



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019
@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182



Influência do tipo de cura nas primeiras idades na resistência à compressão do concreto

Influence of the curing type at the early ages in the compressive strength of concrete

Luís A. Borin (1) Roberto José Falcão Bauer (1); Patrícia Falcão Bauer (1); Ricardo Falcão Bauer (1); Selmo C. Kuperman (2); Renata Monte (3); Antonio Domingues de Figueiredo (4);

(1) Eng.º Civil – L.A. Falcão Bauer; (2) Desek;

(3) Pesquisadora do Departamento de Engenharia de Construção Civil Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; (4) Eng.º Civil, Prof. Dr. da Escola Politécnica da USP

Resumo

Para o controle tecnológico do concreto a norma Brasileira estabelece procedimentos para o armazenamento dos corpos de prova na obra e os procedimentos de cura até a realização dos ensaios de compressão aos 28 dias. O não cumprimento dessas diretrizes pode ocasionar dúvidas quanto a validade dos resultados e a confiabilidade do sistema de controle. Por essa razão foi realizado um trabalho onde avaliou-se a influência do tipo de cura inicial nos resultados de resistência à compressão do concreto aos 28 dias de idade. Para os cinco tipos de cura avaliados foram registradas a temperatura e umidade do ambiente. Os corpos de prova foram armazenados conforme as seguintes condições: ao tempo desprotegidos por um e três dias sob ação de vento; em ambiente aquecido por meio de estufas; ao tempo sem qualquer tipo de cura e conforme recomenda a ABNT NBR 5739. Para cada tipo de cura foram avaliados três traços de concreto com resistências características de 40 MPa e 50 MPa, com abatimento de 120 mm, e 45 MPa com concreto autoadensável de classe de espalhamento SF1. Concluiu-se que o tipo de cura inicial interfere nos resultados de resistência à compressão axial aos 28 dias, devido às diferentes condições de exposição, temperatura e umidade e que essa diferença pode chegar a até 15,2% quando comparados com os corpos de prova curados conforme norma e sem cura. Além disso, os corpos de prova em cura inicial desprotegidos por três dias podem apresentar resultados de resistência à compressão 8,3% menores quando comparados às condições normativas.

Palavras Chaves: Cura do concreto, resistência à compressão, condições de cura.

Abstract

The procedures for storage and cure of the specimens for concrete quality control are defined in Brazilian standards. The neglect of these guidelines can result doubts about the results and the reliability of the control system. For this reason, an experimental study was carried out to evaluate the interference of the initial curing type in the compressive strength results of concrete at twenty-eight days of age, considering five different curing types with temperature and humidity recorded. The specimens were stored according to the following conditions: unprotected for one and for three days under the action of wind before to get into the curing chamber; in a heated environment close climatic chamber; exposed to environmental conditions without any type of curing process, and according to ABNT NBR 5739. For each type of initial cure, three batches of concrete with characteristic strengths of 40 MPa and 50 MPa with a 120 mm slump and a 45 MPa self-compacting concrete were evaluated. It was concluded that the initial curing type interferes with compressive strength at 28 days due to the different curing variables, and this difference can reach up to 15.2% when comparing to the specimens cured according to standard procedure to the one without cured in environmental conditions. In addition, the initial curing test specimens unprotected for three days may present compressive strength results of 8.3% lower when compared to normative conditions.

Keywords: Concrete curing, compressive strength, healing conditions.



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

1 Introdução

Os resultados de resistência à compressão axial do concreto são obtidos através de ensaios padrão e, por essa razão, os procedimentos de moldagem e execução de ensaios são definidos pelas normas ABNT NBR 5738 e ABNT NBR 5739, respectivamente. Os ensaios são, normalmente, realizados por meio de empresas de controle tecnológico de concreto e podem ser influenciados por uma série de fatores (ANDRADE e TUTIKIAN, 2011), incluindo aí as condições de cura. O processo de cura, especificamente o tempo e tipo realizado no período onde os corpos de prova encontram-se na obra, é de extrema relevância, pois influenciam às propriedades especificadas referentes ao concreto no estado endurecido, neste caso, reduzindo a resistência à compressão (MEHTA e MONTEIRO, 2014). A motivação para a realização desse estudo foi proveniente de um trabalho realizado por OBLA et. al (2018), onde analisa a interferência nos resultados de resistência à compressão aos 28 (vinte e oito) dias, quando a cura é realizada em desacordo ao especificado pela ACI 318-141, obtendo resultados de resistência à compressão reduzidas em 20%. Soma-se a isso o fato de que este tipo de não obediência à prescrição normativa é frequente em obras brasileiras.

Sendo o concreto um dos materiais mais utilizados na construção civil em suas diversas áreas, é necessário que os profissionais envolvidos nesse processo possuam capacidade de proporcionar sua correta aplicação e controle da qualidade. Conforme Neville (2013) a cura do concreto refere-se ao conjunto de fatores responsáveis pela hidratação do cimento, sendo esses, a umidade, tempo e temperatura com o objetivo de proporcionar a resistência do concreto. A hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo e é preciso que as condições ambientes favoreçam as reações que se processam. Deste modo, deve-se evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento (ALMEIDA, 2002).

