

Análise Comparativa Interlaboratorial De Ensaio À Compressão Axial Em Corpos De Prova De Concreto

CARINA MAIOLI¹

Data de submissão: 01/07/2021. Data de publicação: 30/08/2021.

RESUMO

A utilização em grande escala de concreto como material de construção no mundo traz consigo uma preocupação cada vez maior em garantir qualidade e segurança as estruturas ao menor custo possível. Apesar da atribuição de diversos parâmetros para o concreto, na maioria dos casos, a resistência à compressão é o único efetivamente controlado. Isto se deve a praticidade da moldagem dos corpos de prova e os custos relativamente baixos dos ensaios. No entanto, não são raros os casos de não conformidade do concreto em comparação as especificações de projeto. Estas situações levam a sérios problemas de ordem técnica e principalmente financeira entre construtores, projetistas e laboratórios de controle tecnológico. A moldagem, as condições de cura e acondicionamento, transporte e ensaio dos corpos de prova são alguns dos inúmeros fatores que podem reduzir consideravelmente o potencial de resistência de uma amostra de concreto. Este trabalho busca analisar fatores alheios aos apresentados pelas normas NBR 5738 (2015) e NBR 5739 (2007) responsáveis pela variabilidade das resistências de um concreto de uma mesma amassada. Qual a influência dos procedimentos de preparação (acabamento) e equipamentos de ensaio (prensas) nos resultados de resistência à compressão do concreto? Para responder a esta pergunta foram moldados inúmeros corpos de prova provenientes de uma mesma amassada de concreto. Os mesmos foram rompidos em oito diferentes laboratórios aos 28 dias de idade. A variação decorrente das técnicas de preparo dos corpos de prova de cada laboratório foi superior em comparação com a avaliação do fator prensa isoladamente. As maiores influências foram encontradas no processo de retificação dos corpos de prova.

Palavras-chave: Corpo de prova. Resistência à compressão. Ensaio de compressão axial. Desvio padrão. Laboratórios de controle tecnológico.

ABSTRACT

The large-scale use of concrete as a construction material in the world brings with it an increasing concern to ensure quality and safety of structures at the lowest possible cost. Despite the attachment of several parameters to the concrete, in most cases, the compress strength is the only one effectively controlled. This is due to the practicality of molding the samples and the relatively low cost of the tests. However, cases of non-conformity of concrete of concrete in comparison to project specifications are not rare. These kinds of situations lead to serious technical and mainly financial problems among builders, designers and technological control laboratories. The molding, the conditions of curing and stowaging,

¹ Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário da Serra Gaúcha (2017). Honrada com o recebimento da Lâurea Acadêmica. Especialista em projeto, execução e desempenho de estruturas e fundações pelo IPOG de Porto Alegre. Atua como Engenheira Civil. Experiência na área de projetos em geral e execução de obras. Professora titular das disciplinas de Estruturas do Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário UNIFTEC. contato: engenharia@carinamaioli.com

transport and testing of the samples are some of the numerous factors that can considerably reduce the potential strength of a concrete sample. This paperwork intends to analyze factors besides those presented by NBR 5738 (2015) and NBR 5739 (2007), standards responsible for the variability of the strength of a concrete from the same sample mix. What is the influence of preparations procedures (finished state) and testing equipment (presses) on the compressive strength results of concrete? To answer this question, several samples from the same concrete mix were molded. Those same samples were broken in eight different laboratories at the 28th day. The variation resulting from the techniques of preparation of samples in each laboratory was higher in comparison to the evaluation of the press factor itself. The greatest influences were found in the rectification process of the concrete samples.

Keywords: Testing samples. Compress strength. Axial compression test. Standard deviation. Technological control laboratories.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Romano, Cardoso e Pileggi (2011, p. 453 *apud* MEHTA; MONTEIRO, 1994) o concreto é o material de construção mais consumido no mundo devido a uma combinação de fatores tecnológicos e econômicos. Os autores acrescentam que sua natureza fluida inicial e subsequente processo de endurecimento (cura) permitem a moldagem de corpos com elevada resistência e geometrias variáveis de maneira simples e com custos relativamente reduzidos.

Em um estudo feito para edifícios com estrutura reticulada em concreto armado na cidade de São Paulo, Neto (2011, p. 127) constatou que a porcentagem relativa à estrutura no custo total de uma obra varia entre 14,08% e 22,77%. Estes dados enfatizam a importância que as estruturas de concreto representam na construção de edifícios, tanto nos aspectos relacionados ao custo quanto ao desempenho.

