



Comportamento de Aditivos Plastificantes de Diferentes Fornecedores na Produção de Concreto

Anderson Luis Dreher¹; Eduardo Polesello¹

✉ edupole@terra.com.br

1. Universidade Feevale – Novo Hamburgo – RS, Brasil.

Histórico do Artigo: O autor detém os direitos autorais deste artigo.

Recebido em: 28 de dezembro de 2020 Aceito em: 05 de julho de 2021 Publicado em: 31 de dezembro de 2021

Resumo: Tendo em vista que o uso de aditivos químicos busca melhorar as propriedades do concreto e que sua eficiência está diretamente ligada à interação química com o cimento, este estudo busca avaliar a influência do uso de aditivos plastificantes de quatro diferentes fornecedores na produção de concreto. Foi analisado um traço de concreto, considerando-se quatro tipos de aditivos plastificantes e dois tipos de cimento Portland. No estado fresco do concreto, foi analisada a trabalhabilidade através do ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, em um tempo definido como inicial e após 30 minutos, para avaliar a capacidade de manutenção dessa trabalhabilidade. Já no estado endurecido, foi realizada a análise de resistência à compressão, aos 7, 28 e 63 dias de idade, e a absorção de água por capilaridade, aos 28 dias. O estudo mostrou que a marca do aditivo plastificante, assim como o tipo de cimento, gera influência sobre a trabalhabilidade das misturas. Ainda, no estado endurecido, quando realizada a análise estatística dos resultados, verificou-se que as duas variáveis exercem influência significativa sobre a resistência à compressão e sobre a absorção de água por capilaridade dos concretos.

Palavras-chave: Compatibilidade cimento e aditivo, Trabalhabilidade do concreto, Resistência à compressão, Absorção de água por capilaridade.

Behavior of Plasticizers Admixtures from Different Suppliers in Concrete Production

Abstract: The use of chemical admixtures seeks to improve the properties of concrete and its efficiency is directly linked to the chemical interaction with cement. Thus, this study evaluates the influence of the use of plasticizer admixtures from four different suppliers in the production of concrete. One concrete mix was analyzed, considering four types of plasticizer admixtures and two types of Portland cement. In the fresh state of the concrete, the workability was analyzed through the consistency determined by the slump test, in a time defined as initial and after 30 minutes, to evaluate the ability to maintain this workability. In the hardened state, the compressive strength analysis was performed at 7, 28 and 63 days of age, and the capillary water absorption test at 28 days. The study showed that the brand of the plasticizer admixture, as well as the type of cement, influences the workability of the mixtures. Still, in the hardened state, when the statistical analysis of the results was performed, it was identified that the two variables have a significant influence on the compressive strength and on the water absorption by capillarity of the concretes.

Keywords: Cement and admixture compatibility, Concrete workability, Compressive strength, Capillarity water absorption.

Comportamiento de Aditivos Plastificantes de Diferentes Proveedores en la Producción de Hormigón

Resumen: Teniendo en cuenta que el uso de aditivos químicos busca mejorar las propiedades del hormigón y que su eficiencia está directamente ligada a la interacción química con el cemento, este estudio busca evaluar la influencia del uso de aditivos plastificantes de cuatro proveedores diferentes en la producción de hormigón. Se analizó una dosificación de hormigón, considerando cuatro tipos de aditivos plastificantes y dos tipos de cemento Portland. En estado fresco del hormigón, se analizó la trabajabilidad mediante la prueba de determinación de consistencia mediante su asentamiento, en un tiempo definido como inicial y después de 30 minutos, para evaluar la capacidad de mantener esta trabajabilidad. En estado endurecido, el análisis de resistencia a la compresión se realizó a los 7, 28 y 63 días de edad, y la absorción capilar de agua a los 28 días. El estudio mostró que la marca del aditivo plastificante, así como el tipo de cemento, influyen en la trabajabilidad de las mezclas. Aún así, en el estado endurecido, cuando se realizó el análisis estadístico de los resultados, se encontró que las dos variables tienen una influencia significativa en la resistencia a la compresión y en la absorción de agua por capilaridad de los hormigones.

Palabras clave: Compatibilidad entre cemento y aditivo, Trabajabilidad del hormigón, Resistencia a la compresión, Absorción de agua por capilaridad.

INTRODUÇÃO

O concreto é formado pela mistura de um aglomerante, ou mais, nesse caso o cimento, agregados, água, e aditivos que permitem modificar de maneira desejada algumas características e propriedades do concreto (LIMA *et al.*, 2014; MARTIN, 2005). Os aditivos para concreto são produtos químicos que interagem com o cimento. Logo, para garantir que o uso de aditivos produza os benefícios desejados, é importante utilizar os produtos de maneira correta e discriminada, a fim de conferir ao concreto melhoria em algumas propriedades, tanto no estado fresco como no endurecido, permitindo aplicações que, algum tempo atrás, seriam inviáveis por meio da mistura convencional (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Aditivos são substâncias químicas que quando adicionados em concretos, modificam sua constituição química e física, possibilitando alterar de maneira desejada as propriedades nos seus estados fresco e endurecido (FREITAS Jr., 2017). No Brasil, a NBR 11768-1 (ABNT, 2019) é a norma que especifica o uso de aditivos químicos em concreto de cimento Portland e os definem como materiais utilizados para melhorar o desempenho do concreto sem causar efeitos colaterais indesejáveis, alterando suas características quando adicionados à mistura de maneira correta e em quantidades moderadas.

Segundo Aïtcin e Flatt (2016) e Freitas Jr. (2017), manter constante a relação água/cimento e, ao mesmo tempo, aumentar a trabalhabilidade do concreto só é possível devido ao fato da superfície positiva do aditivo aderir aos grãos do cimento, permitindo que a carga negativa fique exposta, promovendo a dispersão dos grãos do ligante. Corroborando, Neville

(2016) associa essa repulsão dos grãos de cimento com a utilização de aditivos, propiciando dessa forma melhor hidratação do cimento, que resulta no aumento da trabalhabilidade e resistência mecânica do concreto.

Para Neville e Brooks (2013), a maior ou menor efetividade dos aditivos pode ocorrer por uma série de fatores no momento da mistura, como o tempo que a mistura permaneceu na betoneira, concentração de cada aditivo, energia de mistura, do tipo do cimento, temperatura ambiente, dos materiais constituintes do concreto e a até mesmo a porosidade dos agregados, pois assim pode ocorrer uma maior absorção de água aos agregados, afetando diretamente a relação água/cimento (a/c).

A relação a/c pode ser considerada o principal fator determinante das propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no endurecido que, segundo Aïtcin e Flatt (2016), é a característica de maior importância na produção de um concreto, uma vez que a durabilidade do produto final está diretamente ligada a esse fator. Visto a importância dessa relação, autores como Mehta e Monteiro (2014) defendem o uso de aditivos como uma das soluções encontradas para a otimização dos traços para produção de concreto.