Assim, é natural esperar que as condições padrão de cura sejam respeitadas uma vez que são essenciais para a determinação, com precisão, do valor de resistência do concreto durante os procedimentos de controle de qualidade do mesmo. Conforme a ABNT NBR 5738 a cura inicial do concreto deve ser realizada com os corpos de prova dispostos em superfície horizontal rígida, livre de vibrações durante pelo menos as primeiras 24 h, para corpos de prova cilíndricos, armazenados em local protegido de intempéries, devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente. Após esse período os corpos de prova devem ser armazenados até o momento do ensaio em solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ou em câmara úmida à temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95 %.

No entanto, como dito anteriormente, estes procedimentos são frequentemente desrespeitados nas obras e isto acarreta um prejuízo para a precisão do ensaio. Por essa razão, foi desenvolvido um estudo experimental onde as condições de cura foram variadas de modo a verificar o nível de influência no resultado final. As condições de cura adotadas procuram reproduzir situações frequentes da prática de várias obras no Brasil.



2 Programa experimental

Foram avaliados três traços de concreto com resistências características à compressão de 40 MPa e 50 MPa com abatimento de tronco de cone de 120 mm e 45 MPa, com relação água cimento de 0,45; 0,55 e 0,55 autoadensável respectivamente. Uma vez definidas as propriedades supracitadas, elaborou-se estudo de dosagem para a determinação da composição do traço de concreto e de sua respectiva resistência característica à compressão. O estudo de dosagem foi elaborado com base no método IPT/USP (Figura 1), o qual consiste da realização de três traços com o mesmo teor de argamassa e mesmo abatimento.

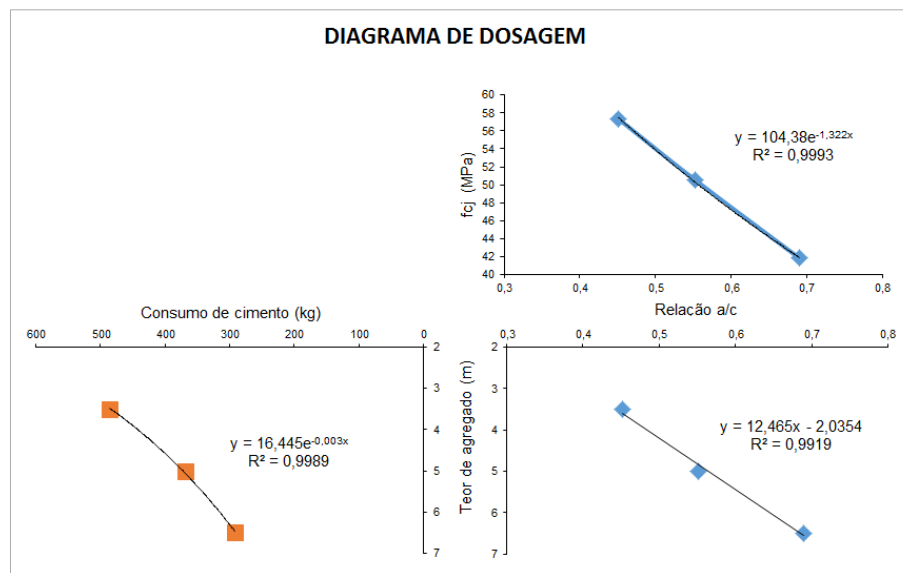


Figura 1 – Diagrama de dosagem

A quantidade de água e de aditivo foi adequada conforme o abatimento e espalhamento desejados. O teor de argamassa adotado foi de 54% para os traços de concreto convencionais com relação água/cimento igual a 0,45 e 0,55. Para o concreto autoadensável o teor de argamassa foi ajustado para 66%, ajustando-se à quantidade de cimento e de areia, mantendo-se constante a quantidade de brita até que o concreto apresentasse aspecto coeso. Os traços estudados (Tabela 2) foram determinados por meio do diagrama de dosagem com consistência S100, conforme ABNT NBR 8953:2015.

Após a definição do traço, foram moldados o total de 147 (cento e quarenta e sete) corpos de prova conforme ABNT NBR 5738:2015. Foram definidos cinco tipos de cura nas primeiras idades conforme às seguintes condições abaixo:

a) Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram em ambiente com temperatura entre 27°C e 34,2°C, umidade relativa entre 80% e 42% por 01 (um) dia, protegidos da ação do vento corpos de prova foram mantidos em local protegido por 01 (um) dia, sendo transferidos para câmara úmida até a data de ensaio após este período, conforme o recomendado pela ABNT NBR 5738 para corpos de prova destinados à comprovação da qualidade do concreto (**Sigla adotada: ABNT**);



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

- b) Após sua moldagem, os corpos de prova permaneceram em ambiente com temperatura entre 27°C e 34,2°C, umidade relativa entre 80% e 42% por 01 (um) dia, desprotegidos da ação do vento. No segundo dia, os corpos de prova seguiram para a câmara úmida até a realização do ensaio (**Sigla adotada: DV1**);
- c) Após sua moldagem, os corpos de prova permaneceram em ambiente com temperatura entre 27°C e 34,2°C, umidade relativa variando de 80% a 43% por 03 (três) dias, desprotegidos da ação direta do vento. Na sequência, os mesmos foram enviados para câmara úmida até a data de ensaio (**Sigla adotada: DV3**);
- d) Após sua moldagem, os corpos de prova permaneceram por 01 (um) dia em ambiente juntamente com estufas, com temperatura de 32,4°C e umidade relativa entre 62% e 45% conforme o calor proporcionado pelas mesmas. Na sequência, foram enviados para câmara úmida até a data de ensaio (**Sigla adotada: DQ1**);
- e) Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram por 28 (vinte e oito) dias, em ambiente com temperatura média de 29°C e umidade relativa média de 51% até a data de ensaio (**Sigla adotada: SC**).

