

Is it possible to exceed the time limit specified by Brazilian Standard NBR 7212 for mixing and transporting concrete?

O limite de tempo especificado pela NBR 7212, para mistura e transporte do concreto, pode ser ultrapassado?

E. POLESELLO ^a
edupole@terra.com.br

A. B. ROHDEN ^b
abrcivil@gmail.com

D. C. C. DAL MOLIN ^c
dmolin@ufrgs.br

A. B. MASUERO ^d
angela.masuero@ufrgs.br

Abstract

Brazilian standard NBR 7212 sets a time limit of 150 minutes for a concrete load to be discharged in full. In practice, situations arise where mixer trucks have to hold their load for much longer periods. The main aim of this paper is to assess changes in the compressive strength of concrete that is used when the time limit for mixing and transport specified by standard NBR7212 is exceeded. To this end, concrete was mixed for a period of 6 hours, and a superplasticizer was added at intervals to restore slump to its initial value. Results show that compressive strength is not affected by the prolonged mixing in the conditions of this research.

Keywords: prolonged mixing; ready-mixed concrete; compressive strength; superplasticizer.

Resumo

A norma NBR 7212, para execução de concreto dosado em central, estipula o tempo máximo para que o concreto seja descarregado (aplicado) completamente em 150 min; porém, na prática, ocorrem situações onde caminhões ficam carregados por tempos bem acima desse limite. O objetivo principal deste artigo consiste na avaliação do comportamento do concreto em relação à sua resistência à compressão, quando utilizado posterior ao tempo máximo de mistura e transporte especificado pela norma. Para tal, adotou-se como procedimento o restabelecimento do abatimento à condição inicial com aditivo superplastificante por um período de 6 horas. Os resultados mostram que não houve perda de resistência à compressão para esse tempo de mistura prolongada, nas condições dessa pesquisa.

Palavras-chave: mistura prolongada; concreto usinado; resistência à compressão; superplastificante.

^a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Núcleo Orientado para Inovação da Edificação, edupole@terra.com.br, Rua Osvaldo Aranha, 99 - Centro, Porto Alegre / RS, Brasil.;

^b Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Núcleo Orientado para Inovação da Edificação, abrcivil@gmail.com, Rua Osvaldo Aranha, 99 - Centro, Porto Alegre / RS, Brasil.;

^c Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Núcleo Orientado para Inovação da Edificação, dmolin@ufrgs.br, Rua Osvaldo Aranha, 99 - Centro, Porto Alegre / RS, Brasil.;

^d Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Núcleo Orientado para Inovação da Edificação, angela.masuero@ufrgs.br, Rua Osvaldo Aranha, 99 - Centro, Porto Alegre / RS, Brasil.

1. Introdução

Atualmente, além da praticidade e custo, pelas exigências do mercado por um melhor controle na dosagem assim como uniformidade e homogeneidade, grande parte do concreto consumido no Brasil sai de centrais dosadoras. Um dos grandes problemas que essas centrais dosadoras enfrentam é em relação ao resíduo gerado, por ser agressivo ao meio ambiente. Esse concreto residual é proveniente, na grande maioria, de sobras de concreto que são resultado da não aceitação da obra por estar o concreto com tempo de mistura, a partir do carregamento, acima do especificado por norma. A NBR 7212, para execução de concreto dosado em central, estipula o tempo máximo de transporte da central até a obra em 90 min, bem como o tempo máximo para que o concreto seja descarregado (aplicado) completamente em 150 min. As reações de hidratação que ocorrem com o cimento, o processo de início de pega, a perda que há em sua trabalhabilidade durante as primeiras horas, com conseqüente dificuldade de lançamento e adensamento, podem ser os fatores principais que limitam esse tempo de utilização do concreto.

1.1 Revisão da literatura

O transporte do concreto pré-misturado para o canteiro de obras deve ser feito o mais rápido possível para minimizar os efeitos de enrijecimento e de perda de trabalhabilidade e não dificultar, após o lançamento, o adensamento e o acabamento apropriados. Em condições normais, geralmente há uma perda desprezível da consistência durante os primeiros 30 minutos após o início da hidratação do cimento Portland. Quando o concreto é mantido em reduzido estado de agitação ou remisturado periodicamente, pode ocorrer alguma perda de abatimento com o tempo que, geralmente, não representa qualquer risco sério para o lançamento e adensamento do concreto fresco durante os primeiros 90 minutos. A trabalhabilidade do concreto é a propriedade que determina o esforço exigido para manipular uma quantidade de concreto fresco, com perda mínima de homogeneidade. O termo manipular inclui as operações de primeiras idades como o lançamento, adensamento e acabamento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Sujeito a altas temperaturas ambientes, o concreto fresco endurece em um intervalo de tempo menor quando comparado com os expostos às condições normais e essa pega rápida diminui a trabalhabilidade durante os processos de aplicação, adensamento e acabamento do material. De uma forma geral, os tempos de início e fim de pega diminuem à medida que a temperatura de cura aumenta o que obviamente está relacionado com o aumento da taxa de hidratação do cimento com a temperatura, principalmente nos primeiros instantes (HEIKAL et al., 2005). Os principais fatores que afetam a trabalhabilidade do concreto são a evaporação, hidratação, absorção e agitação. Em função das condições ambientais, provavelmente a evaporação e hidratação aceleram com o tempo. (DEWAR; ANDERSON, 1992). A perda de abatimento do concreto fresco é um fenômeno normal e pode ser definida como sendo a perda de fluidez com o passar do tempo. Essa propriedade do concreto é particularmente importante no caso de concreto dosado em centrais, visto que o proporcionamento e o início da mistura dos materiais ocorrem na central, enquanto que o lançamento e/ou adensamento somente será feitos alguns minutos ou horas depois, quando o caminhão betoneira chegar ao canteiro de obras