Fernandes (2011) afirma que “a consistência e a resistência à compressão estão diretamente relacionadas à quantidade de água adicionada ao concreto”. Dessa forma, é importante promover um melhor controle desta relação com o propósito de se obter mais qualidade ao concreto. Assim como demais autores defendem que a utilização de aditivos redutores de água pode gerar ganhos de resistência em concretos, El-Gamal, Fawzia e Asmaa (2012), verificaram que a utilização de um aditivo plastificante à base de lignosulfonato em diferentes dosagens proporciona um aumento gradativo, em todas as idades estudadas, na resistência do concreto. Esse ganho de resistência à compressão é associado ao elevado grau de dispersão que o aditivo causa no sistema durante a hidratação, partindo os sítios floculares e acelerando a hidratação dos silicatos presentes no cimento. Deste modo, ocorre a diminuição do número de poros e conseqüentemente há um aumento do desempenho mecânico.

A não utilização dos aditivos, normalmente, sugere correções de abatimento com água em obra para facilitar o lançamento e adensamento, prejudicando a durabilidade do concreto (PASSOS e BONATO, 2018). Maciel *et al.* (2020) ao restabelecerem o abatimento do concreto com água registraram perda do desempenho mecânico de 7,25% aos 28 dias de idade, enquanto ao utilizarem aditivo superplastificante para a correção dessa perda do abatimento, registraram um ganho de 16,52% da resistência.

Mesmo diante da diversidade de tipos e marcas de aditivos, destaca-se a utilização do plastificante redutor de água na produção de concretos, principalmente em centrais dosadoras (FRACALOSS, 2011). Além dessa redução de água com consequente ganho de resistência, benefícios como aumento de consistência, melhoria na trabalhabilidade do concreto e redução no consumo de cimento gerando dosagens mais econômicas (LIMA *et al.*, 2018).

Dessa forma, justificam-se os estudos, analisando e verificando a influência da utilização de diferentes aditivos plastificantes nas propriedades do concreto. Frente a isso, esse estudo tem como objetivo principal analisar a influência da utilização de aditivos plastificantes, de diferentes fornecedores, nas propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido.

MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram definidos de acordo com o padrão utilizado pelas centrais dosadoras de concreto e construtoras da região do Vale dos Sinos, no estado do Rio Grande do Sul. Para a realização dos ensaios, seguiu-se os procedimentos recomendados pelas normas técnicas. A figura 1 apresenta as diretrizes adotadas para a pesquisa.

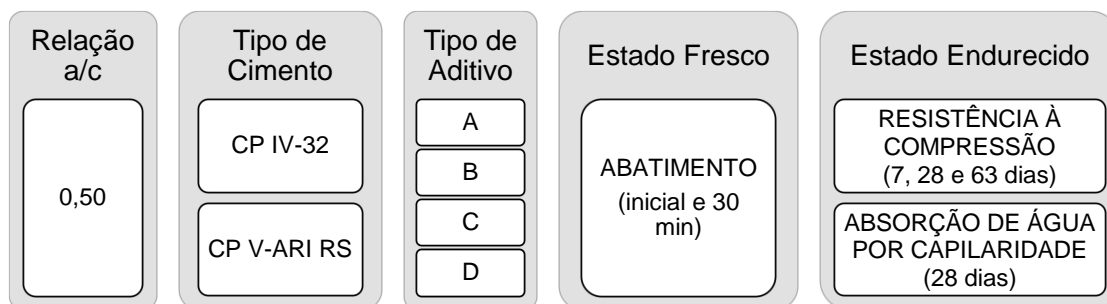


Figura 1. Escopo considerado no desenvolvimento da pesquisa
Fonte: Autores, 2020.

Definiu-se a nomenclatura para identificação de cada mistura de concreto, através do tipo de cimento e aditivo utilizado. Para o cimento CP IV-32 e CP V-ARI RS foram utilizadas as abreviações CPIV e CPV, respectivamente. Ao lado da identificação do cimento acresceu-se o tipo de aditivo, por exemplo, CPIV-A trata-se do concreto com cimento CP IV-32 e o aditivo A.

Caracterização dos Materiais

Foram utilizados dois tipos de cimentos na produção dos concretos: o cimento Portland tipo CPIV e o cimento Portland tipo CPV, que, segundo dados do fabricante, atendem as exigências especificadas na NBR 16697 (ABNT, 2018).

O agregado miúdo utilizado na produção dos concretos foi uma areia de origem quartzosa e o agregado graúdo uma brita de origem basáltica. As características desses agregados, assim como as respectivas normas utilizadas, estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Características dos agregados miúdo e graúdo

Agregado	Característica avaliada	Resultado
Miúdo	Módulo de finura - NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,34
	Dimensão máx. do grão - NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,36 mm
	Massa específica - NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,62 g/cm ³
	Massa unitária - NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,64 g/cm ³
Graúdo	Módulo de finura - NBR NM 248 (ABNT, 2003)	6,90
	Dimensão máx. do grão - NBR NM 248 (ABNT, 2003)	19,00 mm
	Massa específica - NBR NM 53 (ABNT, 2009)	2,73 g/cm ³
	Massa unitária - NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,53 g/cm ³

Fonte: elaborado pelos autores, 2020.

Utilizaram-se, nesta pesquisa, aditivos do tipo plastificante redutor de água à base química de lignosulfonato, de quatro fornecedores diferentes. A caracterização, conforme dados dos fabricantes, está detalhada na tabela 2.

Tabela 2. Características dos aditivos plastificantes

Aditivo	Característica	Dosagem de referência (%)	pH	Densidade (g/ml)	Aspecto/Cor
A	Polifuncional redutor de água	0,4 a 1,0	---	1,13 a 1,19	Líquido marrom escuro
B	Multifuncional de pega normal	0,2 a 1,0	---	1,14	Líquido marrom
C	Pega normal	0,3 a 0,9	6 a 8	1,15	Líquido marrom
D	Multidosagem de pega normal	0,2 a 1,5	8 a 10	1,18 a 1,20	Líquido marrom

Fonte: adaptado das fichas técnicas dos fabricantes, 2020.

Adotou-se como dosagem do aditivo 0,6% sobre a massa de cimento Portland, por ser um valor intermediário às especificações dos fabricantes e também por ser uma dosagem usual em centrais dosadoras de concreto, conforme registrado no estudo de Polesello (2012).