Nas obras de concreto, os objetivos do controle são de garantir que sejam executadas de acordo com o previsto nos projetos e especificações, ao menor custo possível e assegurando qualidade e uniformidade suficientes para garantir um desempenho satisfatório durante toda sua vida útil (LIDUÁRIO, 2018, p. 311 *apud* ANDRIOLO; SGARBOZA, 1993).

A resistência à compressão do concreto é uma das propriedades mais utilizadas como parâmetro para a aceitação e verificação da segurança das estruturas. De acordo com Magalhães *et. al.* (2013, p. 2), na grande maioria das obras no Brasil, a resistência à compressão é a única propriedade especificada para o concreto que é efetivamente controlada. Andrade e Tutikian (2011, p. 634) atribuem este fato a facilidade de execução e baixo custo dos ensaios.



No entanto, de acordo com Neville e Brooks (2013, p. 293), este parâmetro é determinado por ensaios e, ensaios por si só introduzem erros. São cada vez mais usuais os casos em que corpos de prova de uma mesma amassada de concreto apresentam diferentes resultados de resistência para uma mesma idade.

De acordo com Magalhães *et.al.* (2013, p. 3 *apud* SANTIAGO; BECK, 2011) diversos casos são relatados acerca da dificuldade enfrentada pela cadeia da construção civil em garantir a qualidade mínima requerida para aceitação de um lote de concreto, de acordo com as especificações de projeto. Fato que situações de não conformidade acarretam em grandes prejuízos de ordem financeira e geram um clima de tensão entre construtores, projetistas, usinas de concreto e laboratórios de controle tecnológico.

2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Para Neville e Brooks (2013, p. 3) um bom concreto deve ser satisfatório tanto em seu estado fresco quanto em seu estado endurecido. Os autores acrescentam que as exigências básicas de um concreto em seu estado fresco são que a consistência da mistura seja tal que o concreto possa ser devidamente adensado e a mistura se mantenha suficientemente coesa para ser transportada e lançada sem que ocorra segregação. A verificação das características do concreto em estado fresco, como a trabalhabilidade expressa pela consistência, a massa específica e o teor de ar incorporado, confere boa informação sobre a manutenção das características finais do concreto quando endurecido (LIDUÁRIO, 2018, p. 319).

Quanto ao concreto em seu estado endurecido, é considerada usualmente como exigência uma resistência à compressão que atenda as especificações técnicas. Historicamente a resistência à compressão axial do concreto é o parâmetro mais empregado para se avaliar a qualidade do material, uma vez que pode ser associada, direta ou indiretamente, com outras propriedades do concreto no seu estado endurecido, principalmente àquelas relacionadas com a durabilidade (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011, p. 634). No entanto, Neville e Brooks (2013, p. 3) frisam que as propriedades não são simples e exclusivamente função da resistência à compressão, mas que de modo geral, concretos de resistência mais elevada apresentam propriedades mais desejáveis.

Segundo Araújo (2014, p. 5) a resistência à compressão do concreto depende de vários fatores, entre eles, sua composição (consumo e tipo de cimento, relação água/cimento, etc), condições de cura (temperatura e umidade), velocidade de aplicação da carga (ensaio

estático ou dinâmico), duração do carregamento (ensaio de curta ou longa duração), idade do concreto (efeito do envelhecimento), estado de tensões (compressão simples ou multiaxial) e a forma e dimensões dos corpos de prova.

Segundo Liduário (2018, p. 319) uma das formas mais usuais de se efetuar o controle tecnológico do concreto em seu estado endurecido é pela aferição da sua resistência à compressão. O autor acrescenta que variações dentro do ensaio ou devido a produção do concreto são responsáveis pelas dispersões entre os resultados de resistência. Enquanto que a variações dentro do ensaio se caracterizam como extrínsecas, com origem pelas operações de ensaio e controle, tais como a moldagem, alteração de pessoal, capeamento dos corpos de prova, prensa, dentre outros, as variações devido a produção são inerentes a produção do concreto, devido as variações dos materiais, equipamentos de pesagem e mistura, mão de obra, dentre outros.

Bauer (2012, p. 398) sintetiza as principais causas da variação dos resultados obtidos em ensaios de compressão, conforme apresenta a Tabela 1. Segundo o autor, é indispensável que os corpos de prova moldados sejam o mais representativos possível das características do concreto da estrutura, bem como os ensaios devem ser procedidos com o maior rigor, de maneira a garantir a máxima representatividade dos resultados.

Tabela 1 – Principais causas de variação dos resultados de ensaios de compressão axial.