(WEIDMANN et al., 2007). A mistura prolongada do concreto acelera o endurecimento, o mesmo acontece com a taxa de perda do abatimento, que na maior parte traz inconveniente, especialmente quando longos períodos de transporte estão envolvidos como geralmente é o caso de concreto pré-misturado (ERDOĞDU, 2005). Kirca et al. (2002), analisando concretos de 25,0 e 35,0 MPa, constataram uma significativa perda do abatimento com o aumento no tempo de mistura, analisando ainda que a perda do abatimento após um período inicial é maior para o concreto com maior consumo de cimento em função de seu processo de hidratação. Observou-se um aumento na resistência à compressão com o aumento do tempo de mistura, onde nenhum processo de ajuste de abatimento tenha ocorrido. Porém, para facilitar o lançamento e obter adequado acabamento do concreto, normalmente, essa perda no abatimento é corrigida com adição de água. Teixeira e Pelisser (2007), em estudo realizado numa central dosadora de concreto, para um traço de concreto com resistência pré-definida de 20,0 MPa, quantificaram a perda de resistência quando houve correção do abatimento com adição de água ao concreto, obtendo, após 2,5 horas, uma queda de 34% e ao final de 4 horas, uma redução de resistência de 44%. Erdoğdu (2005) também registrou essa queda na resistência à compressão em função da adição de água em concretos com até 150 minutos, onde em intervalos de 30 minutos o abatimento inicial foi restabelecido com a adição de água, registrando que essa redução é bastante acentuada por até 90 min de mistura e observando um ligeiro decréscimo posterior. No final de 150 min de mistura, uma perda de resistência de mais de 40% é observada em relação à resistência inicial do concreto. Essa prática em ajustar o abatimento com água deve ser descartada, uma vez que aditivos superplastificantes podem ser usados para isso sem afetar negativamente as outras propriedades do concreto.

Aditivos interagem quimicamente com os aglomerantes do concreto e afetam seu desempenho no estado fresco e endurecido. Podem melhorar a trabalhabilidade da mistura fresca e resistência ou durabilidade do concreto endurecido. As razões que superplastificantes são mais adequados do que outras substâncias químicas são o número de melhorias que podem ser alcançados por seu uso (COLLERPADI, 2005).

Kirca et al. (2002), procurando simular uma situação semelhante à realidade de obra em que o concreto utilizado é concreto pré-misturado e transportado com caminhão betoneira, reproduziram em laboratório concretos com duas classes de resistências mantidos em mistura prolongada por até 4 horas, analisando seu comportamento a cada hora. O abatimento inicial de 150 mm foi restabelecido nos tempos pré-determinados por quatro processos de ajustes distintos: somente com água e água com aditivo superplastificante em três diferentes dosagens (1,5%, 3,0% e 4,5% da massa de água). Com a utilização do superplastificante uma menor quantidade de água é necessária para ajustar o abatimento, com isso as relações a/c finais das misturas com o aditivo são mais baixas do que se utilizada somente água pura. Assim, a diminuição da resistência à compressão destes concretos onde o abatimento foi restabelecido com aditivo superplastificante é menor do que a diminuição da resistência daqueles concretos ajustados com água pura. Mesmo pequenos aumentos foram observados na resistência à compressão dos concretos ajustados com superplastificante (especialmente para o caso de ajuste com superplastificante 4,5%).

Erdođdu (2005) observou ganho na resistência à compressão do concreto, quando mantido o abatimento por um período de 150 minutos através da adição de aditivo superplastificante a cada 30 minutos. Após 90 minutos de mistura registrou um ganho cerca de 30% em relação a resistência inicial do concreto e cerca de 10% após os 150 minutos de mistura do concreto. Erdođdu (2005), utilizando aditivo superplastificante na manutenção do abatimento do concreto por um período de 150 minutos, para restabelecer o abatimento à condição inicial a cada 30 minutos, observou um ganho de resistência à compressão no concreto, com um tempo de mistura de 90 minutos, cerca de 30% em relação à resistência inicial do concreto, e um ganho um pouco mais de 10% em comparação com a resistência do concreto de referência, correspondente ao concreto com duração de mistura de 150 minutos.

Aditivos superplastificantes apresentam-se como boa alternativa quanto à melhoria das propriedades do concreto, principalmente na manutenção do abatimento ao longo do tempo, inclusive através de redosagem, se necessário. Em várias situações práticas há a necessidade de restabelecimento do abatimento, porém se feito com água há um impacto negativo direto nas propriedades do concreto, conforme detalhado por estudos já realizados, então a utilização do aditivo superplastificante mostra-se como boa alternativa.

1.2 Justificativa

A norma NBR 7212 especifica um tempo máximo de mistura, transporte e descarga do concreto, porém, na prática, muitas vezes, ocorrem situações onde caminhões ficam carregados com concreto por 4 ou 5 horas, em função de atrasos no transporte ou na descarga, caracterizando um tempo bem acima do limite especificado pela norma. Nestes casos, enfrentam-se duas realidades:

- O concreto é aceito pelo engenheiro da obra pelo simples fato de não se perceber alteração na temperatura do concreto; no qual, provavelmente, será feita alguma correção do abatimento com a adição de água, afetando com isso sua relação a/c e consequentemente suas propriedades mecânicas e de durabilidade, o que torna tal prática inviável;
- O concreto é devolvido para a central dosadora que deve dar

um destino ao mesmo, processo esse cada vez mais complicado por ser um resíduo prejudicial ao meio ambiente e por envolver grandes volumes, além do prejuízo econômico.

A dúvida de utilizar ou não o concreto nessas condições existe, pois não há conhecimento consolidado quanto às propriedades finais de concretos aplicados com tempo de mistura que já tenham excedido o tempo especificado por norma. Com isso e por haver poucos dados e estudos que analisam esse tempo limite de mistura e transporte do concreto, justifica-se a necessidade em aprofundar e ampliar o conhecimento, em relação ao impacto nas propriedades de concretos utilizados com tempo superior ao especificado pela norma.

Sendo assim, o presente estudo visa avaliar o comportamento do concreto em relação à sua resistência à compressão, quando utilizado posterior ao tempo máximo de mistura e transporte especificado pela NBR 7212 de 150 minutos, após o primeiro contato do cimento com a água, mantendo o abatimento através do uso de aditivo superplastificante à base de policarboxilato.