A água de amassamento utilizada na mistura foi oriunda de poço artesiano. Tratando-se de uma água classificada como potável e visando a qualidade do concreto, como avaliação preliminar, foi medido o pH da água com o auxílio de um pHmetro disponibilizado pelo Laboratório. O resultado obtido, de pH=6,63, enquadrou-se nos requisitos da NBR 15900-1 (ABNT,

2009), a qual especifica que a água de amassamento deve ter $\text{pH} \geq 5$. Corroborando, Neville e Brooks (2013) destacam que a água de amassamento com pH entre o intervalo de 6,0 a 8,0 é adequada para produção de concreto.

Planejamento Experimental

Com base nas especificações da NBR 6118 (ABNT, 2014), para a definição do traço, foi adotada uma relação água/cimento igual a 0,50, já que atende até as exigências da classe de agressividade 3 (agressividade forte), a qual abrange uma gama de possibilidades de utilização/aplicação, desde ambientes rurais e urbanos até ambientes marítimos e industriais. Ainda, através de estudos prévios realizados em laboratório e com base nos materiais utilizados, o traço unitário em massa ficou definido em 1:2,3:2,8, com 0,6% de teor de aditivo plastificante em relação à massa do cimento e com teor de argamassa de 54%. A tabela 3 apresenta as quantidades, em massa, dos materiais utilizadas para produção de 1 m^3 de concreto.

Tabela 3. Quantidade dos materiais utilizados na produção dos concretos

Relação a/c	Cimento (kg)	Agregado miúdo (kg)	Agregado graúdo (kg)	Aditivo plastificante (kg)
0,50	364,0	837,2	1019,2	2,18

Fonte: Autores, 2020.

Na produção dos concretos, fixou-se a quantidade para cada material, exceto para a água de amassamento, que durante a produção foi ajustada, para atender a faixa de abatimento de $120 \pm 20 \text{ mm}$, em decorrência da eficácia de cada aditivo utilizado, resultando em relações a/c diferentes para cada aditivo. Segundo Tamaki (2011), um abatimento nesta faixa contempla uma trabalhabilidade adequada para bombeamento do concreto e ainda, enquadra-se na classe de consistência S100, conforme classificação da NBR 7212 (ABNT, 2012).

O procedimento de mistura, após o processo de imprimação da betoneira, seguiu a seguinte ordem: agregado graúdo (total), água (parcial), cimento (total), aditivo (total), agregado miúdo (total) e água final. Após a adição total dos materiais deixou-se a betoneira girando por cerca de 3 minutos com o intuito de garantir homogeneidade à mistura, para posteriormente verificar a trabalhabilidade, conforme as determinações da NBR 16889 (ABNT, 2020).

Ainda, após essa primeira etapa do concreto recém-misturado, foram padronizados ciclos de descanso e agitação do concreto na betoneira, em períodos de 4 e 1 minutos, respectivamente, até completar o tempo de 30 minutos. De acordo com Polesello (2012), esse

procedimento simula as condições do caminhão betoneira. Simulando essa situação de campo, ao final do ciclo de descanso e agitação de 30 minutos, verificou-se novamente o abatimento do concreto e, quando necessário, através da incorporação de água, restabeleceu-se o abatimento à sua condição inicial de 120 ± 20 mm.

Foram moldados corpos de prova cilíndricos (moldes de aço de 10x20 cm) e adensados seguindo os procedimentos definidos pela NBR 5738 (ABNT, 2015). Em seguida, os corpos de prova foram identificados de acordo com o cimento e aditivo utilizado e armazenados em local apropriado para a cura inicial de 24 horas, expostos em ambiente de laboratório. Após a cura inicial, as amostras foram submetidas à cura submersa em solução saturada de hidróxido de cálcio até a realização dos ensaios.

No estado fresco do concreto, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco do cone; já no estado endurecido, foram realizados os ensaios de resistência à compressão e absorção de água por capilaridade. Para os resultados dos ensaios no estado endurecido realizou-se uma análise estatística das variáveis estudadas, por meio do método de análise de variância (ANOVA), utilizando o Software Statistica 8.0, com um nível de confiabilidade de 95%.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado aos 7, 28 e 63 dias de idade. Um dia antes do ensaio de resistência à compressão, para cada idade analisada, as bases dos corpos de prova foram preparadas pelo processo de retificação, com o objetivo de garantir a planicidade e perpendicularidade entre as mesmas. O ensaio de resistência à compressão seguiu as especificações da NBR 5739 (ABNT, 2018). Para cada idade e mistura de concreto analisado foram ensaiados 3 corpos de prova.

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado na idade de 28 dias e seguiu as orientações prescritas pela NBR 9779 (ABNT, 2012). Assim como na compressão, em cada mistura de concreto analisado foram ensaiados 3 corpos de prova, para verificar se a marca do aditivo plastificante e o tipo de cimento geram influência significativa nos resultados de absorção, realizou-se uma análise estatística dos resultados individuais obtidos ao final do ensaio de 72 horas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência apresentam-se os comportamentos registrados com a utilização de aditivos plastificantes de fornecedores diferentes em relação a trabalhabilidade, resistência à compressão e absorção de água.

Trabalhabilidade pelo Abatimento do Concreto

Para todos os concretos produzidos avaliou-se a capacidade do aditivo, pelo período de 30 minutos, de manter o abatimento inicial. Após esse período, o abatimento, quando necessário, foi corrigido para a faixa predefinida com água, afetando a relação a/c. Esse comportamento final registrado para cada mistura, quanto à eficiência dos diferentes aditivos plastificantes, pode ser visualizado melhor na Figura 2.

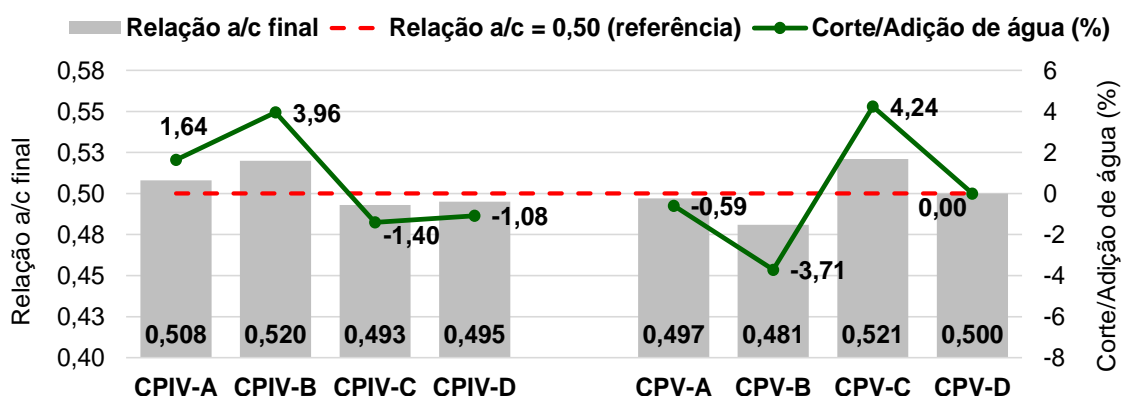


Figura 2. Eficiência dos aditivos plastificantes quanto ao corte de água
Fonte: Autores, 2020.