As Figuras 2 a 6 apresentam os tipos de cura dos corpos de prova nas primeiras idades.



Figura 2 – Vista geral do tipo de armazenamento inicial dos corpos de prova



Figura 3 – Corpos de prova protegidos conforme ABNT NBR 5738 (ABNT)



Figura 4 – Corpos de prova desprotegidos (DV1 e DV3)



Figura 5 – Sala quente (estufas) (DQ1)



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182



Figura 6 – Corpos de prova sem cura em condições do ambiente (SC)

Os materiais constituintes do concreto utilizados na moldagem dos corpos de prova foram: cimento tipo CP V, agregados graúdo e miúdo existentes na região metropolitana de São Paulo (calcário), aditivos plastificantes e superplastificantes, e água potável (SABESP). A Tabela 1 apresenta os ensaios e os resultados obtidos de caracterização dos materiais utilizados no traço de concreto. Cabe mencionar que os ensaios nos agregados graúdo e miúdo foram realizados após a sua secagem em estufa, de acordo com a ABNT NBR 7211:2009.

Tabela 1 – Análise dos materiais (ensaios físicos)

Parâmetro	Especificação	Areia Artificial	Areia Natural	Brita 0	Brita 1
Módulo de Finura (adimensional)	ABNT NBR 7211:2009	2,8	1,1	6,02	6,74
Dimensão Máxima característica (mm)		4,8	0,6	12,5	19,0
Massa Específica (kg/dm ³)		2,73	2,64	2,74	2,74
Teor de Argila em Torrões (%)		0,08	Isento	Isento	Isento

A Tabela 2 apresenta a composição dos traços utilizados em função da resistência característica e do nível de abatimento.

Tabela 2 – Composição dos traços de concreto

Cimento CPM E-40 (kg/m ³)	Areia Artificial (kg/m ³)	Areia Natural (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m ³)	Brita 1 (kg/m ³)	Aditivo plastificante (L/m ³)	Aditivo superplastificante (L/m ³)	Água (L/m ³)	Abatimento/ Espalhamento (mm)
369	496	330	305	712	2,21	-	204	120
485	417	278	301	703	2,91	-	219	120
365	648	432	223	521	1,82	5,83	199	550



2.1 Análise estatística

Para a análise dos resultados de resistência à compressão utilizou-se como ferramenta a estatística descritiva e inferencial conforme Martins (2006) e Montgomery & Runger (2003). Foram utilizadas a média, desvio padrão e o coeficiente de variação. A análise estatística consistiu na verificação da ocorrência de diferença significativa nos resultados medidos em função do tipo de cura inicial dos corpos de prova na variável resposta, ou seja, resistência à compressão. Utilizou-se a análise ANOVA ordinária para a verificação da aceitação ou da rejeição da hipótese nula, ou seja, existência de diferença entre as médias dos resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova com diferentes tipos de cura para as primeiras idades. Constatada diferença significativa foi utilizado o método de Tukey que compara todos os possíveis pares de médias para os fatores (tipos de cura) especificados.

3 Apresentação e análise dos resultados

A amostra analisada estatisticamente é composta por 147 (cento e quarenta e sete) resultados de resistência à compressão axial. O comportamento da resistência à compressão axial aos 28 (vinte e oito) dias foi analisado por meio da comparação dos resultados de resistência à compressão, obtidos entre os diferentes tipos de cura inicial.

3.1 Resultados de resistência à compressão f_{ck} 50 MPa

A Tabela 3 apresenta os resultados de resistência à compressão axial e seus respectivos parâmetros gerados pela estatística descritiva (máximo, mínimo, média, desvio padrão e coeficiente de variação), conforme o tipo de cura inicial realizada.