Variações nas propriedades do concreto	Variações nos métodos de ensaio
Variações no fator água/cimento	Diferentes procedimentos de amostragem
Controle defeituoso da quantidade de água	Técnicas não uniformes de moldagem
Variação excessiva da umidade dos agregados	Grau de compactação
Granulometria dos agregados	Manuseio excessivo das amostras
Variação nas características e proporções entre os elementos componentes (pozolanas, aditivos, etc)	Falta de cuidado com o corpo de prova recém moldado
Variações de temperatura e cura	Mudança nas condições de cura
	Umidade variável
	Técnica de ensaio
	Capeamento dos corpos de prova

Fonte: adaptado de Bauer (2012, p. 398).

Andrade e Tutikian (2011, p. 629 *apud* HELENE; TERZIAN,1992) enfatizam que todas as atividades que envolvem o ensaio de resistência à compressão devem ser padronizadas, a fim de que não ocorram diferenças oriundas de procedimentos inadequados de preparação e execução. Na Tabela 2 são apresentados os principais fatores que influenciam

na determinação da resistência à compressão do concreto, em especial os relacionados às deficiências de adensamento e regularização (preparo) do topo e base dos corpos de prova.

De acordo com Neville e Brooks (2013, p. 293-294), a precisão dos ensaios de concreto exprime grau de concordância entre resultados de ensaios independentes, obtidos sob condições estipuladas em termos de repetitividade e reprodutibilidade. Se define repetibilidade como a precisão dos resultados de ensaios independentes, realizados em um determinado período de tempo nas mesmas condições, ou seja, mesmo laboratório, mesmo método, corpos de prova idênticos, mesmo operador e equipamento. Já a reprodutibilidade dos ensaios é a precisão dos resultados obtidos com o mesmo método, corpos de prova idênticos, ensaiados em laboratórios diferentes, por operadores e equipamentos distintos.

Tabela 2 – Fatores que influenciam na determinação da resistência à compressão do concreto.

Causas de variação	Efeito máximo no resultado
Coleta imprecisa	- 10%
Adensamento inadequado	- 50%
Cura inadequada	+/- 10%
Acabamento inadequado da superfície dos corpos de prova	- 30% para concavidade - 50% para convexidade
Ruptura (velocidade de carregamento)	+/- 5%

Fonte: adaptado de Andrade e Tutikian (2011, p. 630 *apud* HELENE; TERIZAN, 1992).

Segundo Andrade e Tutikian (2011, p. 634), os ensaios do tipo destrutivos são empegados em maior escala em função da sua praticidade, da rapidez na obtenção dos resultados e dos baixos custos envolvidos. Para Neville e Brooks (2013, p. 293) o método básico para verificar se o concreto atende as especificações é realizar ensaios de compressão axial utilizando cilindros produzidos a partir de amostras de concreto fresco.

A NBR 5738 – Concreto: procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) dá diretrizes quanto aos processos de moldagem e cura dos corpos de prova. Enquanto que a NBR 5739 – Concreto: ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018) normatiza os ensaios e a avaliação dos resultados.

2.1 PROCEDIMENTOS PARA MOLDAGEM E CURA DE CORPOS DE PROVA

Segundo a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 2), o molde deve ser de aço ou outro material não absorvente e suficientemente resistente para manter sua forma durante o processo de moldagem. Para corpos de prova cilíndricos, os moldes devem possuir altura igual ao dobro do diâmetro. Os diâmetros mais usuais são os de 10 e 15 centímetros, podendo variar de acordo com a dimensão máxima do agregado. Neville e Brooks (2013, p. 297) corroboram com a normatização ao afirmarem que uma fina camada de óleo mineral deve ser aplicada nas paredes internas dos moldes, no intuito de evitar a aderência do concreto.

A NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 3) instrui a colocação do concreto no interior dos moldes em um número de camadas correspondente ao que determina a Tabela 3. A tabela traz ainda a informação referente ao número de golpes para adensamento manual de cada camada em função do abatimento do concreto e dimensão do molde.

Tabela 3 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (mm)	Nº de camadas em função do tipo de adensamento		Nº de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	-	-

Fonte: NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 4).

Após o adensamento da última camada, deve ser feito o rasamento da superfície com a borda do molde empregando uma régua metálica ou uma colher de pedreiro adequada. Corpos de prova cilíndricos devem ser desmoldados 24 horas após a moldagem. Imediatamente após sua identificação, os corpos de prova devem ser armazenados até o momento do ensaio em solução saturada de hidróxido de cálcio ou câmara úmida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5738, 2015, p. 5).