2. Materiais e programa experimental

A determinação e escolha dos materiais empregados na pesquisa foram baseadas no atual cenário das centrais dosadoras de concreto da região de Porto Alegre. Os ensaios de caracterização dos materiais foram realizados pela Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) do estado do Rio Grande do Sul.

2.1 Materiais utilizados

2.1.1 Cimento

O cimento utilizado nesse estudo foi o cimento Portland composto (CP II Z 32). Suas características estão apresentadas na tabela 1.

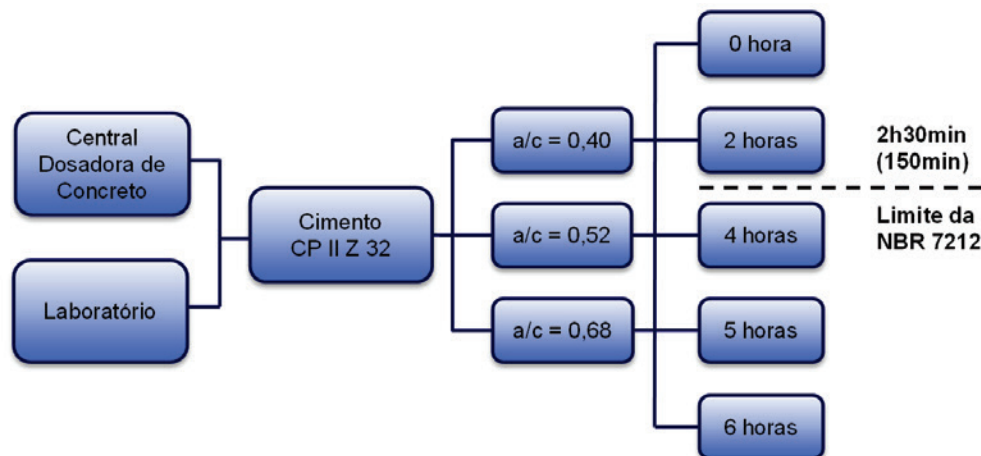
2.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi uma areia quartzosa, oriunda do rio Jacuí, com massa específica 2,62 kg/dm³ determinada segundo a

Tabela 1 – Características do cimento Portland composto utilizado

Características e propriedades	Dados do fabricante	Valores obtidos	Especificações da NBR 11578 (ABNT, 1991)
CaO	1,44	–	–
MgO	6,01	–	≤ 6,5
SO ₃	2,90	–	≤ 4,0
Perda ao fogo	4,98	–	≤ 6,5
Área específica - Blaine (cm ² /g)	4763	4310	≥ 2600
Massa específica (kg/dm ³)	3,02	2,96	–
Finura na peneira nº 200	0,9%	0,4%	≤ 12,0
Tempo início de pega (min)	184	185	≥ 60
Tempo fim de pega (min)	262	235	≥ 600
Resistência à compressão (MPa) 3 dias	27,6	27,2	≥ 10,0
Resistência à compressão (MPa) 7 dias	33,2	31,0	≥ 20,0
Resistência à compressão (MPa) 28 dias	41,1	43,6	≥ 32,0

Figura 1 – Combinações entre as variáveis controláveis da pesquisa



NBR NM 45 (2006), e dimensão máxima característica igual a 4,75 mm com módulo de finura de 2,54, determinados segundo a NBR NM 248 (2003).

2.1.3 Agregado graúdo

Foram utilizados dois agregados graúdos de origem basáltica, definidos como brita 1 e brita 0, com dimensões máximas de 19mm e 9,5mm e módulos de finura de 6,82 e 5,70, respectivamente, determinados segundo procedimentos da NBR NM 248 (2003). As massas específicas foram determinadas segundo procedimentos da NBR NM 45 (2006), obtendo-se 2,80 kg/dm³ para brita 1 e 2,82 kg/dm³ para brita 0.

2.1.4 Água e aditivo

A água utilizada foi da rede de abastecimento da cidade de Porto Alegre. Os aditivos adotados para realização dessa pesquisa foram caracterizados como um aditivo plastificante como padrão na produção dos concretos, com densidade média, segundo dados do fabricante, de 1,05 g/cm³ e um superplastificante à base de policarboxilato para correção do abatimento, com densidade média de 1,08 g/cm³, ambos de pega normal.