Os resultados mostraram que há uma eficiência da marca do aditivo inversamente proporcional para cada tipo de cimento estudado. Por ser uma reação química que ocorre entre cimento e aditivo, os dados refletem esse comportamento, atribuído a compatibilidade entre ambos, já que uma marca de aditivo se mostra com desempenho distinto entre os cimentos. Observa-se que o aditivo C teve o melhor desempenho entre os aditivos quando utilizado com o cimento CPIV quanto à redução de água inicial e após 30 minutos, ao contrário de quando utilizado com o cimento CPV, onde foi necessário o acréscimo de 4,24% de água para obter-se um abatimento inicial. Já nos concretos produzidos com o cimento CPV, o aditivo B foi o que obteve maior percentual de corte de água inicial e após 30 minutos entre os aditivos, diferente de quando utilizado com o cimento CPIV, onde demonstrou o pior desempenho entre os aditivos.

O abatimento inicial e aos 30 minutos, assim como o restabelecimento do abatimento proporcionado pelo acréscimo de água podem ser visualizados na figura 3.

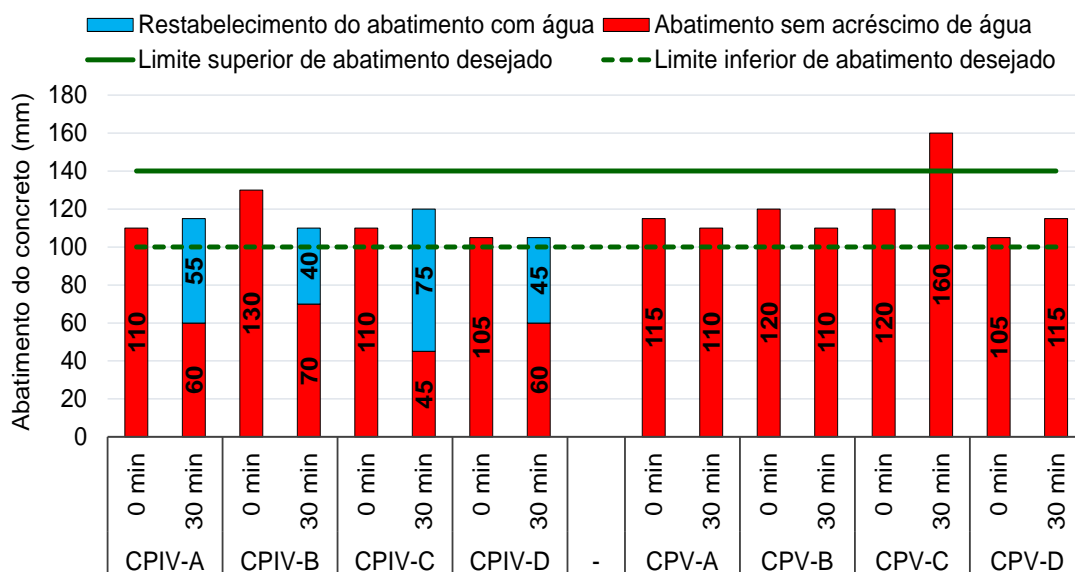


Figura 3. Abatimento e restabelecimento do abatimento pela adição de água para os concretos de cimento tipo CPIV e cimento tipo CPV

Fonte: Autores, 2020.

Após o período de 30 minutos, o comportamento em relação à manutenção do abatimento foi mais eficiente para os concretos produzidos com o cimento tipo CPV, visto ainda que os concretos CPV-C e CPV-D apresentaram ganho de abatimento ao longo desse período de tempo, sem adição suplementar de água, fazendo com que a mistura CPV-C obtivesse um abatimento superior ao preestabelecido. Essa mudança de comportamento pode ser justificada por uma possível interação retardada do aditivo com o cimento, uma vez que essas duas misturas necessitaram das maiores quantidades de água inicial entre os concretos produzidos. Já nos concretos de cimento tipo CPIV foi verificado uma maior perda de abatimento para o concreto produzido com o aditivo C. Esse resultado pode estar relacionado com a quantidade inicial de água, pois foi a mistura que teve o maior corte de água inicial entre os concretos produzidos. Salienta-se que a redução de água é importante, uma vez que a qualidade e o desempenho do concreto estão diretamente ligados a esse fator. Portanto, é de fundamental importância verificar se o bom desempenho ao reduzir a água no estado fresco, proporcionada pela utilização de aditivos, também reflete em melhorias nas propriedades no estado endurecido do concreto.

Resistência à Compressão

A comparação da resistência média à compressão dos concretos, para as 3 idades estudadas, está apresentada nas figuras 4 e 5, respectivamente, para concretos com cimento

Comportamento de Aditivos Plastificantes de Diferentes Fornecedores na Produção de Concreto

CPIV e CPV, exceto para os concretos de cimento tipo CPV com os aditivos A e B aos 28 dias de idade, que devido a problemas na execução do ensaio foram desconsiderados da pesquisa.

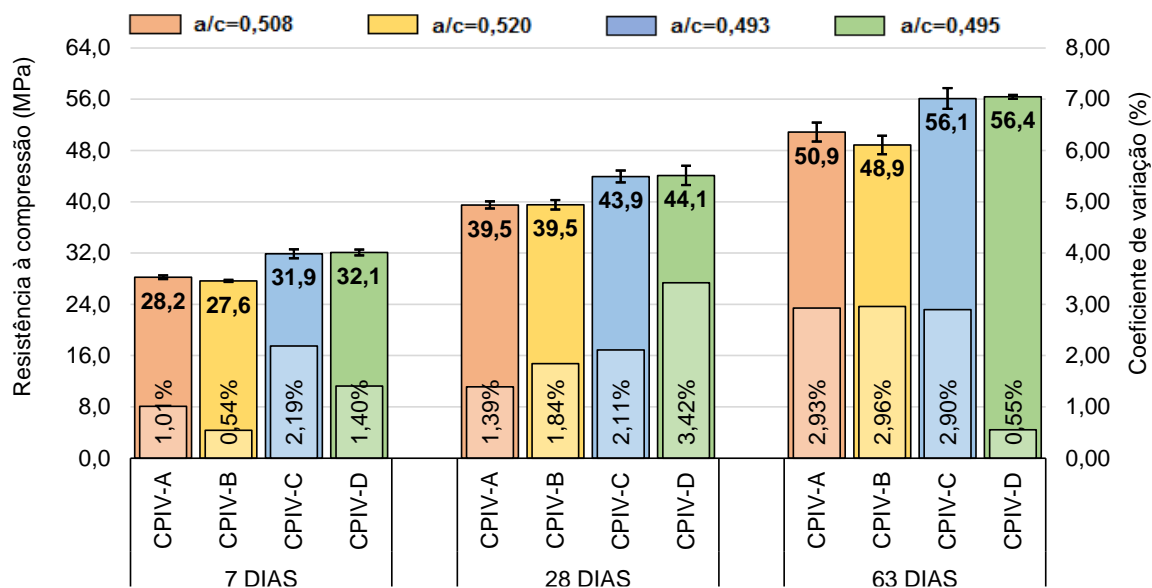


Figura 4. Resistência à compressão média dos concretos com CPIV

Fonte: Autores, 2020.

