

INFLUÊNCIA DA CURA TÉRMICA POR IMERSÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

Eloisa Füchter (1), Daiane dos Santos da Silva Godinho (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)fuchtereloisa@gmail.com, (2)dss@unescc.net

RESUMO

O concreto de cimento Portland é composto basicamente por uma argamassa, de água, areia e cimento, com adição de agregados graúdos. Para serem alcançados resultados satisfatórios durante sua produção, devem ser tomados alguns cuidados durante e após o procedimento. A cura do concreto, descrita pela NBR 5738/2015, é uma etapa essencial para que o concreto cumpra com sua função estrutural ao longo de sua vida útil. Mais especificamente, o objetivo da cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível dessa condição, para promover a hidratação do cimento. A água reduz a retração da peça na fase em que o concreto tem pouca resistência, evitando fissuras que possam comprometer a estrutura. A cura térmica surge como alternativa para a produção de peças pré-fabricadas na construção civil, sendo uma solução para acelerar as reações iniciais de hidratação do cimento visando obter a resistência necessária para uma rápida desforma. O presente estudo, consiste em moldar corpos-de-prova de concreto de cimento Portland CP IV-32 e Fck de projeto de 42 MPa e mantê-los em imersão a temperaturas elevadas (40°C, 60°C e 80°C). Assim sendo, avalia-se o efeito da cura em suas propriedades mecânicas aos 7 e 28 dias de cura, fazendo um comparativo com corpos-de-prova curados em temperatura ambiente. Os resultados confirmaram que a cura térmica é uma alternativa potencial para melhorar a resistência à compressão do concreto nos primeiros dias de cura, no entanto, aos 28 dias não houve diferença significativa. Com relação ao módulo de elasticidade, tanto aos 7 quanto aos 28 dias, o resultado não foi significativo. De modo geral, a cura térmica por imersão à 40°C mostrou-se mais eficiente, atingindo uma resistência inicial de 35,46 MPa e não comprometendo os resultados de módulo de elasticidade e resistência à compressão a longo prazo, enquanto os corpos-de-prova de referência atingiram apenas 26,62 MPa aos 7 dias.

Palavras-Chave: cura térmica por imersão, pré-moldados de concreto, propriedades mecânicas.

1 INTRODUÇÃO

A alta competitividade no setor da construção civil tem levado as empresas construtoras a desenvolverem ações visando competir estrategicamente neste mercado, principalmente com foco no seu processo de produção. (GOBBO; SERRA; FERREIRA, 2009, p. 57). Os materiais pré-moldados de concreto além de

proporcionarem rapidez, economia e limpeza na obra, agregam em si o benefício de possuir um maior controle de qualidade, garantindo que as peças cheguem ao canteiro em boas condições de uso. No entanto, existem algumas dificuldades para manipulações nas primeiras idades, e a necessidade de racionalizar ao máximo o uso de moldes faz com que haja desforma em instantes inadequados, comprometendo o produto. (MELO, 2000, p. 1).

Dentre alguns cuidados que necessitam ser tomados para assegurar a funcionabilidade e durabilidade do concreto, está a cura, “[...] conhecida como o conjunto de medidas que tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento, que é responsável pela pega e endurecimento do concreto.” (PHILIPPSEN; SHIMOSAKA, 2014, p. 24). Empresas que trabalham com pré-moldados, necessitam de grandes áreas de estocagem, além de uma considerável quantidade de formas e equipamentos para a produção, em vista disso, utilizam a cura térmica, que tem como objetivo principal acelerar o processo de cura do concreto alcançando uma resistência mínima desejada em um curto período de tempo.

O objetivo deste trabalho é analisar a resistência à compressão e o módulo de elasticidade do concreto, quando submetido à cura, por imersão, nas temperaturas de 23°C (referência), 40°C, 60°C e 80°C. Para esta avaliação, será empregado cimento Portland IV, sem aditivo, e para cada temperatura serão ensaiados corpos-de-prova aos 7 e 28 dias de idade.

De acordo com Neville (1982), quanto mais resistente o concreto, menor será sua deformação, embora não exista uma forma exata que relacione essa dependência, pois o módulo de elasticidade do concreto depende do módulo de elasticidade do agregado e da proporção em volume do agregado na mistura.

A literatura constata que o aumento da temperatura acelera as reações iniciais de hidratação do cimento e reduz o desenvolvimento da resistência mecânica em idades mais avançadas, por afetar sua microestrutura.

Quando a superfície do material perde calor para a atmosfera, há surgimento de gradientes de temperatura entre a superfície do concreto e o seu interior, resultando em uma dilatação térmica. Se a força de tração na superfície do elemento exceder a resistência à tração do concreto, há o aparecimento de fissuras. (WALLER, 2004 apud PERES, 2006, p. 40).