Tabela 3 – Resultados de resistência à compressão axial aos 28 dias para f_{ck} 50 MPa

Item	Condições de cura inicial - f_{ck} 50 MPa - $a/c = 0,45$ – abatimento = 120 mm				
	Conforme ABNT NBR 5738 protegido 1 dia (ABNT)	Desprotegido 1 dia com ação de vento (DV1)	Desprotegido 3 dias com ação de vento (DV3)	Desprotegido sala quente 1 dia (DQ1)	Sem cura (SC)
Maior	56,2	54,0	52,7	57,0	51,0
Menor	51,1	48,7	45,0	49,5	47,7
Média	53,2	51,3	49,0	52,5	49,6
Desvio Padrão	1,9	1,8	2,7	2,2	1,1
Coef. de Variação (%)	3,5	3,5	5,5	4,2	2,2
Temperatura média (°C)	30,7	30,7	30,7	32,4	29,0
Umidade relativa do ar (%)	61,0	61,0	61,0	62,0	51,0
Umidade relativa do ar na câmara úmida (%)	95,4				



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Conforme apresentado na Tabela 3, pode-se observar que a média dos resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova com aplicação de cura inicial conforme ABNT NBR 5739 (ABNT), apresentaram resultados de resistência à compressão ligeiramente superiores aos demais tipos de cura iniciais analisadas, sendo 3,8% maior em relação a cura inicial com um dia sem proteção (DV1), 8,5% maior, considerando cura inicial com três dias sem proteção (DV3). O tipo de cura inicial onde os corpos de prova ficaram expostos sem proteção e sob ação do vento por 3 dias apresentaram os menores resultados de resistência à compressão, sendo 1,2% menores aos corpos de prova sem cura. Os corpos de prova onde não houve tipo algum de cura apresentaram o menor coeficiente de variação de resultados 2,2% apresentando maior homogeneidade entre os resultados. Corpos de prova que ficaram expostos sem proteção por 3 dias apresentaram maior coeficiente de variação entre os resultados de resistência à compressão axial 5,5% maior dispersão entre os resultados. A diferença percentual dos resultados de resistência à compressão conforme ABNT NBR 5738 e sem cura é de 7,2%.

3.2 Resultados de resistência à compressão f_{ck} 40 MPa

Os corpos de prova referentes ao f_{ck} 40 MPa permaneceram em ambiente por determinado período, em temperatura e umidade relativa conforme discriminado abaixo:

- Após a moldagem permaneceram em sala com temperatura ambiente entre 30,9°C e 34,2°C, umidade relativa entre 42% e 55% por 01 (um) dia, protegidos da ação do vento, conforme ABNT NBR 5739;
- Após a moldagem permaneceram em sala com temperatura ambiente entre 30,9°C e 34,2°C, umidade relativa entre 42% e 55% por 01 (um) dia, desprotegidos, sob ação do vento;
- Após a moldagem permaneceram em sala com temperatura ambiente entre 30,9°C e 34,2°C, umidade relativa variando de 42% a 55% por 03 (três) dias, com ação direta do vento;
- Após a moldagem permaneceram em obra por 01 (um) dia, em sala juntamente com estufas com temperatura ambiente variando de 31 a 32,3°C e umidade relativa entre 45% e 52% conforme o calor proporcionado pelas estufas;
- Após a moldagem permaneceram em obra por 28 (vinte e oito) dias, em sala com temperatura ambiente média de 29°C e umidade relativa média de 51% sem tipo de cura alguma.

A Tabela 4 apresenta os resultados de resistência à compressão axial e seus respectivos parâmetros gerados pela estatística descritiva (máximo, mínimo, média, desvio padrão e coeficiente de variação), conforme o tipo de cura inicial realizada.



Tabela 4 – Resultados de resistência à compressão axial aos 28 dias para f_{ck} 40 MPa

Item	Condições de cura inicial - f_{ck} 40 MPa - a/c = 0,55 – abatimento = 120 mm				
	Conforme ABNT NBR 5738 protegido 1 dia (ABNT)	Desprotegido 1 dia com ação de vento (DV1)	Desprotegido 3 dias com ação de vento (DV3)	Desprotegido sala quente 1 dia (DQ1)	Sem cura (SC)
Maior	42,0	41,1	36,8	45,4	38,5
Menor	37,7	34,8	32,4	36,0	36,0
Média	40,0	38,0	35,2	41,4	36,7
Desvio Padrão	1,4	2,0	1,3	2,8	0,8
Coef. de Variação (%)	3,6	5,2	3,8	6,7	2,1
Temperatura média (°C)	32,5	32,5	32,5	32,2	29,0
Umidade relativa do ar (%)	48,5	48,5	48,5	48,5	51,0
Umidade relativa do ar na câmara úmida (%)	96,1				

Conforme apresentado na Tabela 4, pode-se observar que a média dos resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova com utilização de cura inicial desprotegidos em sala quente (tipo d), apresentaram maiores resultados de resistência à compressão entre os tipos de cura iniciais analisadas, sendo 3,4% maiores quando comparados aos corpos de prova curados conforme ABNT NBR 5739. Os corpos de prova que ficaram expostos por um dia com proteção (conforme ABNT NBR 5738), com temperatura de 30,9°C e 34,2°C e umidade relativa entre 42% e 65% (tipo a) apresentaram resultados de resistência à compressão axial superior em 5,1% aos corpos de prova expostos sem proteção e sob ação do vento por um dia (tipo b) e 13,5% superior aos três dias (tipo c) com temperatura entre 30,9°C e 34,2°C e umidade relativa entre 42% e 55% respectivamente. O tipo de cura inicial onde os corpos de prova ficaram expostos sem proteção e sob ação do vento por três dias apresentaram os menores resultados de resistência à compressão. Os corpos de prova sem tipo algum de cura apresentaram resultado de resistência à compressão superior aos desprotegidos por três dias sob ação do vento em 4,3%. Corpos de prova que ficaram expostos sob variação de temperatura (tipo d) apresentaram o maior coeficiente de variação 6,7% entre os resultados de resistência à compressão axial demonstrando maior variação entre os resultados. Os corpos de prova que permaneceram expostos sem cura, temperatura média de 29°C e umidade relativa de 51% apresentaram o menor coeficiente de variação 2,1% maior homogeneidade entre os resultados. A diferença percentual dos resultados de resistência à compressão conforme ABNT NBR 5738 e sem cura é de 8,9%.