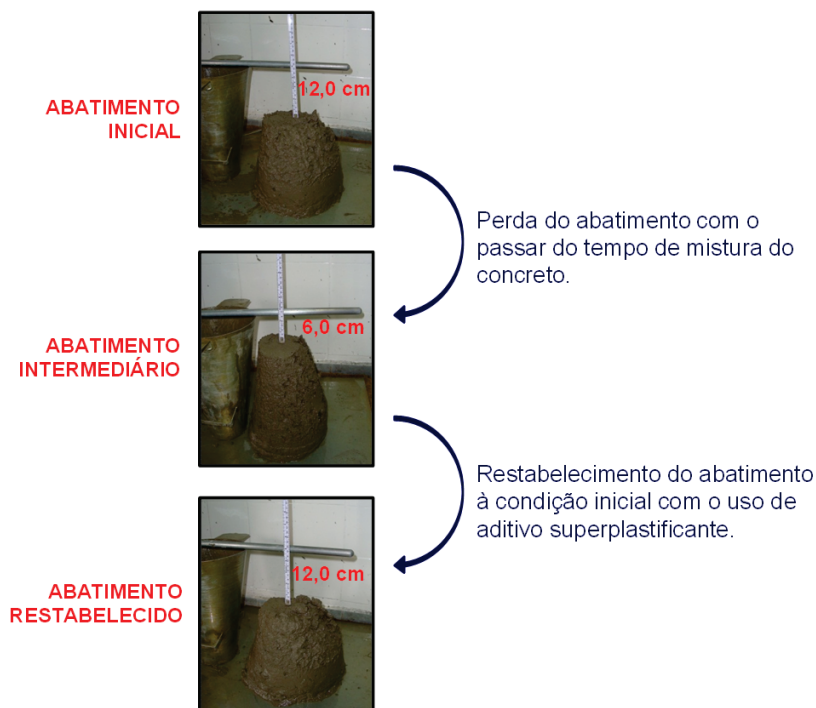
2.2 Programa experimental

Foram definidas como variáveis controláveis da pesquisa três relações a/c e cinco tempos de mistura. Os concretos foram produzidos em laboratório e em escala real numa central dosadora de concreto, para todas as variáveis controláveis definidas, obtendo-se ao final um total de 30 combinações. Essa estruturação está ilustrada na figura 1. O cimento escolhido foi em função de ser um tipo de cimento presente em várias centrais dosadoras de concreto da região de Porto Alegre, inclusive na empresa em que foi reproduzida a pesquisa em escala real de produção. As relações a/c foram escolhidas por apresentarem consumos de cimento bem diferenciados, com a finalidade de avaliar o comportamento em três faixas de resistências distintas. Em função da reprodução em escala real, as dosagens adotadas seguiram o padrão da central dosadora (tabela 2), caracterizadas pela composição de cimento, areia natural, brita 0, brita 1, água e aditivo plastificante. O agregado graúdo é composto por 85% com brita 19mm e 15% de brita 9,5mm e a dosagem do aditivo plastificante é de 0,6% sobre a massa de cimento. O abatimento foi fixado em 120±20mm. Além do concreto quando recém-misturado e no tempo de mistura de 6 horas, adotaram-se outros pontos intermediários para conhecer melhor o comportamento durante esses primeiros tempos de mistura. Optou-se por intervalos de tempos de 2 horas, porém como havia possibilidade de outro tempo adicional adotou-se 5

Tabela 2 – Dosagens dos concretos utilizados nesse estudo

Traço 1 : m	Traço unitário, em massa	Quantidade dos materiais por m ³ (kg)				Teor de Arg. (%)	Relação a/c
		Cimento	Areia	Britas	Água		
1 : 3,2	1 : 1,28 : 1,95	514	660	1000	206	54	0,40
1 : 4,5	1 : 1,97 : 2,53	395	776	997	205	54	0,52
1 : 6,2	1 : 2,90 : 3,32	300	869	996	204	54	0,68

Figura 2 – Verificação do abatimento com restabelecimento à condição inicial (120±20mm) através da incorporação de aditivo superplastificante à mistura durante o período de 6 horas



horas e não 3 horas por entender que quanto mais o concreto permanecer misturando maior a probabilidade de ocorrer alteração nas propriedades analisadas.

A trabalhabilidade do concreto no estado fresco foi determinada através do ensaio de abatimento do tronco de cone conforme a NBR NM 67 (1998). A proposta da pesquisa é manter a trabalhabilidade do concreto com a utilização de aditivo superplastificante à base de policarboxilato ao longo de um período de 6 horas a partir

da mistura inicial dos materiais, onde há o primeiro contato das partículas de cimento com a água.

Posterior à adição total dos materiais deixou-se, quando em laboratório, a betoneira girando por cerca de cinco minutos com o objetivo de realizar uma boa homogeneização dos materiais, para posterior verificação da trabalhabilidade da mistura. Ao longo dos ciclos de descanso (15 minutos) e agitação (5 minutos) do concreto, nos tempos de 120 (2h), 180 (3h), 240 (4h), 300 (5h) e 360 (6h) minutos,

Figura 3 – Resultados médios de resistência à compressão aos 28 dias do concreto produzido em laboratório

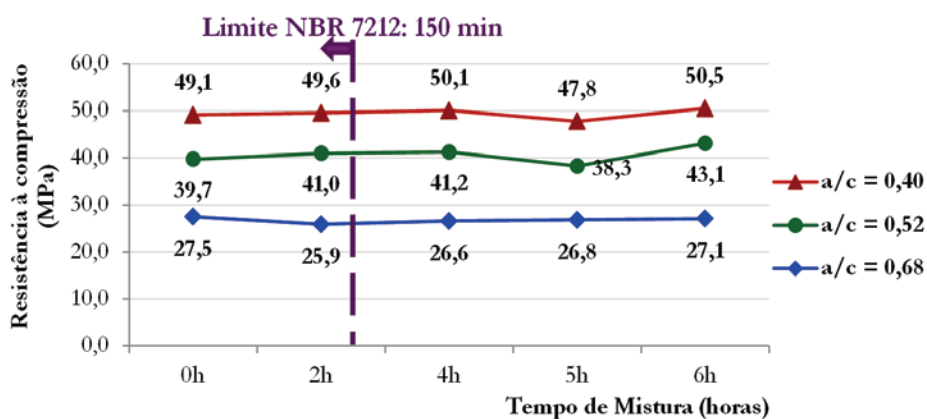
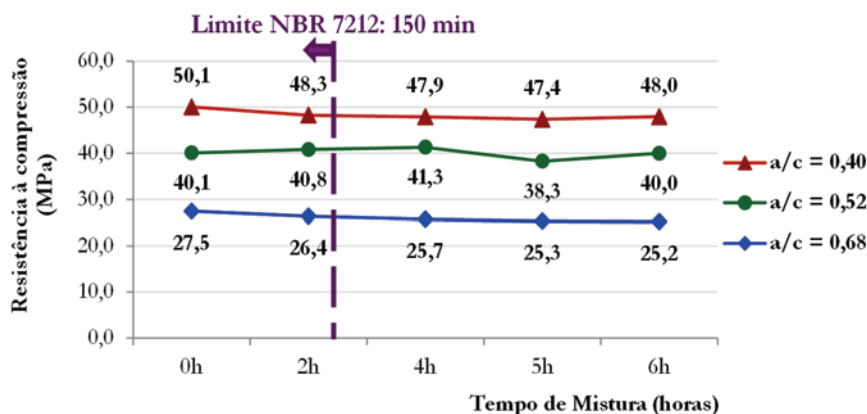


Figura 4 – Resultados médios de resistência à compressão aos 28 dias do concreto produzido na central dosadora



determinou-se o abatimento da mistura. Depois de verificado, através da incorporação de aditivo superplastificante, adotou-se o procedimento do restabelecimento do abatimento a sua condição inicial da mistura (120 ± 20 mm), com posterior moldagem para os tempos pré-determinados para estudo. O período entre os ciclos de verificação do abatimento para o caminhão betoneira difere do adotado com a betoneira em laboratório, pois o caminhão não pode ficar muito tempo carregado com concreto sem que o balão esteja em movimento, conforme especifica seu manual de instruções. Adotou-se, simulando situação real de obra para os intervalos de descanso, que o caminhão ficasse girando em rotação baixa de 2 rotações/minuto, e antes da verificação do abatimento seria mantido por 5 minutos em rotação máxima de 16 rotações/minuto. O processo de restabelecimento do abatimento pode ser visualizado pela figura 2.