Neville e Brooks (2013, p. 297) em concordância com a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) acrescentam que as bases/topos dos corpos de prova devem ser preparadas a fim de se tornarem superfícies planas e perpendiculares ao

seu eixo longitudinal. Os procedimentos mais usuais de preparação das bases e adequação para os ensaios de compressão são a retificação ou capeamento. Segundo a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 6) a retificação consiste na remoção, através de ferramentas abrasivas, de uma fina camada de material dos topos do corpo de prova. Deve ser executada de tal modo que proporcione uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos.

A NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 6) define também o processo de capeamento como sendo o revestimento dos topos dos corpos de prova com uma fina camada de material apropriado. Estes devem possuir as seguintes características:

- a) aderência ao corpo de prova;
- b) compatibilidade química com o concreto;
- c) fluidez, no momento de sua aplicação;
- d) acabamento liso e plano após endurecimento;
- e) resistência à compressão compatível com os valores normalmente obtidos em concreto.

Neville e Brooks (2013, p. 297) explicam que ambos os métodos são satisfatórios, porém a retificação é um processo muito mais caro. Os autores complementam que o melhor material para capeamento dos corpos de prova é a mistura de enxofre e argila devido a sua elevada resistência à compressão. Entretanto, apresenta a desvantagem da necessidade de uso de capelas de exaustão, pois são produzidos vapores tóxicos.

Por fim, é importante ressaltar o item 9.4.2.5 da NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 6) que permite a adoção de outros processos de regularização dos topos dos corpos de prova desde que sejam submetidos a avaliação prévia por comparação estatística e os resultados obtidos se apresentem compatíveis.

3 METODOLOGIA CIENTÍFICA

Mais de 100 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura foram moldados a partir de uma mesma amassada de concreto. Todas as etapas de moldagem (preenchimento, adensamento e acabamento) obedeceram ao estabelecido pela NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) e foram executadas pelos mesmos operadores objetivando reduzir ao máximo a variabilidade decorrente do processo de moldagem (Figuras 1 e 2). No dia seguinte, os corpos de prova

foram desmoldados e imediatamente colocados para cura em câmara úmida, conforme recomendações da NBR 9479 – Argamassa e concreto: câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de prova (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006). Os mesmos permaneceram na câmara até o 27º dia.

A realização deste estudo contou com a parceria de uma usina de concreto da região que forneceu material para confecção dos corpos de prova. As informações completas quanto ao concreto utilizado e sua dosagem são apresentadas pelas Tabela 4 e Tabela 5.

Figura 1 – Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 2 – Corpos de prova moldados



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os corpos de prova foram encaminhados para oito diferentes laboratórios de controle tecnológico de concreto de três cidades da região da Serra Gaúcha. Cada laboratório recebeu de modo aleatório três corpos de prova já retificados (grupo I) e três corpos de prova não retificados (grupo II). A Figura 3 apresenta o processo de retificação de um corpo de prova de concreto.

Tabela 4 – Classificação do concreto quanto à resistência e consistência.

	Classe		
Concreto	C25	25	(MPa)
Consistência	S100	$100 \leq A < 160$	(mm)

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 5 – Informações de dosagem do concreto.

Material	Descrição	Massa (Kg/m³)	Relação
Cimento Portland	CP II - F40	225	1,00
Aglomerante 2	Cinza volante	96	
Agregado miúdo 1	Areia industrial	503	1,57
Agregado miúdo 2	Areia fina	271	0,84
Agregado graúdo 1	Brita 1	496	1,55
Agregado graúdo 2	Brita 0	496	1,55
Água		193	0,60
Retardador de pega	Recober blue	0,64	0,20%
Polifuncional	Tecmult 828 LF-CP	2,57	0,80%

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Outros três corpos de prova (grupo III) foram encaminhados para os laboratórios que utilizam e/ou possuem equipamento de retífica para serem retificados pelos seus próprios operadores. No dia seguinte os corpos de prova do grupo III foram recolhidos. Todos os testemunhos foram rompidos aos 28 dias de idade. A Figura 4 apresenta o ensaio de resistência à compressão axial de um corpo de prova realizado pelo laboratório H. O capítulo a seguir apresenta os resultados obtidos neste estudo.

Figura 3 – Retificação de corpos de prova de concreto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 4 – Ensaio de compressão axial em corpo de prova de concreto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos do rompimento dos corpos de prova previamente moldados. É preciso salientar inicialmente que os laboratórios participantes deste estudo não serão identificados em nenhum momento. Se adotou um sistema de diferenciação entre os laboratórios por letras do alfabeto.