3.3 Resultados de resistência à compressão f_{ck} 40 MPa autoadensável

Os corpos de prova referentes ao f_{ck} 40 MPa permaneceram em ambiente por determinado período, em temperatura e umidade relativa conforme discriminado abaixo:



- a) Após a moldagem permaneceram em sala com temperatura ambiente de 30,9°C, umidade relativa entre 43% e 55% por 01 (um) dia, protegidos da ação do vento, conforme ABNT NBR 5739;
- b) Após a moldagem permaneceram em sala com temperatura ambiente de 30,9°C, umidade relativa entre 43% e 55% por 01 (um) dia, desprotegidos;
- c) Após a moldagem permaneceram em sala com temperatura ambiente de 30,9°C, umidade relativa variando de 42% a 55% por 03 (três) dias;
- d) Após a moldagem permaneceram em obra por 01 (um) dia, em sala juntamente com estufas com temperatura ambiente variando de 30°C a 31,4°C e umidade relativa entre 47% e 51% conforme o calor proporcionado pelas estufas;
- e) Após a moldagem permaneceram em obra por 28 (vinte e oito) dias, em sala com temperatura ambiente média de 29°C e umidade relativa média de 51% sem tipo de cura alguma.

Os corpos de prova que permaneceram expostos sem proteção não sofreram ação do vento.

A Tabela 5 apresenta os resultados de resistência à compressão axial e seus respectivos parâmetros gerados pela estatística descritiva (máximo, mínimo, média, desvio padrão e coeficiente de variação), conforme o tipo de cura inicial realizada.

Tabela 5 – Resultados de resistência à compressão axial aos 28 dias para f_{ck} 40 MPa autoadensável

Item	Condições de cura inicial - autoadensável - f_{ck} 40 MPa - a/c = 0,55 – SF1				
	Conforme ABNT NBR 5738 protegido 1 dia (ABNT)	Desprotegido 1 dia com ação de vento (DV1)	Desprotegido 3 dias com ação de vento (DV3)	Desprotegido sala quente 1 dia (DQ1)	Sem cura (SC)
Maior	48,5	48,6	48,9	43,1	41,8
Menor	43,9	46,3	43,0	40,3	38,1
Média	45,9	47,4	46,5	42,2	39,9
Desvio Padrão	1,5	0,8	2,2	0,9	1,3
Coef. de Variação (%)	3,3	1,6	4,8	2,2	3,1
Temperatura média °C	30,9	30,9	30,9	49,0	29,0
Umidade relativado ar (%)	49,0	49,0	49,0	32,7	51,0
Umidade relativa do ar na câmara úmida (%)	98,7				

Conforme apresentado na Tabela 5, pode-se observar que a média dos resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova com aplicação de cura inicial, desprotegidos por um dia sob ação do vento (tipo b), apresentaram maior resultado de resistência à compressão entre os tipos de cura iniciais analisadas, sendo 3,1% superiores



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

aos curados conforme ABNT NBR 5738. Os corpos de prova que ficaram expostos por um dia conforme ABNT NBR 5738, com temperatura de 30,9°C e umidade relativa entre 43% e 55% (tipo a) apresentaram resultados de resistência à compressão axial 1,3% inferior aos corpos de prova expostos sem proteção por três dias (tipo c) com temperatura de 30,9°C e umidade relativa entre 42% e 55%. O tipo de cura inicial onde os corpos de prova ficaram expostos por um dia em sala sob calor proporcionando por estufas, com temperatura variando entre 30°C a 31°C, umidade relativa entre 47% e 51%, apresentaram resultados superiores de 5,9% aos corpos de prova que ficaram expostos sem tipo alguma de cura (tipo e), porém inferiores aos tipo de cura iniciais tipos (a), (b) e (c) em 8,8%; 12,3% e 10,2% respectivamente. Corpos de prova que ficaram expostos por três dias sem proteção (tipo c) apresentaram o maior coeficiente de variação 4,8%, entre os resultados de resistência à compressão axial, maior dispersão de resultados. Os corpos de prova que permaneceram expostos por um dia (tipo b), temperatura média de 30,9°C e umidade relativa entre 43% e 55% apresentaram o menor coeficiente de variação 1,6% melhor homogeneidade entre os resultados. A diferença percentual dos resultados de resistência à compressão conforme ABNT NBR 5738 e sem cura é de 15,2%.

Considerando a ANOVA ordinária, foi determinado o parâmetro de Fischer (calculado (F) e crítico (F_{crítico})), com 95% de confiabilidade (Tabela 6).