Os corpos-de-prova após a moldagem permaneceram em local protegido cobertos com lona plástica durante as primeiras 24 horas para evitar saída de água por evaporação, quando então foram desmoldados e devidamente identificados. Após identificação foram colocados num tanque de água saturada com cal a uma temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, na câmara climatizada do laboratório do

NORIE/UFRGS para sua cura até a idade de ensaio, aos 28 dias, conforme prescreve a norma NBR 5738 (2003).

A análise dos resultados foi para idade de 28 dias. Optou-se em analisar a resistência à compressão, por ser a principal propriedade do concreto. Para isso, definiu-se a moldagem de um total de 15 corpos-de-prova para cada mistura, sendo 3 para cada tempo de mistura. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a NBR 5739 (2007) e o preparo das bases dos corpos-de-prova, buscando garantir a planicidade e perpendicularidade entre elas, foi realizado através de processo de retificação no dia anterior ao ensaio de compressão. O ensaio de compressão foi realizado utilizando-se uma máquina servo controlada Shimadzu de 2.000 kN a uma velocidade de aplicação de tensão de 0,45 MPa/s, que foi mantida constante durante todo o ensaio.

3. Resultados e discussões

3.1 Resistência à compressão

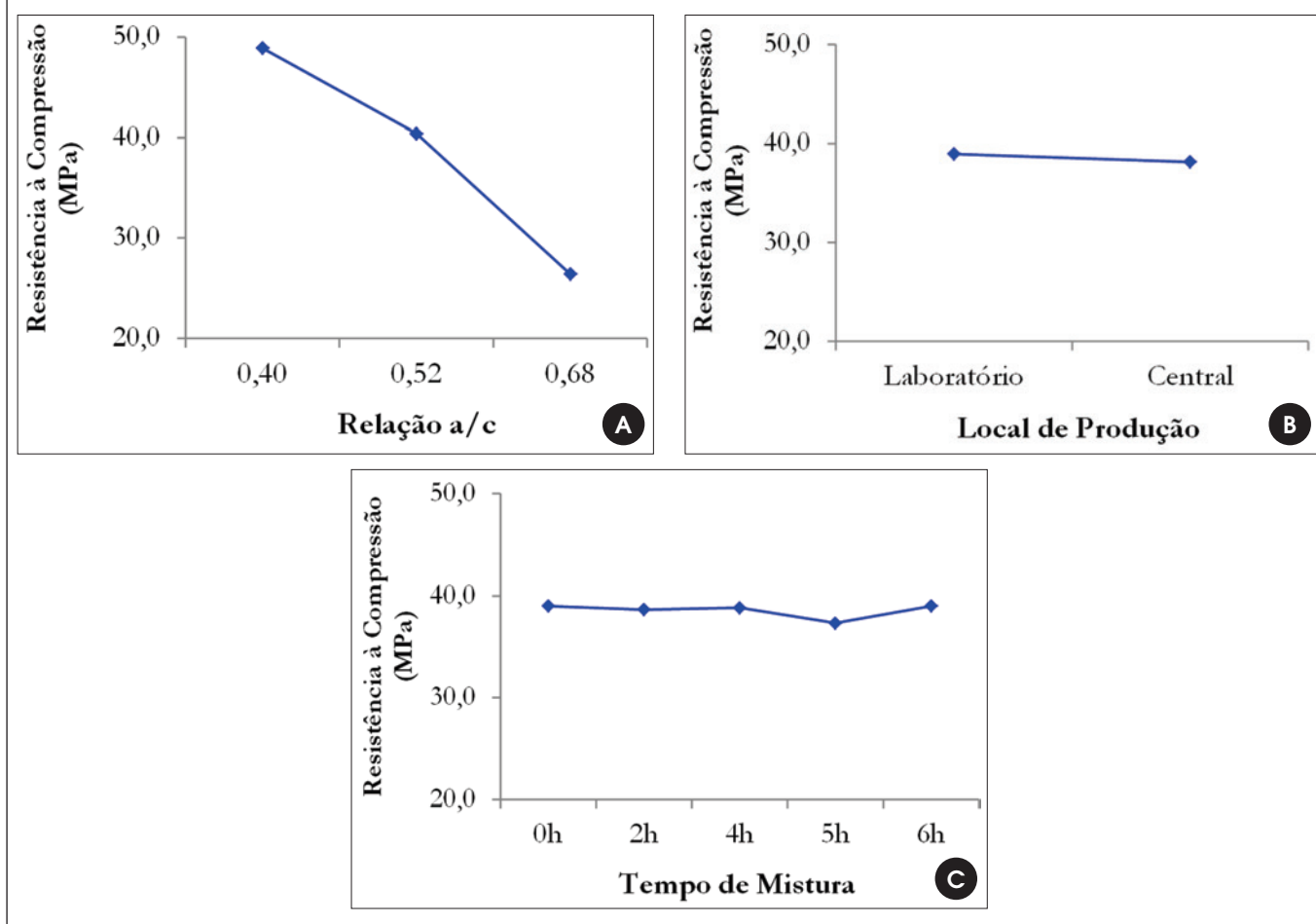
Em Polesello (2012) estão registrados todos os resultados indi-

Tabela 3 – Resultados da ANOVA para resistência à compressão aos 28 dias

Fonte	SQ	GDL	MQ	Teste F	Prob.	Significância
A: relação a/c	7745,70	2	3872,85	1333,10	0,00%	S
B: local produção	15,08	1	15,08	5,19	2,51%	S
C: tempo de mistura	36,01	4	9,00	3,10	1,95%	S
AB	1,34	2	0,67	0,23	79,41%	NS
AC	29,29	8	3,66	1,26	27,45%	NS
BC	21,60	4	5,40	1,86	12,48%	NS
ABC	8,76	8	1,10	0,38	93,03%	NS
Erro	174,31	60	2,91	-	-	-
Total	8032,08	89	-	-	-	-

SQ - soma quadrada; GDL - graus de liberdade; MQ - média quadrada; Teste F - valor calculado de F.; Prob. - nível de significância associado ao valor de F.; S - significativo; NS - não significativo.