Observa-se que houve diferenças nas relações água/cimento finais dos concretos, em decorrência da eficiência do aditivo. Então, corroborando com a Lei de Abrams, a literatura (KIRCHHEIM, 2003; POLESELLO, 2012) mostra que quando se altera a relação água/cimento há uma influência significativa sobre a resistência à compressão do concreto. Pela figura 4, observa-se que os resultados de resistência à compressão dos concretos produzidos a partir do cimento tipo CPIV, para os diferentes aditivos plastificantes, coincidem com as relações água/cimento finais, ou seja, aqueles concretos que necessitaram de menor consumo de água apresentaram os maiores valores de resistência à compressão. Já os concretos de cimento tipo CPV (figura 5) não apresentaram um comportamento padrão de resistência à compressão em função da relação água/cimento.

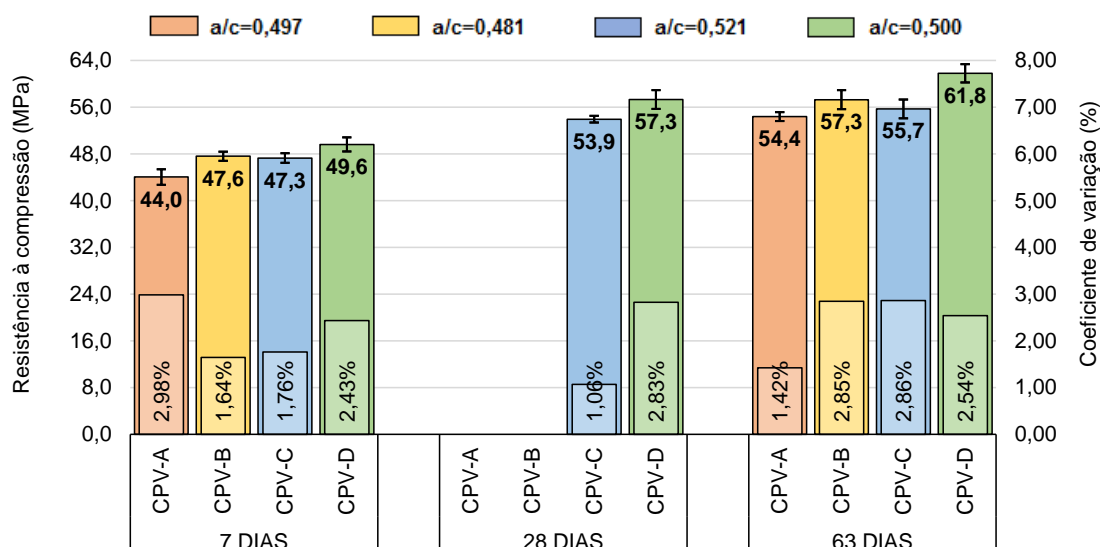


Figura 5. Resistência à compressão média dos concretos com CPV

Fonte: Autores, 2020.

No entanto, como registrado no estudo de Neville (2016), esse comportamento (figura 5) pode ser justificado pela alta sensibilidade dessa propriedade, uma vez que a resistência à compressão é influenciada por todos os vazios presentes no concreto (ar aprisionado, poros capilares, poros de gel e ar incorporado). Logo, a utilização de aditivos, a classe e o tipo de cimento são fatores que podem influenciar na real resistência à compressão do concreto (HELENE; TERZIAN, 1993).

Em função de problemas no ensaio ocorrido aos 28 dias, a ANOVA foi realizada para os resultados de resistência à compressão obtidos aos 63 dias. Os resultados dessa análise estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4. ANOVA da influência da marca do aditivo plastificante e do tipo de cimento sobre a resistência à compressão dos concretos aos 63 dias

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	Valor p	Significativo
Aditivo	159,59	3	53,20	27,83	0,000001	S
Cimento	107,40	1	107,40	56,18	0,000001	S
Aditivo x Cimento	61,24	3	20,41	10,68	0,000424	S

Legenda: SQ - Soma quadrática; GDL - Graus de liberdade; MQ - Média quadrática; F - Valor calculado de F; S - Significativo; NS - Não significativo.

Fonte: Autores, 2020.

Verifica-se que as duas variáveis, marca do aditivo e o tipo de cimento, assim como a interação entre elas, influenciam significativamente sobre a resistência à compressão do

Comportamento de Aditivos Plastificantes de Diferentes Fornecedores na Produção de Concreto

concreto aos 63 dias de idade. A figura 6 ilustra a tendência de comportamento do efeito isolado da marca do aditivo e do tipo de cimento, assim como da interação entre os dois materiais.