Tabela 6 – Análise da diferença entre resultados de resistência à compressão

Classe de concreto	F	valor-P	F crítico	Resultado
fck 50MPa – concreto convencional	7,5	1,25	2,6	Diferença significativa
fck 40MPa – concreto convencional	18,7	3,99	2,6	Diferença significativa
fck 40MPa – concreto autoadensável	57,2	4,417	2,6	Diferença significativa

Observa-se que os resultados da ANOVA indicam “diferença significativa” para os tipos de cura analisada nas primeiras idades. Essa análise permite verificar que o tipo cura inicial utilizada nos ensaios de ruptura interfere significativamente nos resultados de resistência à compressão. No entanto, é importante ressaltar em que medida as diferenças significativas ocorreram. Por isso, foi realizada uma análise pareada de Tukey. Para o caso dos concretos de 50 MPa, as análises estão apresentadas na Figura 7 e na Tabela 7.

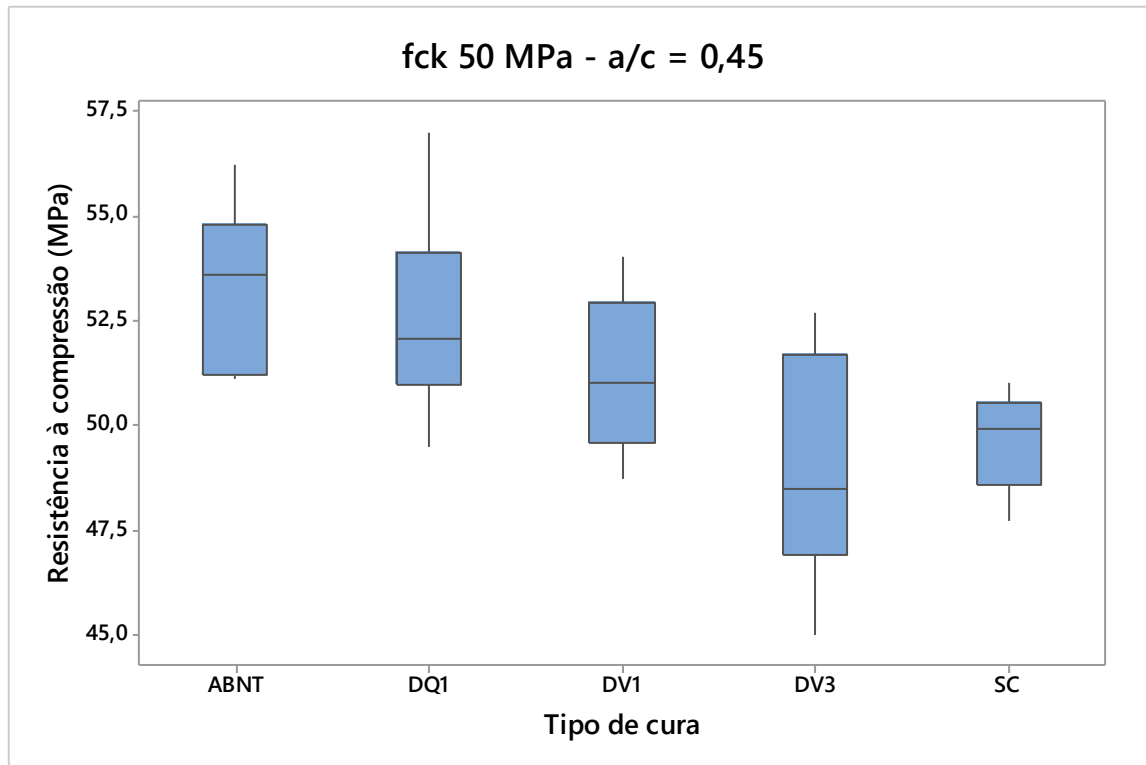


Figura 7 – Resultados obtidos da análise pareada de Tukey para as diferenças entre os resultados obtidos para as condições de cura para o concreto de 50 MPa.

Tabela 7 – Resultados obtidos para a análise pareada de Tukey referente às diferenças significativas entre os tipos de cura – f_{ck} 50

Tipo de cura	N	Média	Agrupamento	
ABNT	9	53,2	A	
DQ1	10	52,5	A	
DV1	9	51,3	A	B
SC	10	49,6		B
DV3	9	49,0		B

É possível afirmar que são formados dois grupos comparáveis de resultados. No Grupo A estão as curas padrão ABNT, desprotegido em sala quente e de um dia de cura sem proteção, o qual pode ser incluído também no Grupo B em conjunto com as curas de três dias sem proteção e a cura ao ar por todo o período. Dentro dos grupos não houve diferença significativa.