A Tabela 6 apresenta os resultados de resistência à compressão do primeiro grupo de corpos de prova. Ela traz ainda uma análise estatística destas resistências para uma avaliação mais detalhada do caso.

Não basta analisar os resultados em termos de resistência das amostras, existe uma grande amplitude entre as resistências dos corpos de prova rompidos em um mesmo laboratório. Curiosamente os corpos de prova com menor e maior valores de resistência pertencem ao lote amostral do laboratório F. Consequentemente, este laboratório é marcado por uma grande amplitude e variação dentre seus resultados em comparação com os demais.

Enquanto o laboratório H obteve um desvio padrão de apenas 0,54 MPa e coeficiente de variação de 2,08% (menores dentre os demais laboratórios) o laboratório F obteve desvio padrão de 5,80 MPa e coeficiente de variação de 19,52%. Mesmo apresentando uma resistência média inferior à do laboratório F, a resistência média do laboratório H foi mais representativa ao lote.

Ao passo que os valores de desvio padrão interno (variação dos resultados dentro do mesmo laboratório) variaram entre 0,54 MPa e 5,80 MPa, o desvio padrão de todos os resultados individuais oriundos dos oito laboratórios foi de 2,85 MPa. Um único laboratório apresentou desvio padrão superior ao geral.

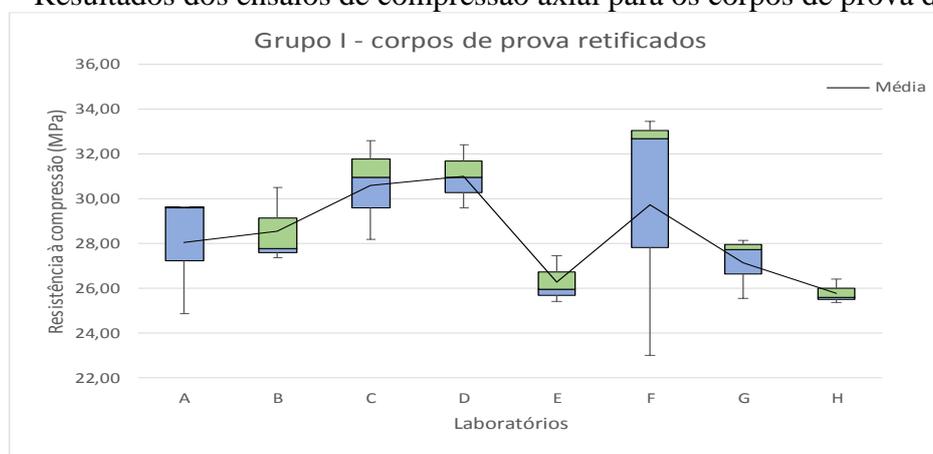
Tabela 6 – Resultados de resistência e análise estatística do grupo I (corpos de prova retificados).

	Laboratórios								
	A	B	C	D	E	F	G	H	
CP 1	24,87	27,37	28,18	29,60	25,41	23,03	25,53	25,36	
CP 2	29,59	27,78	30,96	30,95	25,97	32,65	27,73	25,61	
CP 3	29,65	30,49	32,56	32,38	27,46	33,45	28,14	26,39	MPa
Média	28,04	28,55	30,57	30,98	26,28	29,71	27,13	25,79	
Amplitude	4,78	3,12	4,38	2,78	2,05	10,42	2,61	1,03	
Variância	7,52	2,87	4,91	1,93	1,12	33,63	1,97	0,29	MPa ²
Desvio padrão	2,74	1,70	2,22	1,39	1,06	5,80	1,40	0,54	MPa
Coefficiente de variação	9,78	5,94	7,25	4,49	4,03	19,52	5,17	2,08	%

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A representação de forma gráfica permite identificar com maior intuitividade a variabilidade nos resultados de cada laboratório (Figura 5). Fica evidente que as maiores variações de resistência ocorreram dentro do laboratório identificado pela letra F.

Figura 5 – Resultados dos ensaios de compressão axial para os corpos de prova do grupo I.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para avaliar a representatividade das variações entre os laboratórios, fez-se uso da ferramenta de análise estatística ANOVA. A Tabela 7 traz os resultados da análise de variância (ANOVA) do grupo I. A partir da análise dos dados se pode concluir que a variação entre os laboratórios não é demasiado significativa, uma vez que o fator controlável F é inferior a F crítico. De acordo com o *valor-P*, estas amostras tem 19% de probabilidade de não representarem a população (lote).