Figura 5 – Comportamento do concreto produzido com CII quanto à resistência à compressão aos 28 dias em função: (a) relação a/c, (b) local de produção, (c) tempo de mistura



viduais obtidos para resistência à compressão, assim como os desvios padrões com os respectivos coeficientes de variação. As figuras 3 e 4 ilustram os resultados médios de resistência obtidos, para concretos produzidos em laboratório e na central dosadora de concreto, respectivamente.

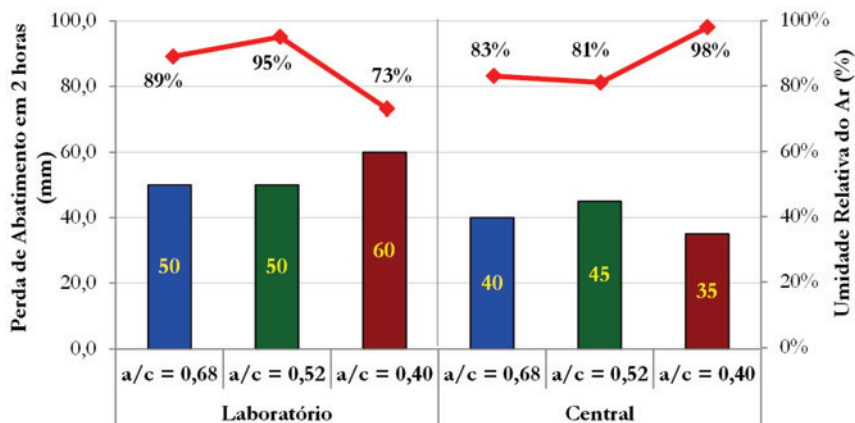
Pelos resultados obtidos percebe-se que mesmo quando o concreto é mantido em processo de mistura por um período de até 6

horas, conforme processo adotado há uma manutenção das resistências médias à compressão obtidas aos 28 dias de idade. Para verificar a influência da relação a/c, do local de produção e do tempo de mistura, assim como das interações dessas variáveis sobre os resultados obtidos, realizou-se uma análise de variância (ANOVA), para os valores individuais. Os resultados dessa análise estão apresentados na tabela 3.

Tabela 4 – Abatimentos, condições ambientais e perda de abatimento durante o período de 2h

Local produção	a/c	Abatimento (mm)		Temp. (°C)	Umidade relativa (%)	Perda (mm)
		Inicial	Final			
Laboratório	a/c = 0,68	120	70	18,0	89%	50
	a/c = 0,52	140	90	18,3	95%	50
	a/c = 0,40	130	70	17,9	73%	60
Central	a/c = 0,68	120	80	13,7	83%	40
	a/c = 0,52	125	80	15,8	81%	45
	a/c = 0,40	120	85	14,6	98%	35

Figura 6 – Perda do abatimento em 2 horas com o registro da umidade relativa do ar



Os resultados da ANOVA mostram que, estatisticamente, somente para as três variáveis de controle, relação a/c, local de produção e tempo de mistura, há influência significativa sobre a resistência à compressão do concreto aos 28 dias de idade. O comportamento isolado de cada uma dessas variáveis está mostrado na figura 5. A figura 5a apresenta o efeito isolado da relação a/c, mostrando que os valores de resistência à compressão vão diminuindo conforme se aumenta a relação a/c, ratificando o que já é conhecimento consolidado pelo meio técnico. O tempo de mistura mostrou-se significativo. Esse comportamento pode ser visualizado pela figura 5c. Fica evidente que o tempo de mistura apresentou-se significativo em função do resultado médio obtido no tempo de 5 horas, onde houve uma leve diminuição da resistência com posterior ganho. Ao final das 6 horas o comportamento da resistência à compressão foi exatamente o mesmo que para o concreto recém-misturado. Em relação ao local de produção ter apresentado significância, pode estar atrelado ao volume de concreto da mistura na condição real ser significativamente maior que em laboratório ocorrendo, as-

sim, diferenças em relação à evaporação e processo de agitação do concreto.

Uma das razões do registro na manutenção da resistência média à compressão aos 28 dias, para concretos mantidos em mistura prolongada de até 6 horas, pode ser explicado pela perda de água para o ambiente com conseqüente diminuição da relação água cimento efetiva da mistura. Kirca et al (2002) registraram em seu estudo essa perda de água com conseqüente ganho de resistência para dois concretos de classes diferentes, C25 e C35, quando mantidos em mistura prolongada por 4 horas. Segundo esses autores, houve um ganho de resistência aos 28 dias de 15% e 27%, respectivamente. Alhozaimy (2007), em situação real na entrega de concreto usinado, também verificou que com a diminuição do abatimento entre o momento da chegada do caminhão na obra até o meio da descarga, foi verificado um ligeiro aumento na resistência à compressão quando não houve nenhuma correção da trabalhabilidade do concreto com adição de água. Nos estudos de Erdođdu, (2005), houve ganho na resistência à compressão aos 28 dias de 15% para concreto mantido

Figura 7 – Abatimento e incremento no abatimento pela adição do aditivo para concretos produzidos em laboratório, ao longo de 6 horas de mistura