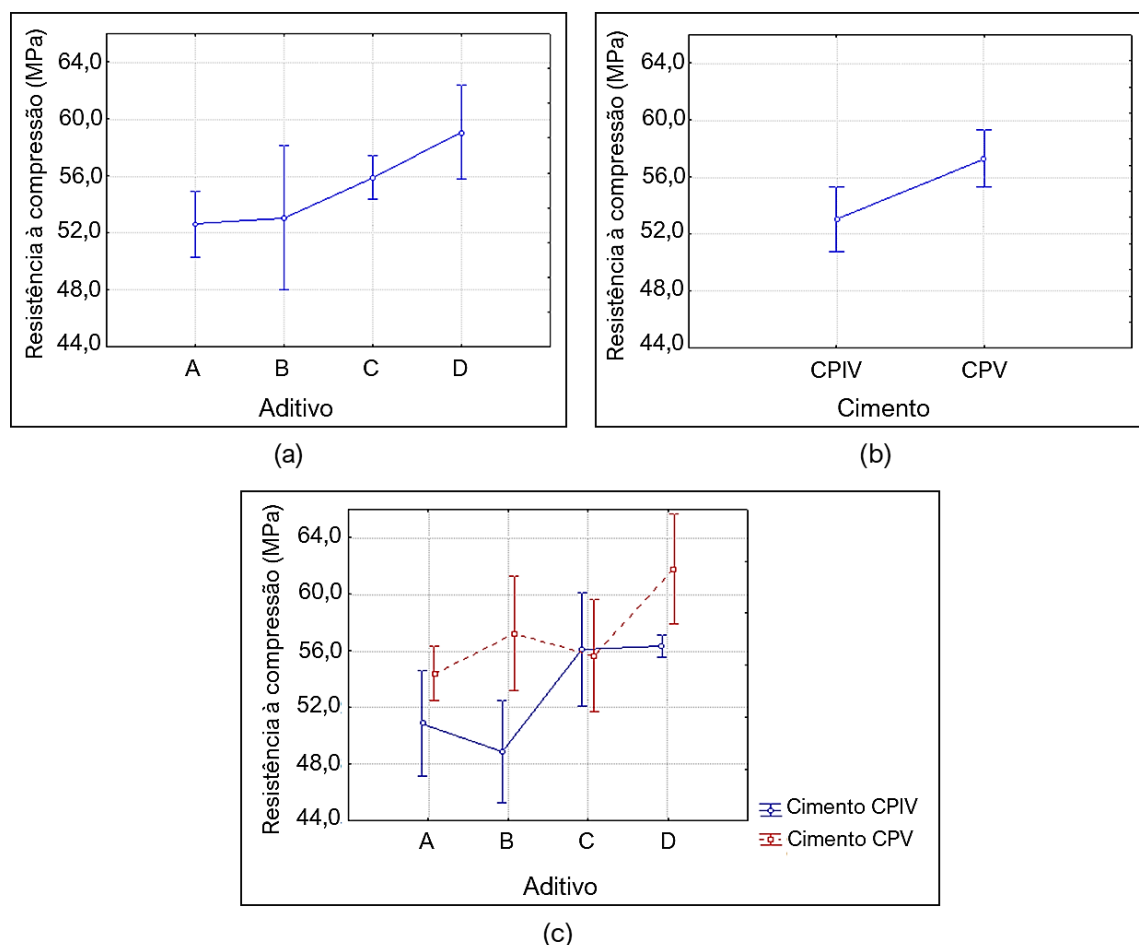


Figura 6. Comportamento dos concretos sobre a resistência à compressão (MPa) aos 63 dias em função: (a) marca do aditivo, (b) tipo de cimento e (c) interação entre o aditivo e o cimento
Fonte: Autores, 2020.

A diferença significativa na resistência à compressão em função do tipo de aditivo (figura 6a) está associada ao efeito de dispersão que cada aditivo proporciona a mistura, melhorando e acelerando o seu processo de hidratação, que resulta na diminuição dos vazios e consequentemente no aumento do desempenho mecânico. Corroborando, Martin (2005) afirma que os diferentes tipos de lignosulfonatos disponíveis no mercado influenciam nas propriedades mecânicas do concreto, uma vez que as diferentes composições dos lignosulfonatos influenciam no poder de dispersão das partículas de cimento. Corrêa *et al.* (2020) avaliando o comportamento de quatro diferentes aditivos plastificantes também registram essa diferença significativa do efeito entre os aditivos utilizados, registrando uma diferença de resistência à compressão de 21,0% aos 28 dias de idade e 25,3% aos 56 dias de idade.

Quanto ao tipo de cimento (figura 6b), visualiza-se um melhor desempenho sobre a resistência à compressão dos concretos produzidos a partir do cimento tipo CPV, em relação ao cimento tipo CPIV. Dessa forma, assim como nos estudos de Kirchheim (2003) e Polesello (2012), constata-se que o tipo de cimento tem influência significativa sobre a resistência à compressão dos concretos, uma vez que a finura e os compostos presentes na constituição de cada tipo de cimento Portland, interferem na sua hidratação e consequentemente na sua resistência mecânica (CENTURIONE; KIHARA, 2005).

Quando analisada a interação entre essas variáveis principais (figura 6c), pode-se verificar a influência significativa do comportamento entre as marcas de aditivos na resistência à compressão para cada cimento estudado, pelo não paralelismo entre as curvas. Observa-se também, que entre os aditivos, o C teve os resultados mais semelhantes de resistência à compressão quando comparados os dois tipos de cimento, diferente do aditivo B, que obteve as maiores variações entre os resultados de resistências à compressão. Dessa forma, diante dos resultados e estudos apresentados, pode-se afirmar que aditivos plastificantes de mesma denominação, porém de marcas diferentes, quando utilizados com diferentes tipos de cimento, apresentam diferenças significativas na resistência à compressão dos concretos aos 63 dias de idade.

Absorção de Água por Capilaridade

Na figura 7 é possível observar o comportamento registrado da absorção de água por capilaridade dos concretos produzidos a partir dos cimentos tipo CPIV e CPV, utilizando aditivos plastificantes de quatro fornecedores diferentes.

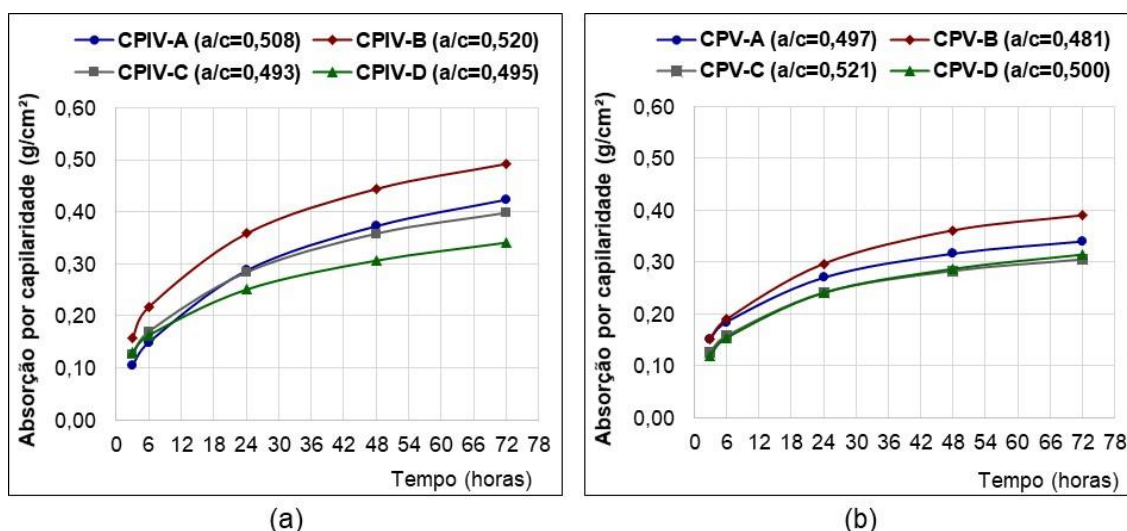


Figura 7. Absorção de água por capilaridade (g/cm²) aos 28 dias dos concretos de cimento tipo: (a) CPIV e (b) CPV
Fonte: Autores, 2020.