A avaliação destes parâmetros permite afirmar que o fator equipamento de ensaio não foi determinante nas variações das resistências dos corpos de prova do grupo I deste estudo.

Tabela 7 – Análise de variância ANOVA para o grupo I dos corpos de prova.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	78,38	7,00	11,20	1,65	0,19	2,66
Dentro dos grupos	108,50	16,00	6,78			
Total	186,88	23,00				

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Tabela 8 apresenta os resultados dos ensaios dos corpos de prova do grupo II. Cabe lembrar que os corpos de prova deste grupo foram preparados para rompimento de acordo com as práticas usuais de cada laboratório. O tipo de acabamento que fora utilizado em cada laboratório está descrito na mesma Tabela.

De modo geral, as variações nas resistências dos corpos de prova do grupo II foram superiores as do grupo I analisado anteriormente. Com exceção dos laboratórios A e F, os demais apresentaram amplitudes maiores em comparação as do grupo I. Isto se deve pela soma do fator acabamento dos corpos de prova por parte de cada laboratório às variáveis em análise.

À medida que os valores de desvio padrão interno variaram entre 0,61 MPa e 4,59 MPa, o desvio padrão de todos os resultados individuais oriundos dos oito laboratórios foi de 2,77 MPa. Três laboratórios apresentaram desvio padrão superior ao geral. A Figura 6 evidencia as maiores variações que ocorreram dentro dos laboratórios G, B e F, respectivamente.

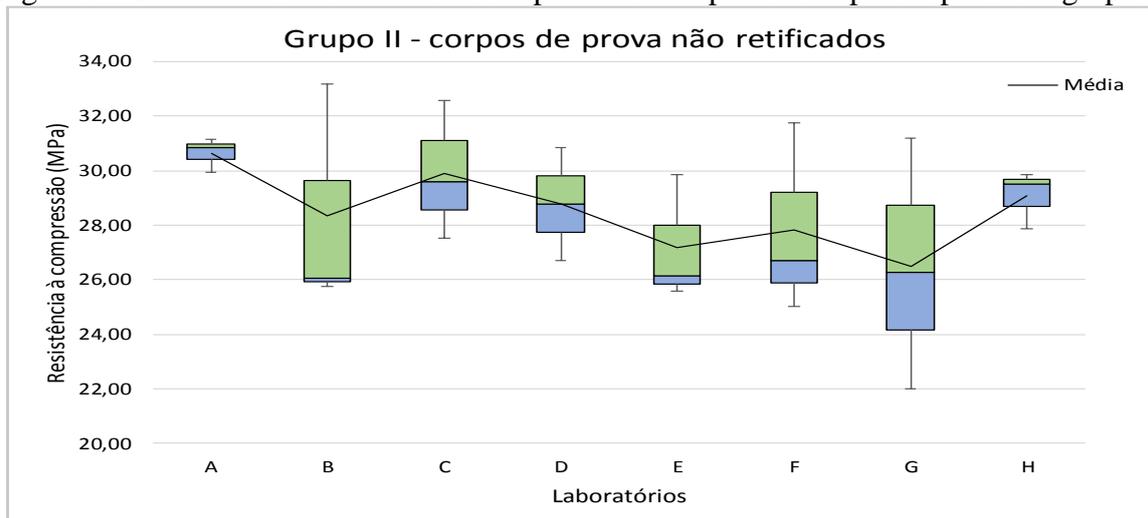
Tabela 8 – Resultados de resistência e análise estatística do grupo II (corpos de prova não retificados).

	Laboratórios								
	A	B	C	D	E	F	G	H	
CP 1	29,96	25,76	27,54	26,69	25,58	25,04	22,02	27,85	
CP 2	30,83	26,07	29,59	28,79	26,13	26,71	26,28	29,52	
CP 3	31,14	33,19	32,58	30,86	29,84	31,74	31,20	29,86	MPa
Média	30,64	28,34	29,90	28,78	27,18	27,83	26,50	29,08	
Amplitude	1,18	7,43	5,04	4,17	4,26	6,70	9,18	2,01	
Variância	0,37	17,67	6,42	4,35	5,37	12,16	21,10	1,16	MPa ²
Desvio padrão	0,61	4,20	2,53	2,09	2,32	3,49	4,59	1,08	MPa
Coefficiente de variação	2,00	14,83	8,48	7,24	8,52	12,53	17,34	3,70	%
Acabamento¹	Neoprene	Neoprene	Neoprene	Neoprene	Retífica	Neoprene	Retífica	Neoprene	

¹ Tipo de acabamento dado ao corpo de prova para rompimento

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 6 – Resultados dos ensaios de compressão axial para os corpos de prova do grupo II.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Tabela 9 apresenta a análise de variância (ANOVA) do grupo II. Fica claro que a variação entre os laboratórios não é significativa, visto que $F < F_{crítico}$. Todavia é preciso observar que as variações entre os laboratórios não foi significativa uma vez que dentro dos próprios laboratórios os valores variaram demasiadamente.