Embora, teoricamente, exista essa perda potencial de resistência a longo prazo, a cura térmica tem como finalidade obter uma alta resistência inicial que permita o manuseio do concreto rapidamente após a concretagem. Assim, é possível que seja feita a remoção das formas, a liberação do dispositivo de protensão (quando protendido), resultando em economia, facilidade para cumprir prazos, redução de espaço destinado à cura e menor necessidade de estoque. (NEVILLE, 1997; SANTOS, 2009).

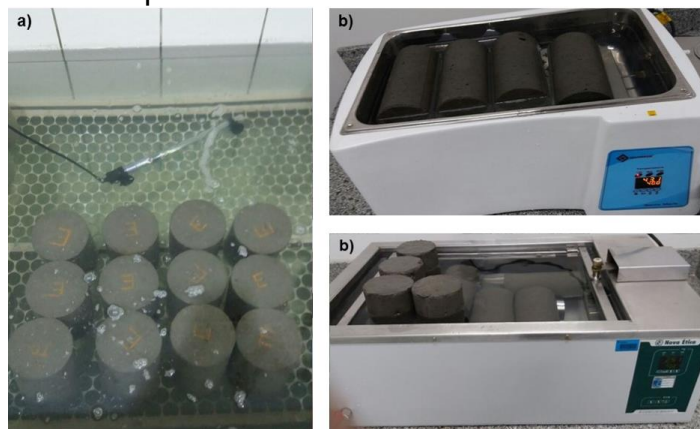
2 MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo principal do estudo é analisar o desempenho do concreto submetido a diferentes temperaturas de cura. O concreto utilizado na moldagem dos corpos de prova foi composto por cimento Portland CP IV-32, com densidade de 2,82 g/cm³. O agregado miúdo utilizado foi areia média, com módulo de finura de 2,2 e densidade de 2,54 g/cm³. O agregado graúdo possui diâmetro máximo de 19 mm e densidade de 2,83 g/cm³. O traço do concreto adotado foi 1:2,58:2,92 com relação água/cimento de 0,52 e abatimento de tronco de cone previsto para 10±2,0 cm, para atender a um F_{ck} de projeto de 42 Mpa.

Realizou-se a concretagem em três etapas, todas com o mesmo traço. Primeiramente foi feita a secagem dos agregados, logo após, os materiais foram pesados e devidamente armazenados com as quantidades ideais para cada etapa.

Na primeira etapa foram concretados 24 corpos-de-prova, sendo 12 de referência (23°C) e 12 que foram submetidos à cura em 40°C. Após a moldagem, os mesmos permaneceram nas formas na condição de cura inicial ao ar, durante 24 horas. Em seguida, os corpos-de-prova de referência, que não receberam tratamento térmico, foram colocados submersos em um tanque em temperatura ambiente (23°C) e os outros em banho-maria com temperatura controlada em 40°C, como consta na Figura 1.

Figura 1 – Cura por imersão. a) Corpos-de-prova de referência (23°C); b) Corpos-de-prova em cura térmica à 40°C.



Fonte: O Autor, 2016.

Na segunda concretagem, foram moldados 12 corpos-de-prova, curados ao ar durante 24 horas e submetidos, em seguida, ao banho-maria à 60°C (Figura 2), e na terceira, também foram moldados 12 corpos-de-prova curados ao ar durante 24 horas, e em seguida, curados à 80°C em banho-maria (Figura 3), totalizando 48 corpos-de-prova, todos com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, moldados conforme especificações da NBR 5738/2015. A concretagem e cura em três etapas, deve-se à limitação dos dois equipamentos de banho-maria em comportar apenas 12 corpos de prova, sendo que seria necessário suporte para 36 corpos-de-prova para que a concretagem e moldagem fossem feitas em um único dia. Todos os procedimentos foram realizados no LMCC – Laboratório de Materiais de Construção Civil, no IDT/UNESC.

Figura 2 – Corpos-de-prova em cura térmica por imersão à 60°C.



Fonte: O Autor, 2016.