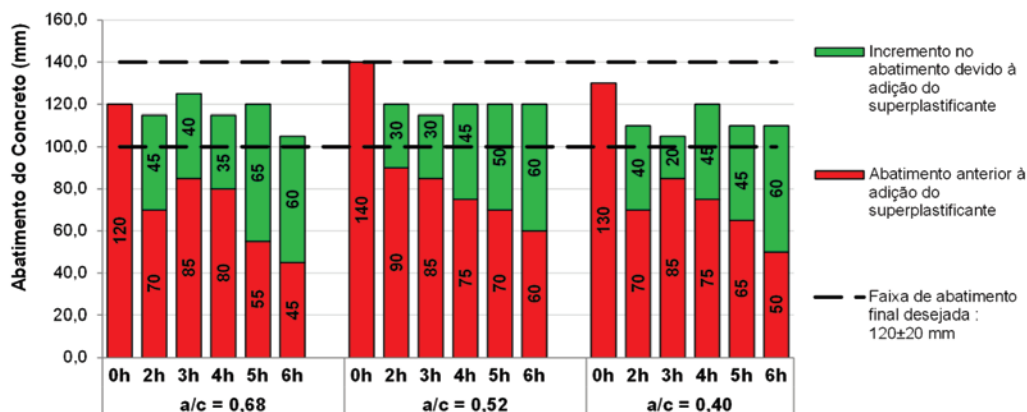
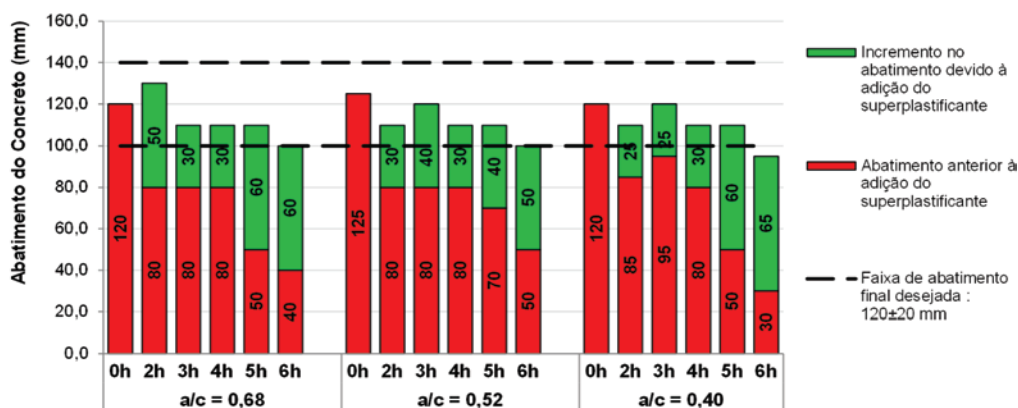


Figura 8 – Abatimento e incremento no abatimento pela adição do aditivo para concretos produzidos na central de concreto, ao longo de 6 horas de mistura



em mistura por 150 minutos, sem correção do abatimento com água e, quando utilizado aditivo superplastificante para correção do abatimento, conforme metodologia adotada nessa pesquisa, porém para um período menor de tempo de até 150 minutos, registrou um ganho na resistência à compressão ligeiramente superior a 10% aos 90 minutos e cerca de 8% ao final dos 150

minutos. Uma possível razão para esse comportamento, de manutenção ou até ganho na resistência à compressão, pode ser em função dessa agitação contínua do concreto durante o processo de hidratação, pela qual pode ocorrer uma possível quebra dos primeiros produtos formados pela hidratação, que são maiores e mais frágeis.

Figura 9 – Percentual de aditivos utilizados nos concretos produzidos em laboratório

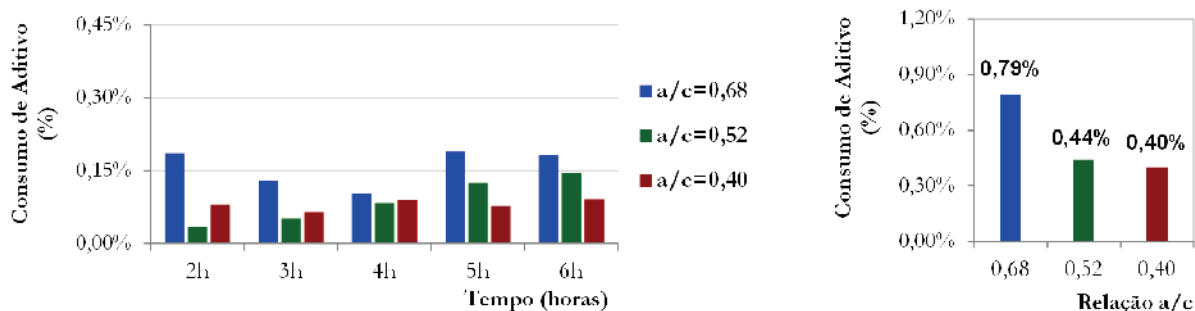
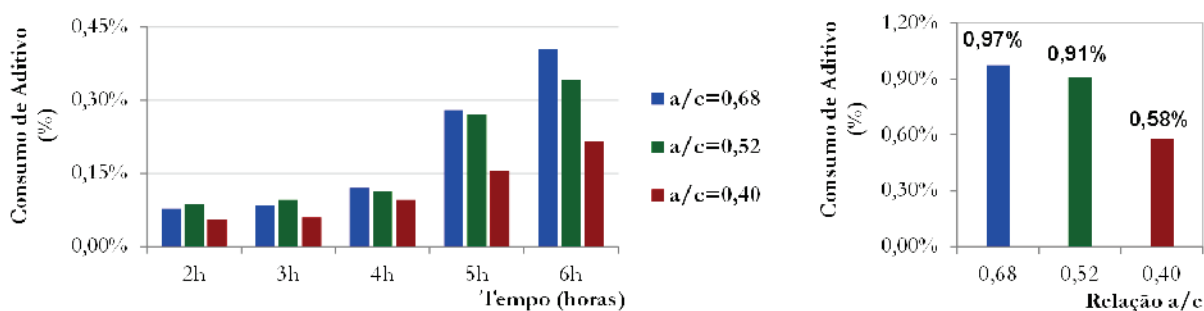


Figura 10 – Percentual de aditivos utilizados nos concretos produzidos na central dosadora



3.2 Perda de abatimento e consumo de superplastificante

O concreto começa a perder o abatimento a uma determinada taxa que é função, principalmente, do tempo, da temperatura, da composição do cimento e dos aditivos/adições presentes (MEHTA; MONTEIRO, 2008). A tabela 4 apresenta os abatimentos iniciais obtidos com a respectiva perda ao longo de 2 horas, período em que ainda não houve a incorporação do aditivo superplastificante à mistura, juntamente com as condições ambientais registradas durante a produção dos concretos. Essa perda registrada, nas duas primeiras horas, pode melhor ser visualizada pela figura 6.

