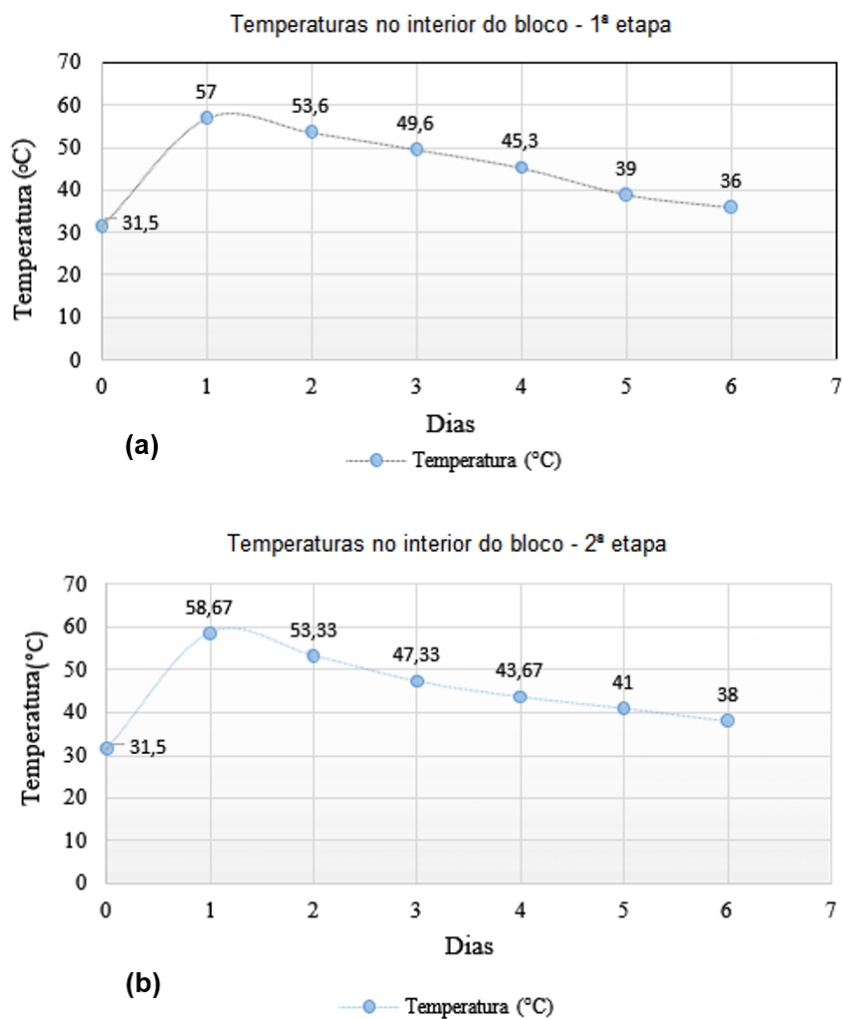
Figura 7 – Temperaturas de lançamento do concreto – (a) 1ª etapa e (b) 2ª etapa



Fonte: Autores (2022).

Os valores das temperaturas no núcleo do bloco, encontrados ao longo dos seis dias para a primeira e segunda etapa da concretagem, podem ser observados nas Figuras 8a e 8b.

Figura 8 – Temperaturas do concreto no interior do bloco – (a) 1ª etapa e (b) 2ª etapa



Fonte: Autores (2022).

Assim pode-se perceber que na fase dois há um aumento de temperatura na segunda etapa de concretagem.

### Análise comparativa

Utilizando as Equações 1 e 2 e o gráfico encontrado na Figura 3 construído com base nos estudos de Choktaweekarn e Tangtermsirikul (2010) e de Graeff (2017) como forma de validação do estudo de caso, o mesmo será comparado numericamente, de acordo com os dados e as variáveis sob o qual fora construído. As variáveis do concreto foram a espessura da peça de 0,65 metros, o consumo de cimento de 380kg/m<sup>3</sup>, e a temperatura de lançamento que foi de 31,5°C.