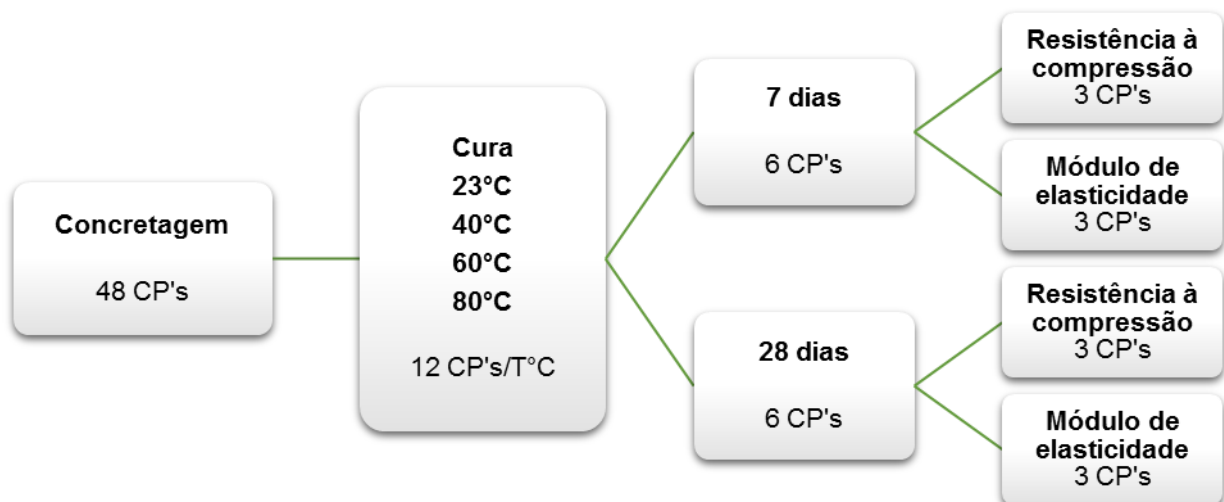
Figura 3 – Corpos-de-prova em cura térmica por imersão à 80°C.



Fonte: O Autor, 2016.

Para avaliar o comportamento do concreto, foram realizados ensaios de resistência à compressão axial e módulo de elasticidade aos 7 e 28 dias de cura em cada temperatura de acordo com a Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma de ensaios realizados



Fonte: O Autor, 2016.

Os ensaios para a determinação da resistência à compressão axial foram realizados de acordo com as orientações da NBR 5739/2007, que estabelece a Equação 1 para o cálculo da resistência (F_c). O equipamento utilizado foi uma prensa hidráulica com capacidade de carga de 200 toneladas, modelo PC200I, da marca EMIC, que conectada a um computador e através do software TESC – Test Script, realiza uma medição direta e emite laudos de resistência à compressão (Figura 5).

$$F_c \text{ (MPa)} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} \quad (1)$$

Onde:

F = é a força máxima alcançada (N);

D = é o diâmetro do corpo-de-prova (mm).

Figura 5 – Ensaio de resistência à compressão axial.



Foto: O Autor, 2016.

A determinação do módulo de elasticidade foi realizada baseando-se na NBR 8522/2008. Utilizou-se uma prensa servo-hidráulica da marca EMIC, modelo PC200CS, com capacidade máxima de 200 toneladas, conectada ao software TESC – Test Script e incorporada a um extensômetro eletrônico da marca EMIC, modelo EE08, responsável por medir as deformações da amostra (Figura 6). O extensômetro apresenta configuração dupla com sensores independentes para medição em cada lado do corpo-de-prova e caixa de equalização para obtenção do sinal de deformação média. Através dos resultados dos ensaios de compressão axial obtidos anteriormente, calculou-se a média da resistência à compressão do concreto. Com o corpo-de-prova centralizado na prensa iniciou-se a aplicação de planos de carregamento até atingir 30 % da resistência à ruptura do mesmo, em ciclos de 60 segundos. A determinação do módulo de elasticidade (E_{ci}) é dada pela Equação 2, estabelecida pela NBR 8522/2008. A partir desse processo foi gerado o relatório de resultados dos ensaios.

$$E_{ci} (GPa) = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} 10^{-3} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} 10^{-3} \quad (2)$$

Onde:

σ_b = tensão maior (MPa);

σ_a = tensão básica (MPa);

ϵ_b = deformação específica média dos corpos-de-prova sob a tensão maior;

ϵ_a = deformação específica média dos corpos-de-prova sob a tensão básica.

Figura 6 – Ensaio do módulo de elasticidade.



Fonte: O Autor, 2016.

Para verificar a influência da temperatura e tempo de cura sobre a resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto, adotou-se a metodologia estatística de um planejamento fatorial 2^k com dois fatores. Segundo Calado (2003), este planejamento fornece o menor número de ensaios com o qual k fatores podem ser simultaneamente investigados em um planejamento fatorial completo. Sendo a temperatura e o tempo de cura os dois fatores a serem considerados, pode-se obter quatro combinações ($2^2=4$). Para estudar o efeito do fator sobre a resposta é preciso fazê-lo variar e observar o resultado dessa variação, isso implica na realização de experimentos em pelo menos dois níveis desse fator (-1, +1), que no tratamento em questão, correspondem aos valores máximos e mínimos dos dois fatores adotados. Os pontos experimentais estão descritos na Tabela 1 e os dados foram analisados com o software *Statistica 13.0 Trial Version*.

Tabela 1 - Matriz de dados do planejamento fatorial 2^k adotado.