Normalmente, o volume ocupado pelos poros do concreto é medido pela absorção. Dessa forma, o acréscimo de massa resultante da absorção capilar pode ser expresso em percentagem sobre a massa seca dos corpos de prova (NEVILLE, 2016). A figura 8 expressa os valores médios obtidos em termos percentuais, da absorção por capilaridade ao final de 72 horas de ensaio

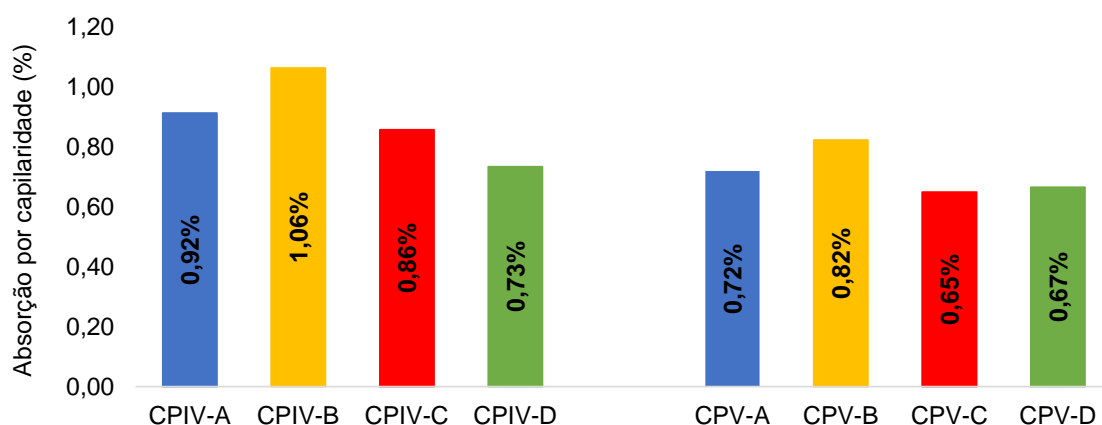


Figura 8. Absorção de água por capilaridade (%) aos 28 dias dos concretos ao final de 72 horas de ensaio
Fonte: Autores, 2020.

Pela figura 8, percebe-se que os concretos com o aditivo B obtiveram os maiores valores de absorção para os dois tipos de cimento. Já os concretos que obtiveram os menores valores de absorção capilar para cada tipo de cimento estudado foram o CPIV-D e o CPV-C. Cabe destacar ainda, que os tipos de aditivo C e D quando combinados com o cimento CP IV apresentaram os menores valores de relação a/c e, conseqüentemente, menor absorção, coincidindo com a baixa

relação a/c. Entretanto, quando combinados com o cimento CP V, os traços com aditivos C e D passaram a ter os maiores valores de a/c, mas mesmo assim apresentaram menores valores de absorção quando comparados com os traços com aditivos A e B de mesmo cimento, contrariando a relação de absorção com relação a/c. Dando indícios de que o tipo de aditivo também influenciou diretamente a absorção.

Ainda, quando comparado a utilização de cada aditivo em função do tipo de cimento, a absorção capilar foi menor para todos os concretos de cimento tipo CPV. Esse comportamento pode estar relacionado com a finura, mais precisamente com o valor da superfície específica (Blaine) dos cimentos utilizados, sendo o cimento tipo CPV mais fino que o cimento tipo CPIV (diferença de 1171 cm²/g). Indo ao encontro de Kirchheim (2003) e de Mehta e Monteiro (2014), que observam que quanto mais fino o cimento, mais rápida será a sua hidratação e a resistência do concreto intensificada. Assim como os autores, Galvão (2003) e Tartuce e Giovannetti (1990) afirmam que esse comportamento deixará o concreto mais resistente à penetração de água.

A tabela 5 apresenta os resultados obtidos pela ANOVA.

Tabela 5. ANOVA da influência da marca do aditivo plastificante e do tipo de cimento sobre a absorção de água por capilaridade dos concretos aos 28 dias

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	Valor p	Significativo
Aditivo	0,043	3	0,014	4,288	0,021161	S
Cimento	0,035	1	0,035	10,308	0,005454	S
Aditivo x Cimento	0,005	3	0,002	0,526	0,670926	NS

Legenda: SQ - Soma quadrática; GDL - Graus de liberdade; MQ - Média quadrática; F - Valor calculado de F; S - Significativo; NS - Não significativo.

Fonte: Autores, 2020.

Os resultados da ANOVA mostram que a marca do aditivo e o tipo de cimento são variáveis que influenciam significativamente sobre a absorção de água por capilaridade. Já a interação entre as duas variáveis não mostrou influência significativa. A figura 9 ilustra a tendência de comportamento do efeito isolado da marca do aditivo e do tipo de cimento, respectivamente.

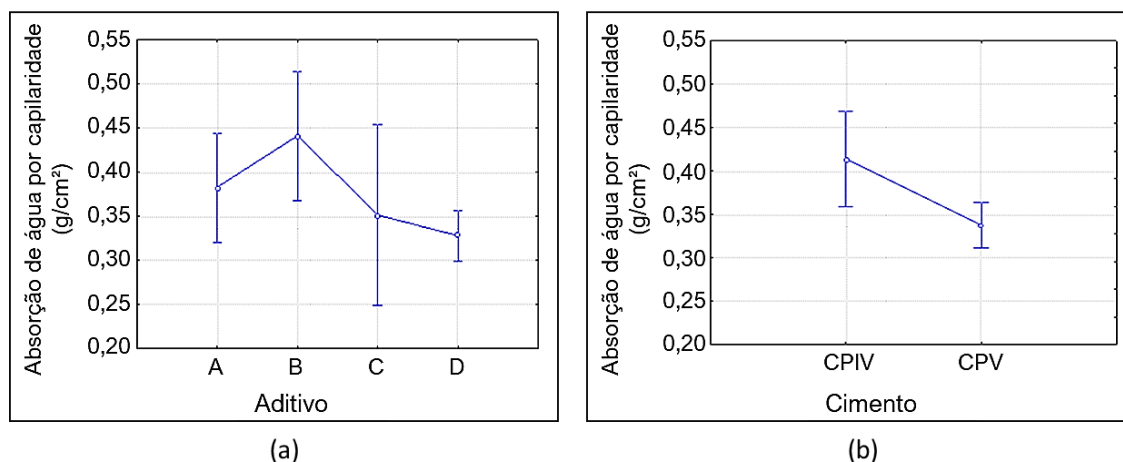


Figura 9. Comportamento dos concretos sobre a absorção por capilaridade (g/cm^2) aos 28 dias em função: (a) marca do aditivo e (b) tipo de cimento

Fonte: Autores, 2020.