A partir dos dados obtidos em campo, aplicando na equação gerada pelo gráfico da Figura 3 para determinação do coeficiente de temperatura “ $K_t$ ”, obtêm-se:

$$K_t = 0,1115e + 0,4927$$

$$K_t = (0,1115 \times 0,65) + 0,4927$$

$$K_t = 0,565$$

Uma vez encontrado o coeficiente de temperatura “ $K_t$ ”, pode-se ter agora uma aproximação da temperatura máxima final do concreto conforme a Equação 3:

$$T_f = (C_c \times 0,12 \times k_t) + T_i$$

$$T_f = (380 \times 0,12 \times 0,565) + 31,5$$

$$T_f = 57,26^\circ\text{C} \leq 65^\circ\text{C}$$

Como forma de comparação, é demonstrado na Tabela 2 os resultados dos picos de temperatura encontrados em campo e os resultados encontrados pela equação, e a diferença entre eles.

Tabela 2 – Resultados encontrados de temperatura e sua variação diante da equação

| Etapas:  | Valor encontrado em campo (°C) | Valor da equação (°C) | $\Delta T$ (°C) |
|----------|--------------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1ª etapa | 57,00                          | 57,26                 | -0,26           |
| 2ª etapa | 58,67                          | 57,26                 | 1,41            |

Fonte: Autores (2022).

Com isso, os resultados encontrados para a temperatura do bloco utilizando as equações aproximam-se bastante do valor descoberto em campo. Pode-se observar que o pico de temperatura da segunda camada é mais elevado que o da primeira, em virtude de a mesma ter sido lançada sobre a primeira camada, que estava ainda mais quente em relação à temperatura

ambiente. Já o pico de temperatura da primeira camada apresentou menor temperatura em razão de ter sido lançado na base resfriada com água.

### **Recomendações para redução da temperatura final do concreto**

Observando os resultados do estudo de caso, verificou-se que o calor de hidratação e o gradiente térmico do bloco de concreto não permitiram que o mesmo apresentasse fissuras. Com as ações tomadas para a redução da temperatura inicial do concreto nenhuma etapa atingiu 65°C de temperatura no núcleo do bloco durante o pico, evitando, assim, a ocorrência de fissuras ou outras possíveis patologias.

Além das ações que foram tomadas para redução da temperatura, outros cuidados poderiam contribuir positivamente e deveriam ter sido executados na central de concreto, tais como: o resfriamento e a aspersão de água nos agregados; mudança de horário da concretagem, o qual poderia ter ocorrido durante a noite, uma vez que a temperatura ambiente influi diretamente e apresenta menores valores; por fim, o uso de gelo ou nitrogênio na mistura da massa também seria uma opção, pois permite que o concreto possa ser lançado com temperaturas amenas. Outro cuidado que se fez ausente diz respeito à definição do traço, tipo e consumo de cimento, vez que os mesmos já eram definidos em projeto.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A partir da observância do caso apresentado, percebe-se que o estudo do concreto massa ou qualquer outra estrutura antes da execução é fundamental na prevenção dos riscos. O conhecimento do objeto estrutural que se deseja construir é essencial para que futuros problemas sejam evitados. A temperatura no interior do concreto é um exemplo disso, posto que quando presente valores acima do desejável é capaz de provocar tensões no concreto com capacidade de levá-lo a fissuração. Ao se realizar um trabalho relacionado as reações térmicas, ocasionou-se uma maior compreensão das conseqüentes manifestações patológicas que venham a surgir no concreto e que afetam de forma tão significativa as estruturas.

Diminuir ou até evitar a fissuração é perfeitamente possível, desde que se adotem uma série de cuidados a serem tomados desde a análise dos diversos fatores que influenciam a temperatura do concreto até a execução do projeto.