Experimento	Níveis		Fatores	
			Temperatura (°C)	Tempo de cura (Dias)
1	-1	-1	23	7
2	+1	-1	80	7
3	-1	+1	23	28
4	+1	+1	80	28

Fonte: O Autor, 2016.

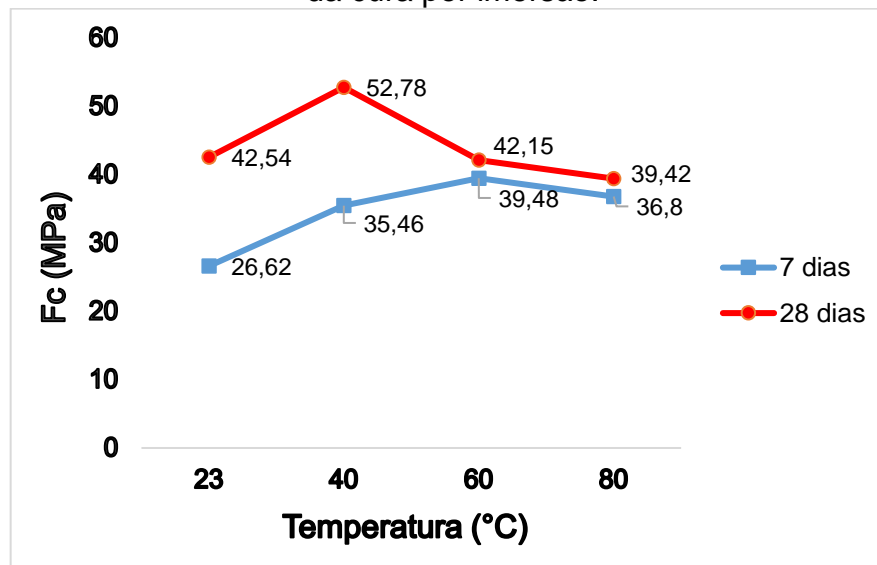
O tratamento estatístico limitou-se apenas à temperatura máxima e mínima de cura pelo fato de que os resultados não tiveram um comportamento linear, o que justifica a utilização da metodologia estatística de planejamento fatorial 2^k , mencionada anteriormente. No entanto, a metodologia utilizada gera uma superfície de resposta entre os extremos, que permite analisar os resultados dos ensaios nas temperaturas intermediárias de cura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados de resistência à compressão, representados na Figura 7, mostram que com a elevação da temperatura no ciclo de cura foi possível alcançar, como esperado, resistências elevadas a curto prazo. As três temperaturas da água, adotadas no estudo, resultaram em resistências superiores à do concreto curado à temperatura ambiente, aos 40°C, 60°C e 80°C o concreto atingiu uma resistência de 35,46 MPa, 39,48 MPa e 36,80 MPa, respectivamente, enquanto à 23°C obteve-se apenas 26,62 MPa. No entanto, pode-se observar que os resultados foram mais expressivos aos 7 dias e que entre os 7 e 28 dias o ganho de resistência para as temperaturas de 60°C e 80°C se estabilizou. Com relação aos corpos de prova mantidos em cura térmica à 40°C, constatou-se um aumento significativo nas duas idades.

Figura 7 – Resistência média à compressão em função do aumento da temperatura da cura por imersão.



Fonte: O Autor, 2016.

A Tabela 2 apresenta um comparativo entre a resistência à compressão das amostras curadas a altas temperaturas e à temperatura de referência (temperatura ambiente). Aos 7 dias pode-se perceber que todas as amostras submetidas à cura térmica tiveram um ganho de resistência em relação à amostra de referência, sendo o mais significativo à 60°C, onde a resistência foi quase 50 % superior à referência. Já aos 28 dias, a única amostra de concreto em que a resistência permaneceu superior à de referência foi a submetida à cura à 40°C, mostrando uma resistência à compressão 24,07 % superior à resistência do concreto curado em temperatura ambiente.

Tabela 2 – Variação da resistência entre a cura térmica e a cura em temperatura ambiente.

Temperatura	23°C	40°C		60°C		80°C	
	Fc (Mpa)	Fc (Mpa)	Variação (%)	Fc (Mpa)	Variação (%)	Fc (Mpa)	Variação (%)
7	26,62	35,46	33,21	39,48	48,31	36,8	38,24
28	42,54	52,78	24,07	42,15	-0,92	39,42	-7,33

Fonte: O Autor, 2016.

A Tabela 3 traz os valores de resistência à compressão, em resposta ao planejamento experimental apresentado na Tabela 1. Na Tabela 4 encontra-se o tratamento estatístico dos dados.

Tabela 3 - Resistência à compressão das amostras do planejamento experimental.

Experimento	Resistência à Compressão (MPa)			Média	Desvio padrão
	CP 1	CP 2	CP 3		
1	26,1	27,0	26,7	26,6	0,4
2	35,7	37,7	37,0	36,8	1,0
3	42,2	42,4	43,0	42,5	0,4
4	37,4	41,2	39,7	39,4	1,9

Fonte: O Autor, 2016.