Como esperado, quanto menor a relação a/c, consequentemente maior o consumo de cimento, há uma perda maior do abatimento. Para os casos onde essa perda foi igual ou menor, para relações a/c diferentes, percebe-se a influência da umidade relativa sobre a perda de abatimento, conforme ilustra a figura 6.

Depois de 2 horas de mistura, iniciou-se a incorporação à mistura de aditivo superplastificante para correção do abatimento à condição inicial, ao longo de todo o período analisado nessa pesquisa. O abatimento medido em cada tempo, assim como o incremento do mesmo proporcionado pela adição do aditivo superplastificante, pode ser visualizado nas figuras 7 e 8, respectivamente, para produção em laboratório e na central de concreto.

O comportamento ao longo do tempo de mistura foi muito semelhante em ambos os locais de produção. No entanto, percebe-se que na condição de laboratório houve uma melhor padronização nos abatimentos finais, em função da facilidade em visualizar o concreto na betoneira no momento da adição do aditivo. Também é perceptível que a perda do abatimento tende a aumentar com o tempo de mistura, isso porque nos tempos finais o abatimento está mais condicionado à ação do aditivo e menos em função da água. Os totais de aditivo utilizado, em termos percentuais sobre a massa de cimento, para correção dos abatimentos ao longo do período de 6 horas, estão apresentados nas figuras 9 e 10. Saliencia-se que a presença dos aditivos, tanto aditivo plastificante quanto superplastificante, podem influenciar no tempo de pega.

Houve um maior consumo de aditivo superplastificante, para restabelecimento do abatimento à condição inicial, para concretos produzidos na central de concreto. Nota-se, também, que há uma tendência mais acentuada na demanda do aditivo ao longo do tempo para os concretos produzidos na central. A dosagem total do aditivo superplastificante até o tempo de 6 horas, em ambas as situações apresentadas, respeitou o limite especificado pelo fabricante para esse aditivo, que está entre 0,2% a 1,0%.

4. Conclusões

Pelos resultados apresentados, para concretos produzidos tanto em laboratório quanto em condição real numa central dosadora de concreto, pode-se concluir que, para os materiais e métodos utilizados neste trabalho, é possível utilizar concretos com tempo acima do máximo estabelecido pela NBR 7212, desde que a trabalhabilidade seja mantida até o momento do lançamento do concreto com a incorporação de aditivo superplastificante, mantendo-se o concreto em processo de mistura, sem alterar dosagem da água. Através de uma investigação mais ampla, para outros tipos de cimento e temperaturas de concretagem, entre outras variáveis, pode-se buscar consolidar o procedimento adotado, contri-

buindo significativamente em relação à tomada de decisão, em situações reais, quanto à possibilidade ou não da utilização de concretos com tempos de mistura e transporte acima do limite estabelecido pela norma.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao NORIE (Núcleo Orientado à Inovação da Edificação) da UFRGS pelo apoio na realização dos experimentos e à empresa Concreto Redimix do Brasil S/A pela colaboração e disponibilidade para realização do estudo na condição real de produção.

6. Referências bibliográficas

- [01] ALHOZAIMY, A. M. Effect of retempering on the compressive strength of ready-mixed concrete in hot-dry environments. *Cement & Concrete Composites* 29, 124-127, 2007.
- [02] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 3p.
- [03] _____. NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. São Paulo, 2007. 9p.
- [04] _____. NBR 7212: Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 7p.
- [05] _____. NBR 11578: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro: ABNT, 1991. 5 p.
- [06] _____. NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 8p.
- [07] _____. NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 8p.
- [08] _____. NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6p.
- [09] COLLERPADI, M. Admixtures-enhancing concrete performance. 6th International Congress, Global Construction, Ultimate Concrete Opportunities, Dundee, U.K. July 2005.
- [10] DEWAR, J.D.; ANDERSON, R. Manual of ready mixed concrete. Blackie Academic and Professional, second ed., Glasgow, UK, 1992.
- [11] ERDOĞDU, S. Effect of retempering with superplasticizer admixtures on slump loss and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing. *Cement & Concrete Research* 35, 907-912, 2005.
- [12] HEIKAL, M.; MORSY, M. S.; AIAD, I. Effect of treatment temperature on the early hydration characteristics of superplasticized silica fume blended cement pastes. *Cement & Concrete Research* 35, 680-687, 2005.
- [13] KIRCA, Ö.; TURANLI, L.; ERDOĞAN, T. Effects of retempering on consistency and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing. *Cement & Concrete Research* 32, 441-445, 2002.

- [14] MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [15] POLESSELLO, E. Avaliação da resistência à compressão e da absorção de água de concretos utilizados após o tempo máximo de mistura e transporte especificado pela NBR 7212. (Dissertação de Mestrado) Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- [16] TEIXEIRA, R. B.; PELISSER, F. Análise da perda de resistência à compressão do concreto com adição de água para correção da perda de abatimento ao longo do tempo. Revista de Iniciação Científica da UNESC, Vol. 5, No 1, 2007.
- [17] WEIDMANN, D. F.; OLIVEIRA, A. L.; SOUZA, J.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; BIACHINI, M. Avaliação do desempenho de aditivos redutores de água para o uso em centrais de concreto: estudo de caso, 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves-RS, IBRACON, 2007.