Através da Tabela 8 e da Figura 8 é possível verificar o resultado da análise pareada de Tukey para o concreto de 40 MPa convencional. Neste caso é possível afirmar que houve diferença significativa em relação a quatro grupos de tipo de cura (A a D), sendo que as diferenças maiores ocorreram entre os procedimentos de cura com um dia desprotegido e padrão em relação aos procedimentos de cura ao ar e três dias desprotegidos. Finalmente, através dos resultados apresentados na Tabela 9 e Figura 9 é possível observar que os resultados foram significativamente diferentes para o concreto com 40 MPa autoadensável



para três grupos de procedimento de cura. No Grupo A estão incluídos o procedimento padrão ABNT em conjunto com os de um e três dias de cura desprotegidos. Já o procedimento de cura ao ar e em sala quente apresentaram diferença significativa dos demais não sendo comparáveis aos mesmos e entre si. Portanto, como era de se esperar, as principais diferenças entre os resultados foram obtidas entre o procedimento de cura padrão e o sem cura controlada. Ressalte-se que as diferenças relativas foram relativamente baixas, conforme discutido no próximo item, e as diferenças se tornaram significativas devido à variabilidade muito baixa dos resultados obtidos.

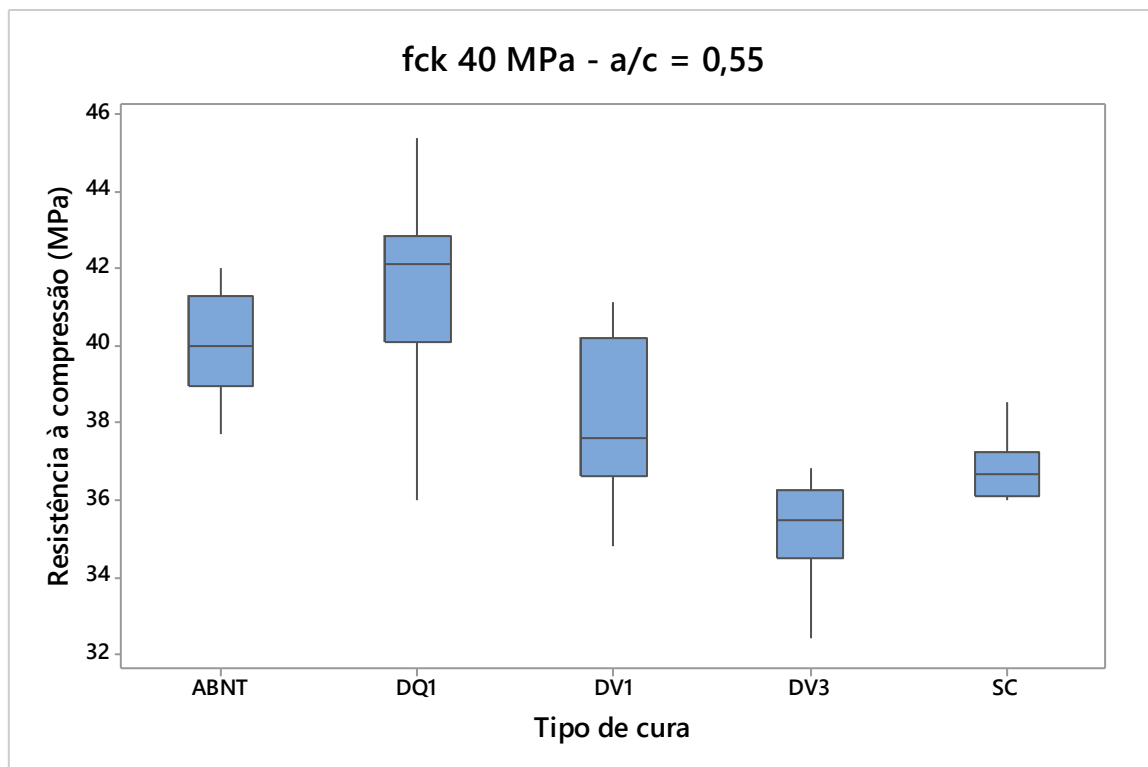


Figura 8 – Resultados obtidos da análise pareada de Tukey para as diferenças entre os resultados obtidos para as condições de cura para o concreto de 40 MPa convencional.

Tabela 8 – Resultados obtidos para a análise pareada de Tukey referente às diferenças significativas entre os tipos de cura – f_{ck} 40 convencional.

Tipo de cura	N	Média	Agrupamento			
DQ1	10	41,36	A			
ABNT	10	39,99	A	B		
DV1	10	38,03		B	C	
SC	10	36,75		C	D	
DV3	10	35,24				D