Tabela 4 - Análise de Variância (ANOVA) aplicada aos valores de resistência à compressão.

	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados Médios	Teste F	Valor p
(1) Temperatura (°C)	37,8075	1	37,8075	29,7892	0,000603
(2) Tempo de cura (Dias)	258,5408	1	258,5408	203,7091	0,000001
1 por 2	132,6675	1	132,6675	104,5312	0,000007
Erro	10,1533	8	1,2692		
Total	439,1692	11			

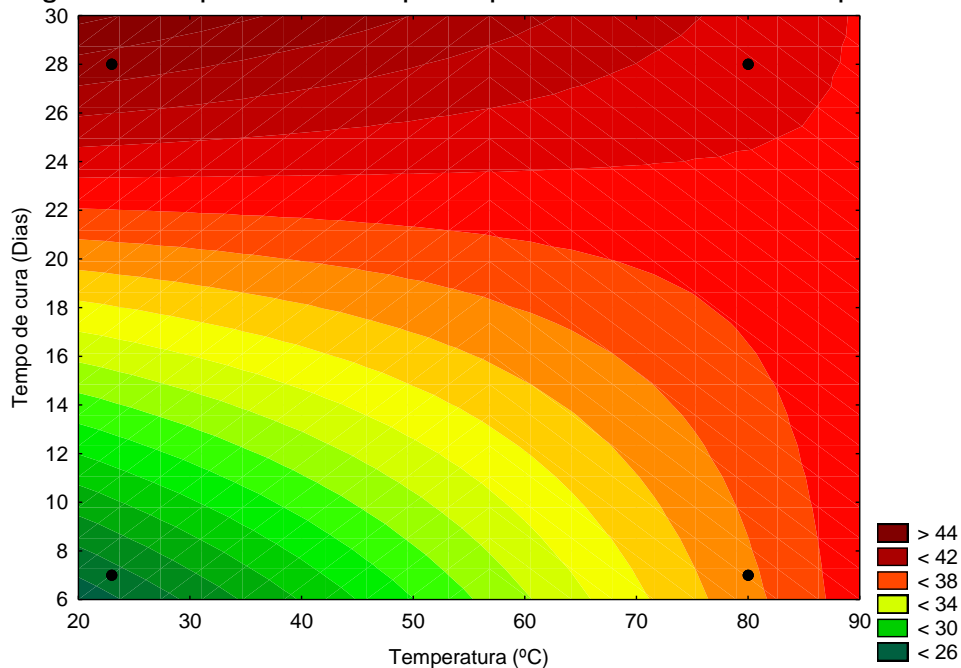
$\alpha = 0,05$; $R^2 = 0,97688$.

Fonte: O Autor, 2016.

Segundo Calado (2003), para que um fator seja significativo, deve-se obter um valor $p \leq \alpha$. Com base no nível de significância adotado ($\alpha = 0,05$) e para os intervalos de temperatura e tempo de cura avaliados, a Tabela 4 comprova que há evidências estatísticas de que estes fatores e a interação de ambos são significativos para a resistência à compressão do concreto, pois seus valores p são menores que α .

Também por meio da análise estatística realizada, foi possível obter uma superfície de resposta para a resistência à compressão, ilustrada na Figura 8 e determinar uma equação de correlação (Equação 3) entre a resistência à compressão axial e a temperatura ao longo do tempo. Esta equação demonstra que os dois fatores são significativos positivamente apenas se analisados separadamente. A interação de ambos tem significância, porém, negativamente. Como é possível observar em seu quarto segmento, com sinal negativo, quanto maior for a interação entre temperatura e tempo de cura, menor será sua resistência.

Figura 8 - Superfície de resposta para a resistência à compressão.



Fonte: O Autor, 2016.

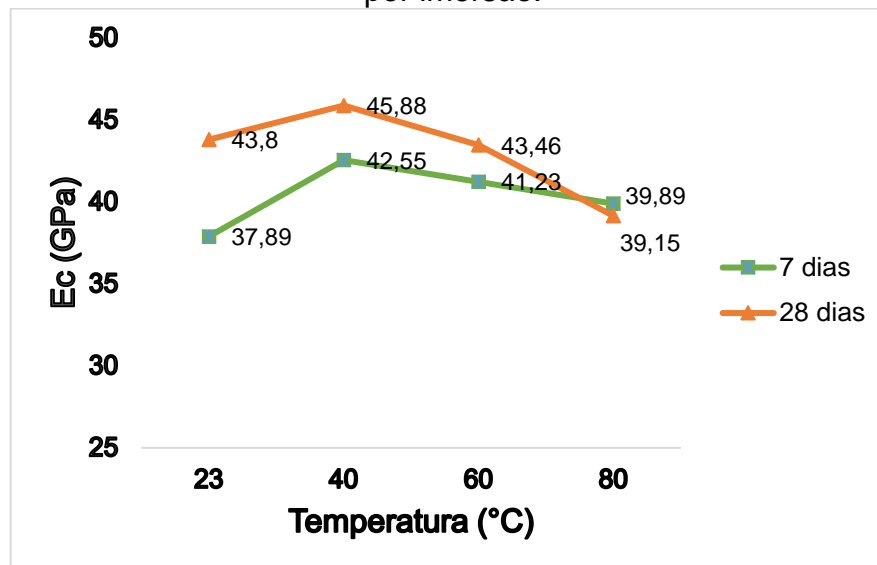
$$F_c \text{ (MPa)} = 15,384210526316 + 0,25672514619883x + 1,0142857142857y - 0,011111111111111xy \quad (3)$$