Estas avaliações levam a conclusão de que o fator preparo/tipo do acabamento dado ao corpo de prova não foi determinante nas variações das resistências dos corpos de prova do grupo II.

Tabela 9 – Análise de variância ANOVA para o grupo II dos corpos de prova.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	39,52	7,00	5,65	0,66	0,70	2,66
Dentro dos grupos	137,21	16,00	8,58			
Total	176,73	23,00				

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Tabela 10 apresenta os resultados dos ensaios dos corpos de prova do grupo III. Os exemplares deste grupo foram encaminhados a alguns laboratórios para que fossem tão somente retificados. Eles foram recolhidos e rompidos todos em um mesmo laboratório na idade de 28 dias. O objetivo era avaliar a influência do processo de retífica propriamente dito na preparação de corpos de prova para ensaio.

A Figura 7 permite identificar que as variações dentro dos grupos não foram demasiadamente elevadas. No entanto, as variações entre os grupos foram bastante expressivas.

Tabela 10 – Resultados de resistência e análise estatística do grupo III.

	Laboratórios				
	B	E	G	H	
CP 1	19,32	27,89	26,27	24,69	
CP 2	22,51	29,90	28,20	26,07	
CP 3	22,55	31,48	28,92	27,29	MPa
Média	21,46	29,76	27,80	26,02	
Amplitude	3,22	3,58	2,65	2,60	
Variância	3,42	3,23	1,88	1,69	MPa ²
Desvio padrão	1,85	1,80	1,37	1,30	MPa
Coeficiente de variação	8,62	6,04	4,93	5,00	%

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

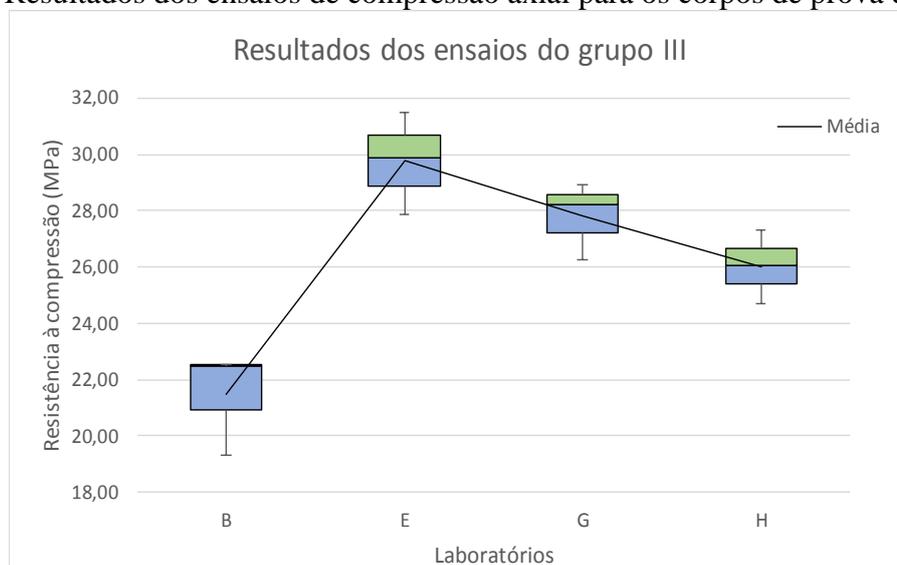
Os valores de desvio padrão interno variaram entre 1,30 MPa e 1,85 MPa enquanto que o desvio padrão de todos os resultados individuais dos quatro laboratórios participantes foi de 3,48 MPa. Esta elevada variação entre laboratórios fica evidente a partir da análise de variância ANOVA apresentada pela Tabela 11. Neste caso, é relevante a probabilidade do fator controlável (retífica) interferir na variável resposta (resistência), sendo o valor de F muito superior ao de F crítico.