Fez-se possível gerar as equações pertinentes para encontrar de maneira aproximada a temperatura final que um bloco de concreto massa possa atingir de acordo com suas dimensões e com o seu consumo de cimento. Tais equações foram validadas a partir da análise comparativa com os dados encontrados no estudo de caso. Os resultados encontrados correlacionaram-se entre si, ratificando, dessa maneira, as equações geradas. Constatou-se que definindo a altura do bloco de concreto e suas propriedades pode ser feita uma pesquisa preliminar à construção, conhecendo-se o valor aproximado da temperatura máxima que o núcleo do bloco atingirá, o que propicia estratégias de redução de tensões devido aos efeitos térmicos.

No que tange ao concreto massa, recomenda-se que o mesmo contenha baixa temperatura de lançamento e que esta temperatura esteja próxima da temperatura ambiente e da superfície de recebimento. Demais, pode-se mencionar o método de construção em camadas como outra boa estratégia para redução do gradiente térmico, mediante a verificação dos intervalos de tempo de lançamento das camadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 207.1R – 05**: Guide to Mass Concrete. ACI Comete 207. Farmington Hills, 2005.

ANDRADE, Tibério; TORRES, Igor Ferraz. **Análise de risco da formação de etringita tardia em blocos de fundação na região metropolitana de Recife – PE – Brasil**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/623>. Acesso em: 28 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

CARNEIRO, Guilherme Victor Humberto Soares; GIL, Leonardo Koziel dos Santos; CAMPOS NETO, Manoel Pires. **Calor de Hidratação no Concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade

Federal de Goiás – UFG, Goiânia, 2011. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/CALOR\\_DE\\_HIDRATA%C3%87%C3%83O\\_NO\\_CONCRETO.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/CALOR_DE_HIDRATA%C3%87%C3%83O_NO_CONCRETO.pdf). Acesso em: 28 jul. 2022.

CHEN, X.; ZHANG, G.; ZHOU, W.; LIU, H.; YANG, S. **Experimental research on dehydration process and strength of concrete influenced by drying temperature and concrete size**. Advances in Materials Science and Engineering. Nova York, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/5680910>. Acesso em: 28 jul. 2022.

CHOKTAWEEKARN, Pongsak; TANGTERMSIRIKUL, Somnuk. **Effect of aggregate type, casting, thickness, and curing condition on restrained strain of mass concrete**. Songklanakarin Journal of Science Technology. Tailândia, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/286890160\\_Effect\\_of\\_aggregate\\_type\\_and\\_casting\\_thickness\\_and\\_curing\\_condition\\_on\\_restrained\\_strain\\_of\\_mass\\_concrete](https://www.researchgate.net/publication/286890160_Effect_of_aggregate_type_and_casting_thickness_and_curing_condition_on_restrained_strain_of_mass_concrete). Acesso em: 28 jul. 2022.

COELHO, Nailde de Amorim. **Um estudo numérico do efeito térmico em concreto massa**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília – UnB, 2012. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/11251>. Acesso em: 28 jul. 2022.

ERN, Tiago; HELENE, Paulo. **Estudo das propriedades térmicas do concreto de média e alta resistência**. Boletim Técnico – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2007.

GRAEFF, Eduardo Recktenvald. **Elevação de temperatura de concretos com baixo consumo de cimento e adição de cinza volante**. Pós-Graduação – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/185445>. Acesso em: 28 jul. 2022.

SAIDI, M.; JADIDI, K.; KARAKOUZIAN, M. **Assessment of quality of fresh concrete delivered at varying temperatures**. CivilEng, 3(1), 135, Basileia, Suíça, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/civileng3010009>. Acesso em: 28 jul. 2022.

THOMAZ, Eduardo C. S. **Cimentos e Concretos**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://docplayer.com.br/6161167-Cimentos-e-concretos.html>. Acesso em: 28 jul. 2022.

ZENG, H.; LU, C.; ZHANG, L.; YANG, T.; JIN, M.; MA, Y.; LIU, J. **Prediction of temperature distribution in concrete under variable environmental factors through a three-dimensional heat transfer model**. Materials, 15(4), 1510. Basileia, Suíça, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma15041510>. Acesso em: 28 jul. 2022.