Como indica o coeficiente de determinação (R^2) apresentado na Tabela 4, o modelo proposto para a resistência à compressão possui um bom ajuste, pois seu R^2 foi próximo de 1 (0,97688). Logo, utilizando a equação acima com outros valores de temperatura, é possível estimar a resistência à compressão do concreto ao longo do tempo de cura.

3.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Embora o concreto tenha atingido alta resistência inicial quando submetido à cura térmica por imersão, seus resultados nos ensaios de módulo de elasticidade não foram tão expressivos. Como pode-se ver na Figura 9, aos 7 dias os corpos de prova curados à 40°C, 60°C e 80°C apresentaram um módulo de elasticidade superior aos corpos de prova de referência, porém, com uma variação insignificante. Aos 28 dias, assim como nos ensaios de resistência à compressão axial, apenas o concreto curado à 40°C permaneceu superior ao concreto de referência.

Figura 9 – Módulo de elasticidade em função do aumento da temperatura da cura por imersão.



Fonte: O Autor, 2016.

A Tabela 5 traz as variações do módulo de elasticidade em relação à cura em temperatura ambiente, sendo o máximo ganho de 12,30 % aos 7 dias na cura à 40°C, e 4,75 % aos 28 dias para a mesma temperatura. Para as temperaturas de 60°C e 80°C, o aumento do módulo foi inferior a 10 % aos 7 dias e assim como nos ensaios de resistência à compressão, aos 28 dias apresentaram resultados inferiores às amostras curadas em temperatura ambiente, uma redução de 0,78 % a 60°C e -10,62 % a 80°C.

Tabela 5 – Variação do módulo de elasticidade entre a cura térmica e a cura em temperatura ambiente.

Temperatura	23°C		40°C		60°C		80°C	
	E		E	Variação	E	Variação	E	Variação
Idade (dias)	(Gpa)		(Gpa)	(%)	(Gpa)	(%)	(Gpa)	(%)
7	37,89		42,55	12,30	41,23	8,81	39,89	5,28
28	43,8		45,88	4,75	43,46	-0,78	39,15	-10,62

Fonte: O Autor, 2016.

A Tabela 6 expõe os valores obtidos nos ensaios de módulo de elasticidade com base no planejamento experimental e na Tabela 7 é apresentado o tratamento estatístico dos dados, aplicando-se o mesmo nível de confiança de 95 % ($\alpha = 0,05$), ou seja, para que o fator seja significativo deve-se obter $p \leq 0,05$.

Tabela 6 - Módulo de elasticidade das amostras do planejamento experimental.

Experimento	Módulo de Elasticidade (GPa)			Média	Desvio padrão
	CP 1	CP 2	CP 3		
1	39,69	35,32	38,68	37,90	2,29
2	39,54	40,79	39,33	39,89	0,79
3	43,94	42,65	44,82	43,80	1,09
4	37,97	39,54	39,93	39,15	1,04

Fonte: O Autor, 2016.

Tabela 7 - Análise de Variância (ANOVA) aplicada aos valores de módulo de elasticidade.

	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Teste F	Valor p
(1) Temperatura (°C)	5,33333	1	5,33333	2,62560	0,143812
(2) Tempo de cura (Dias)	20,02083	1	20,02083	9,85625	0,013816
1 por 2	33,13363	1	33,13363	16,31167	0,003742
Erro	16,25027	8	2,03128		
Total	74,73807	11			