Tabela 11 – Análise de variância ANOVA para o grupo III dos corpos de prova.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	113,08	3	37,69	14,76	0,0013	4,07
Dentro dos grupos	20,43	8	2,55			
Total	133,52	11				

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 7 – Resultados dos ensaios de compressão axial para os corpos de prova do grupo III.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho permitiu verificar o quanto fatores extrínsecos ao processo de produção do concreto podem levar a situações de não conformidade. Foram analisados aspectos quanto ao preparo (acabamento) e ensaio de corpos de prova cilíndricos de concreto à compressão axial.

O grupo I de corpos de prova permitiu a análise do fator equipamento (prensa) de ensaio. A variação entre os laboratórios pode não ter sido considerada significativa diante dos resultados da análise estatística ANOVA, contudo cabe uma melhora nos resultados dentro dos próprios laboratórios. Se analisado isoladamente o CP 1 do laboratório F e do laboratório A o concreto seria considerado não conforme, uma vez que não atende a classe de dosagem requerida. No entanto, os outros dois exemplares das amostras apresentaram resistências muito superiores a classe de dosagem do concreto.

O grupo II de corpos de prova permitiu a análise do fator preparo (acabamento) somado ao fator equipamento de ensaio. A variação das resistências no maior número de laboratórios foi superior quando comparada ao grupo I. Este comportamento era esperado em virtude da adição de mais um fator (preparo dos corpos de prova) de variância. Ainda assim a análise estatística ANOVA não considerou a variação entre os grupos significativa.

A sugestão é a de que os próprios laboratórios de controle tecnológico de concreto reavaliem seus procedimentos e qualifiquem seus funcionários para mitigar ao máximo as variações entre resistências de um mesmo lote de concreto. Não são aceitáveis coeficientes de variação tão elevados dentro de uma mesma amostragem.

O grupo III permitiu a análise do aspecto retífica (operação e equipamento). As variações dentro dos laboratórios não foram tão significativas quanto entre os laboratórios. Enquanto o maior desvio padrão interno foi de 1,85 MPa, o desvio padrão dos resultados individuais foi de 3,48 MPa. A discrepância entre os resultados fica evidente através da análise estatística ANOVA em que o fator controlável F (preparo) é muito superior ao F crítico. Reanalizando as informações do grupo II, se percebe que o maior coeficiente de variação fora encontrado no laboratório G, que utiliza o processo de retífica para preparo/acabamento dos corpos de prova.

São inúmeros os fatores que contribuem para a variação dos resultados de resistência obtidos em ensaios de compressão axial de corpos de prova de concreto. A moldagem e cura



dos exemplares buscou obedecer com rigor as normativas vigentes para minimizar ao máximo a influência destes aspectos no resultado final. Todavia a inexperiência com o processo de moldagem e a consistência menos fluida do concreto podem ter interferido na homogeneidade final do lote de corpos de prova.

Cabe ressaltar que a não conformidade em um ensaio não significa necessariamente que o concreto seja inferior ou desconforme ao especificado. Fica o alerta para a realização de maiores investigações por parte dos envolvidos, seja por meio de ensaios não destrutivos ou pela extração de testemunhos.

Aproveito este espaço para agradecer a todos os laboratórios participantes deste estudo pela solicitude e disponibilidade.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Jairo José de Oliveira; TUTIKIAN, Bernardo F. Resistência mecânica do concreto. *In*: ISAIA, Geraldo Cechella (editor). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 1v.
- ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479**: argamassa e concreto: câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto – ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: concreto – procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de construção I**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- LIDUÁRIO, Alfredo Santos. Controle tecnológico de insumos e produção do concreto. *In*: SOHLER, Flávio Augusto Settimi; SANTOS, Sérgio Botassi dos (orgs.). **Projeto, execução e desempenho de estruturas e fundações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2018.
- MAGALHÃES, Fábio Costa. *et. al.* Concreto não conforme – análise da influência do local do ensaio nos resultados de resistência à compressão de um mesmo lote. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 55, 2013, Rio Grande do Sul. **Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto**. Rio Grande do Sul: IBRACON, 2013.



NETO, Jorge Batlouni. Diretrizes do projeto de estrutura para garantia do desempenho e custo. *In*: ISAIA, Geraldo Cechella (editor). **Concreto**: ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 1v.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ROMANO, Roberto Cesar de O.; CARDOSO, Fábio A.; PILEGGI, Rafael G. Propriedades do concreto no estado fresco. *In*: ISAIA, Geraldo Cechella (editor). **Concreto**: ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 1v.

VIEIRA, Geraldo. **Cálculo de concreto armado**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003.