Como esperado, e já verificado através de análise de variância (ANOVA) em outros estudos (KIRCHHEIM, 2003; POLESELLO, 2012), pela figura 9b fica evidente a influência significativa do tipo de cimento sobre a absorção de água por capilaridade. Ainda, nota-se que a variação nos resultados de absorção entre os dois tipos de cimentos foi maior para os concretos de cimento tipo CPIV.

Já em relação a marca do aditivo (figura 9a), pode-se relacionar a variação da absorção capilar dos concretos com o teor de ar incorporado pela adição de cada aditivo, uma vez que autores como Aïtcin (2000) e Lyra (2010), afirmam que os altos teores de açúcares na composição dos aditivos à base de lignosulfonatos podem gerar incorporação de ar às misturas. Corroborando, Romano (2013) diz que além das terminações e canais capilares, a porosidade no estado endurecido apresenta elevada correlação com o teor de ar incorporado à mistura no estado fresco.

Para Mehta e Monteiro (2014), a taxa de absorção de água por capilaridade é uma maneira de avaliar a durabilidade potencial de um concreto, pois quanto menor for essa absorção, maior será a dificuldade de íons agressivos do meio penetrarem no concreto. Dessa forma, após a análise estatística dos resultados de absorção capilar e com o fato de ocorrer uma redução da absorção nos concretos, quando comparado cada aditivo em função do tipo de cimento utilizado, evidencia-se que os concretos produzidos a partir do cimento tipo CPV, em especial com os aditivos C e D, podem apresentar melhor desempenho em relação à sua durabilidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de aditivos plastificantes permite modificar de maneira desejada algumas propriedades do concreto. Porém, as diferentes marcas e composições químicas desses aditivos podem apresentar diferentes comportamentos quando incorporados ao concreto, tanto no estado fresco como endurecido. Dessa forma, avaliando a influência da utilização de diferentes aditivos plastificantes e sua compatibilidade com dois tipos de cimento Portland, através desta pesquisa, registrou-se que a marca do aditivo exerce influência significativa sobre a resistência à compressão e a absorção de água por capilaridade, tanto para concretos produzidos com cimento CPIV como cimento CPV. Fica evidente a necessidade de estudos laboratoriais para avaliar o real comportamento dos aditivos plastificantes antes de sua utilização prática na produção de concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AÏTCIN, P. C. Concreto de Alto Desempenho. São Paulo: Editora Pini, 2000. 667 p.
- AÏTCIN, P. C.; FLATT, J. R. Science and technology of concrete admixtures. 1. ed. Cambridge: Editora Elsevier, 2016. 570 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- _____. NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- _____. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- _____. NBR 7212. Execução de concreto dosado em central – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- _____. NBR 9779. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- _____. NBR 11768-1. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- _____. NBR 15900-1. Água para amassamento do Concreto – Parte I: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- _____. NBR 16697. Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- _____. NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.
- _____. NBR NM 45. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- _____. NBR NM 52. Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- _____. NBR NM 53. Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção da água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- _____. NBR NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

Comportamento de Aditivos Plastificantes de Diferentes Fornecedores na Produção de Concreto

CENTURIONE, S. L.; KIHARA, Y. O cimento Portland. In: Geraldo Cechella Isaia (ed.). Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 295-322.

CORRÊA, M. S.; BRITO, P. G. M.; CUNHA, R. R.; NETTO, A. D. R.; ALENCAR, A. F. R.; JÚNIOR, F. G. Q. Estudo comparativo de desempenho mecânico e operacional entre aditivos redutores de água. Brazilian Journal of Development. Curitiba, v. 6, n. 8, p. 61695-61708 aug. 2020.

EL-GAMAL, Safaa M. A.; FAWZIA, M. Al-Nowaiser; ASMAA, O. Al-Baity. Effect of superplasticizers on the hydration kinetic and mechanical properties of Portland cement pastes. Journal of Advanced Research, Amsterdã, v. 3, p. 119-124, 8 mai. 2012.

FERNANDES, Franciele Martins. Influência da adição de aditivo plastificante e água para manter o abatimento ao longo do tempo na resistência à compressão do concreto. 2011. 19 f. Trabalho de conclusão (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma, 2011.

FRACALOSSI, R. A. R. Aditivos à base de policarboxilatos: influência nos tempos de pega e na manutenção do abatimento em pastas cimentícias de cimento Portland. 2011. 68 f. Trabalho de Conclusão (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2011.

FREITAS JR, J. A. Aditivos e adições minerais para concreto. 2017. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/d/db/2_Aditivos_2018.pdf>. Acesso em: 08 set. 2018

GALVÃO, J. C. A. Estudo das propriedades dos concretos confeccionados com cimento CP V-ARI e CP II-F 32, sob diferentes temperaturas de mistura e métodos de cura. 2003. 95 f. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

HELENE, P.; TERZIAN, P. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo: Editora Pini, 1993. 350 p.

KIRCHHEIM A. P. Concreto de cimento portland branco estrutural: avaliação da carbonatação e absorção capilar. 2003, 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2003.

LIMA, C. I. V.; COUTINHO, C. O. D.; AZEVEDO, G. G. C.; BARROS, T. Y. G.; TAUBER, T. C.; LIMA, S. F. de. Concreto e suas inovações. Cadernos de Graduação, Tiradentes, v. 1, n. 1, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/view/1285>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

LIMA, M. V. V.; FILHO, A. C. F.; SILVA, A. J. C. Um comparativo em níveis de consistência de aditivos plastificante e superplastificante em função do tempo de mistura. Revista Gestão e Gerenciamento. n° 2. pg 53-61. 2018.

LYRA, Jorge Santos. Estudo da Influência de Policarboxilato Comercial na Hidratação, Reologia e Físico-Química de Superfície de Cimento. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MACIEL, L. D.; COELHO, A. R.; PEREIRA, H. R. S. Estudo das propriedades do concreto convencional com aditivo ou adição de água para correção de consistência. Revista Matéria, v.25, n.4, 2020.

MARTIN, J. F. M. Aditivos para Concreto. In: Geraldo Cechella Isaia (ed.). Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 381-406.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 912 p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

PASSOS, A. A.; BONATO, M. M. Efeitos da utilização de aditivos na produção de concretos convencionais. In: Anais do 60º Congresso Brasileiro de Concreto. Foz do Iguaçu. Set 2018.



POLESELLO, Eduardo. 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. 2012, 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2012.

ROMANO, Roberto César de Oliveira. Incorporação de Ar em Materiais Cimentícios Aplicados em Construção Civil. 2013. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TAMAKI, L. Solução bombeada. Revista Técnica, ed. 176, novembro. 2011.

TARTUCE, R.; GIOVANNETTI, E. Princípios Básicos do Concreto de Cimento Portland. 1. ed. São Paulo: IBRACON/PINI, 1990. 107 p.