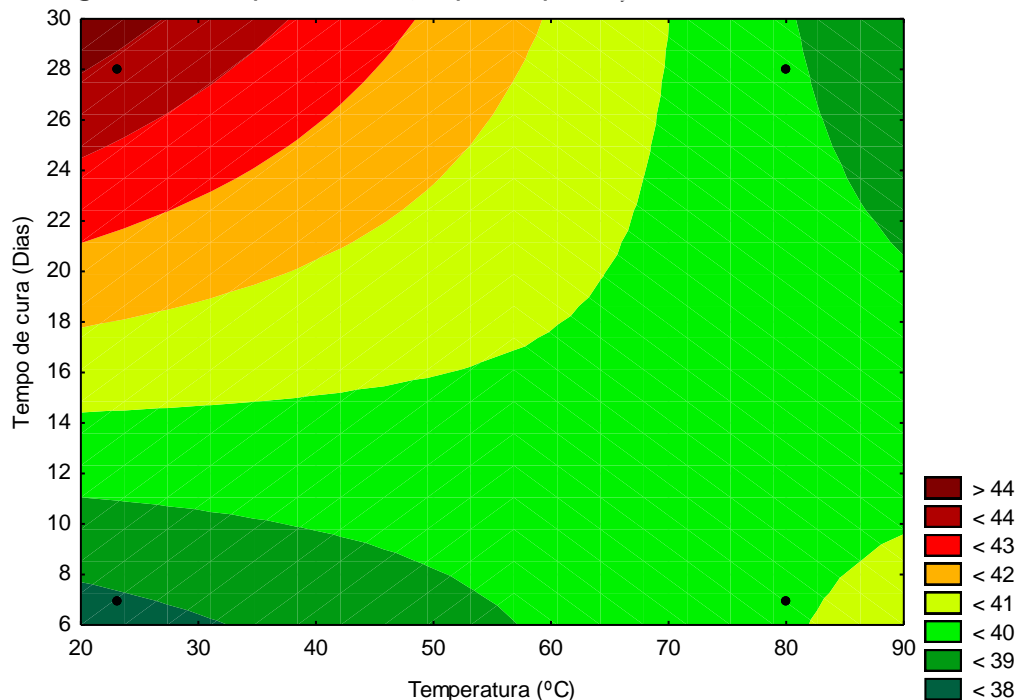
$\alpha = 0,05$; $R^2 = 0,78257$.

Fonte: O Autor, 2016.

Com base nos valores obtidos de p, pode-se verificar que no módulo de elasticidade do concreto a temperatura não foi um fator significativo ($p > \alpha$), mas o tempo de cura e a interação entre os fatores demonstraram significância.

A Figura 10 é a superfície de resposta para o módulo de elasticidade, em função da temperatura e do tempo de cura, e mostra, claramente, um resultado pouco relevante, pois além de apresentar curvas com pouca variação, seu coeficiente de determinação (R^2) obtido na Tabela 7 foi de apenas 0,78257, valor distante de 1. Significa dizer que a equação de correlação gerada através da superfície de resposta (Equação 4), não possui um ajuste confiável como o da Equação 3 gerada na superfície de resposta da resistência à compressão, ou seja, ao utilizá-la para estimar valores de módulo de elasticidade em função do tempo de cura e da temperatura, não é possível garantir um resultado preciso.

Figura 10 - Superfície de resposta para o módulo de elasticidade.



Fonte: O Autor, 2016.

$$E(GPa) = 34,230799220273 + 0,073781676413255x + 0,4089835700362y - 0,0055527708159287xy \quad (4)$$

Estudos semelhantes anteriormente apresentados na literatura, comprovam e complementam os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão. Santos (2009) submeteu blocos estruturais à cura térmica, neste caso à vapor, e obteve resultados satisfatórios quando os comparou às peças de referência. Embora tenham sido utilizados concretos com traços diferentes (1:7; 1:9; 1:11) do presente estudo, pôde-se observar que no período inicial a cura térmica também contribuiu para todas as temperaturas (40°C, 60°C e 80°C). No entanto, em idades mais avançadas, todos os seus valores foram mais baixos que os encontrados para os corpos-de-prova de referência, divergindo em partes com o estudo em questão, que aos 28 dias à 40°C permaneceu apresentando uma resistência superior à referência.

Com relação ao desenvolvimento da resistência, Kanda et al. (1992, apud PERES, 2006, p. 41) concluíram que aos 7 dias quanto maior for a temperatura, maior será a resistência obtida, mas que aos 28 dias, há uma inversão dos valores onde a menor temperatura apresenta uma maior resistência final. Esta definição contraria os resultados obtidos, já que os mesmos não apresentaram desenvolvimento linear.

Estas divergências podem ser justificadas pela diferença entre a cura térmica a vapor e a cura térmica por imersão.