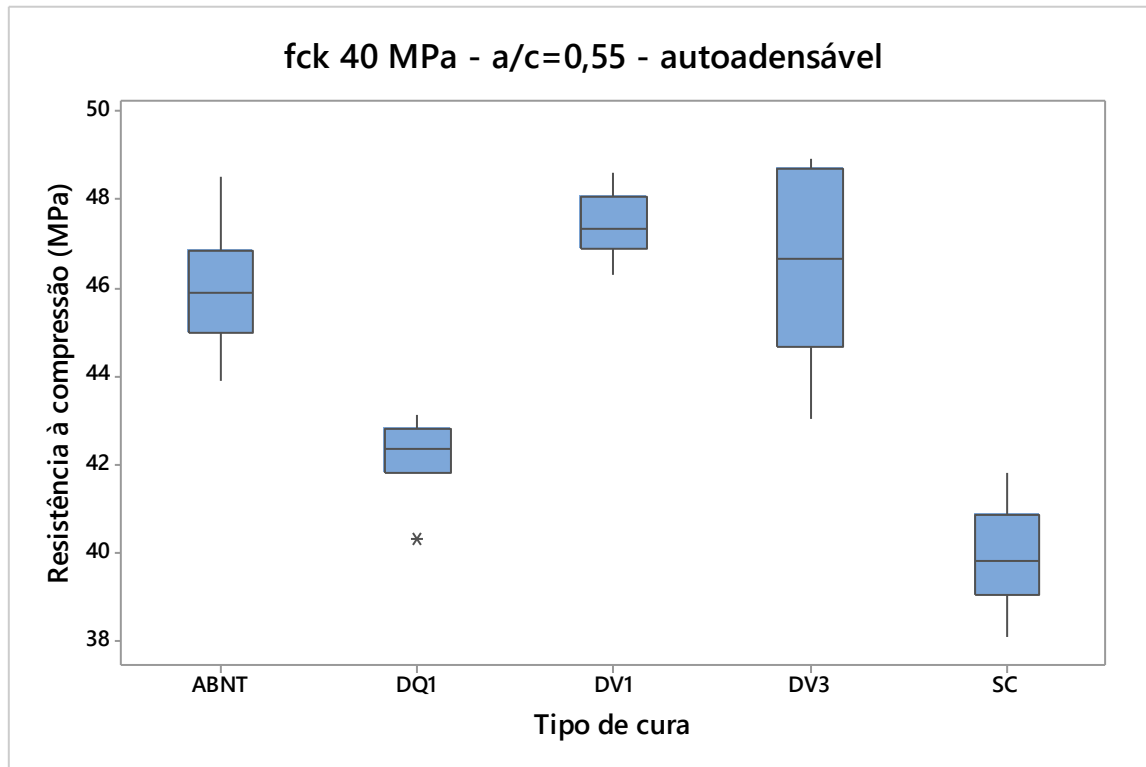


Figura 9 – Resultados obtidos da análise pareada de Tukey para as diferenças entre os resultados obtidos para as condições de cura para o concreto de 40 MPa convencional.

Tabela 9 – Resultados obtidos para a análise pareada de Tukey referente às diferenças significativas entre os tipos de cura – f_{ck} 40 convencional.

Tipo de cura	N	Média	Agrupamento		
DV1	10	47,37	A		
DV3	10	46,48	A		
ABNT	10	45,92	A		
DQ1	10	42,23		B	
SC	10	39,89			C

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi avaliada a influência de diferentes condições de armazenamento e cura nas idades iniciais na resistência à compressão determinada aos 28 dias de idade verificando-se os possíveis desvios de resultados oriundos de práticas de cura que não respeitam o prescrito nas normas específicas.

Com a análise dos resultados obtidos foi possível identificar diferenças significativas nas resistências à compressão obtidas aos 28 dias quando variadas as condições de exposição, temperatura e umidade. Os corpos de provas curados conforme ABNT NBR 5738 (tipo ABNT) apresentaram resultados superiores em até 15,2% em relação aos sem cura e em relação aos corpos de prova curados em sala quente (tipo DQ1) apresentaram resultados



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019



@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182

3,3% menores, provavelmente devido a exposição de temperaturas mais altas podem acelerar o processo de hidratação do cimento. Apesar da maior perda de resistência medida neste estudo (15,2%) ter sido um pouco inferior aos 20% apontados pela literatura ACI 318-141, o mesmo pode ser apontado claramente como inaceitável para padrões de controle.

O descumprimento das diretrizes estabelecidas na ABNT NBR 5738 em relação ao acondicionamento e cura dos corpos de prova, deixando os mesmos expostos no canteiro de obras sem proteção alguma por até três dias, podem, assim, causar consequências diretas nos resultados de resistência à compressão aos vinte e oito dias comprometendo todo o processo. Tais diferenças geram inaceitáveis incertezas sobre a validade dos resultados obtidos e a confiabilidade do sistema de controle realizado.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. J. O.; TUTIKIAN, B.F. Resistência mecânica do concreto. In: Concreto: Ciência e Tecnologia. Org. Geraldo C. Isaia. Instituto Brasileiro do Concreto. São Paulo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova – NBR 5738. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto – NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Agregados para concreto – Especificação – NBR 7211. Rio de Janeiro, 2009.

ALMEIDA, L.C. Notas de aula, FEC-UNICAMP, Campinas – SP.

LAPPONI, J. C. Estatística Usando Excel Rio de Janeiro: Eusevier, 2005.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Estrutura, propriedades e materiais. São Paulo. PINI, 1994.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, J. M. Paulo. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A.M. PROPRIEDADES DO CONCRETO. 2. ED. SÃO PAULO: PINI, 1997.

OBLA, H. Karthik; WERNER, R. Orville R.; HAUSFELD, L., John; MACDONALD, A., Kevin; MOODY, D., Gregory and CARINO, J., Nicholas. Who is Watching Out for the Cylinders?



Anais do
61º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2019
Outubro / 2019

@ 2019 - IBRACON - ISSN 2175-8182



Proper initial curing of acceptance test specimens benefits all stakeholders. CI Concrete International – The Magazine of the concrete community. Mixing, Placing & Curin. August 2018, V. 40 N°8.