BRITES (2015) estudou os efeitos na resistência do concreto pela cura térmica por imersão e obteve resultados semelhantes. Foi utilizado cimento CPV-ARI com aditivo superplastificante e adotadas as temperaturas de 28°C (referência), 60°C e 80°C. Os ensaios foram realizados nas idades de 1, 2, 3, 7, 14 e 21 dias de cura. Com relação à temperatura de 60°C, os valores da resistência à compressão apresentaram aumento significativo, principalmente nos dois primeiros dias de cura térmica, que mostraram um aumento de 35,6 MPa para 72,2 MPa. A cura à 80°C também aumentou os valores da resistência nos dois primeiros dias, com valores de 11 MPa para 66,2 MPa, mas logo se estabilizou, sendo ineficaz sua continuidade. Os autores acima citados não analisaram a influência da cura térmica no módulo de elasticidade do concreto. No entanto, de uma forma geral, a cura térmica apresentou bons resultados nos quatro estudos, indicando ser uma alternativa potencial para melhorar a resistência à compressão axial do concreto nos primeiros dias de cura.

4 CONCLUSÕES

No presente estudo foi analisada a influência da cura térmica por imersão nas propriedades mecânicas do concreto. Com base nos resultados obtidos nos ensaios realizados e considerando os objetivos propostos no estudo inicialmente, pode-se concluir que:

- O processo de cura térmica por imersão contribui significativamente na obtenção de maior resistência à compressão do concreto nas primeiras idades. Em virtude disso, é permitido o manuseio do concreto rapidamente após sua concretagem.
Reduzindo o tempo de cura dos pré-moldados, reduz-se, também, a área de estocagem das peças, possibilitando uma maior rotatividade de formas.
- Com relação aos resultados obtidos para a resistência à compressão aos 28 dias, estatisticamente não existe diferença significativa entre os corpos-de-prova curados à temperatura ambiente e os corpos-de-prova curados à altas

temperaturas. As temperaturas de 60°C e 80°C, inclusive, resultaram em resistência inferior à de referência.

- Os resultados do módulo de elasticidade, tanto aos 7 quanto aos 28 dias de cura térmica, não apresentaram um resultado significativo. Aos 7 dias, as três temperaturas apresentaram um acréscimo insignificante no módulo de elasticidade se comparado ao concreto de referência. Aos 28 dias, as temperaturas de 60°C e 80°C apresentaram valores inferiores à referência, apenas a cura térmica à 40°C permaneceu superior, ainda assim, com um acréscimo não expressivo de 4,75 %.
- No entanto, analisando o objetivo geral proposto, onde a resistência inicial deve ser alta o suficiente para o manuseio do concreto, não comprometendo a resistência a longo prazo, a cura térmica por imersão à 40°C mostrou-se uma alternativa eficiente. Apesar de seus valores para módulo de elasticidade não serem expressivos estatisticamente, nas duas idades (7 dias e 28 dias), mostraram-se superiores à referência, não comprometendo a rigidez do concreto.

5 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Com a finalidade de complementar e dar continuidade ao presente estudo, seguem algumas sugestões para futuros trabalhos:

- Adotar outros valores de temperatura e executar os ensaios em mais idades, para que seja possível realizar um planejamento experimental e obter uma análise estatística mais completa, já que o estudo em questão ficou limitado à quantidade de corpos-de-prova devido à capacidade de suporte do banho-maria.
- Analisar a microestrutura do concreto a fim de explicar sua perda potencial de resistência à longo prazo.
- Analisar a viabilidade econômica de implantação da cura térmica por imersão em uma fábrica de pré-moldados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739: Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 8522: Concreto – determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 9479: Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de prova de argamassa e concreto.** Rio de Janeiro, 2006.

BRITES, Bruno G. et al. **Estudos dos efeitos na resistência do concreto pela cura térmica por imersão.** Fortaleza, CE. 2015. 4 p.

CALADO, Verônica; MONTGOMERY, Douglas C. **Planejamento de Experimentos usando Statistica.** Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2003. 260 p.

Concreto&Construções, São Paulo, ano 27, n. 53, p. 57-65, jan./mar. 2009.
GOBBO, Pedro H; SERRA, Sheyla M.B.; FERREIRA, Marcelo de A. Selo de qualidade setorial para elementos pré-fabricados de concreto.

MELO, Aluísio Bráz de. **Influência da cura térmica (vapor) sob pressão atmosférica no desenvolvimento da microestrutura dos concretos de cimento Portland.** 2000. 271 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos/ Instituto de Física de São Carlos/Instituto de Química de São Paulo – Universidade de São Paulo.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto.** 2.ed. São Paulo: PINI, 1997. 828 p.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do concreto.** São Paulo: PINI, 1982. 738 p.

PERES, Luciano Donizeti Pantano. **Avaliação das propriedades mecânicas de peças pré-moldadas submetidas à cura térmica pelo método da maturidade: estudo de caso.** 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, São Paulo.

PHILIPPSEN, André Luiz A; SHIMOSAKA, Tobias J. **Estudo do efeito da cura térmica na resistência inicial do concreto para aplicação na indústria de pré-moldados de concreto.** 2014. 87 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em

Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco.

SANTOS, Ana Cristina M. B. dos. **Influência da cura térmica nas resistências dos concretos destinados à produção de blocos estruturais.** 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.