

Uso de aditivos retardadores de pega em concreto com agregados da cidade de Teófilo Otoni

Use of set retarders in concrete with aggregates from the city of Teófilo Otoni

Uso de retardadores de fraguado en concretos con agregados de la ciudad de Teófilo Otoni

Recebido: 27/09/2022 | Revisado: 09/10/2022 | Aceitado: 11/10/2022 | Publicado: 15/10/2022

Cibele Aparecida de Moraes Rocha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4495-1380>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: cibele.moraes@ufvjm.edu.br

Karine de Oliveira Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0005-5688>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: karine.oliveira@ufvjm.edu.br

Gisele Monteiro de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8163-2469>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: gisele_monteiro13@hotmail.com

Antônio Jorge de Lima Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9560-6213>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: antonio.gomes@ufvjm.edu.br

Resumo

Este trabalho buscou analisar a variação de resistência e trabalhabilidade dos traços de concretos com a presença de aditivo químico retardador de pega, em sua dosagem mínima e máxima com agregados de Teófilo Otoni. Foram confeccionados 81 corpos de prova de concreto, que posteriormente foram submetidos ao ensaio de consistência, teor de ar incorporado e resistência à compressão axial com idades de rupturas de 7, 14 e 28 dias. Os aditivos modificadores de pega tem o intuito de proporcionar uma melhor trabalhabilidade e manuseio ao concreto, como é o caso do aditivo retardador de pega que inibe a hidratação do cimento de modo a retardar a pega inicial do concreto. Foram definidos três traços T1 (a/c 0,90 pobre em cimento), T2 (a/c 0,70 intermediário em cimento) e T3 (a/c rico em cimento), tendo valores teóricos esperados de 18 MPa, 25 MPa e 40 MPa, respectivamente. O melhor resultado obtido foi com o traço T3AR7 que aos 28 dias alcançou 51,27 MPa de resistência. Foram observados ganhos significativos de resistência do concreto com aditivo retardador de pega, atingindo resistência 37,09% superior comparando-o com T1SA, 17,96% comparando-o com T2SA e 11,86% com T3SA, em sua dosagem mínima. Na dosagem máxima atingiu desempenho superior de 44,79% com o T1AR7, 34,65% com o T2AR7 e 15,60% com o T3AR7, que obteve resistências de 32,71 MPa, 44,22 MPa e 51,27 MPa, respectivamente. De modo geral, o aditivo retardador em sua dosagem mínima obteve um melhor desempenho em relação a resistência e custo benefício nos concretos.

Palavras-chave: Retardadores de pega; Aditivos químicos; Concreto; Agregados.

Abstract

This work sought to analyze the variation of strength and workability of concrete mixes with the presence of a chemical additive that retards setting, in its minimum and maximum dosage with Teófilo Otoni aggregates. Eighty-one concrete specimens were made, which were later subjected to the consistency test, incorporated air content and axial compressive strength with rupture ages of 7, 14 and 28 days. Set-modifying additives are intended to provide better workability and handling to concrete, such as the set-retarding additive that inhibits cement hydration in order to delay the initial setting of the concrete. Three traits were defined T1 (w/c 0.90 low in cement), T2 (w/c 0.70 intermediate in cement) and T3 (w/c rich in cement), with expected theoretical values of 18 MPa, 25 MPa and 40 MPa, respectively. The best result was obtained with the T3AR7 mix, which at 28 days reached 51.27 MPa of strength. Significant gains in strength of concrete with setting retarding additive were observed, reaching 37.09% higher strength compared to T1SA, 17.96% compared to T2SA and 11.86% to T3SA, in its minimum dosage. At maximum dosage, it achieved superior performance of 44.79% with T1AR7, 34.65% with T2AR7 and 15.60% with T3AR7, which obtained resistances of 32.71 MPa, 44.22 MPa and 51.27 MPa, respectively. In general, the retarding additive in its minimum dosage obtained a better performance in relation to strength and cost-effectiveness in concrete.

Keywords: Set retarders, Chemical additives; Concrete; Aggregates.

Resumen

Este trabajo buscó analizar la variación de resistencia y trabajabilidad de mezclas de concreto con presencia de un aditivo químico retardador de fraguado, en su dosificación mínima y máxima con agregados de Teófilo Otoni. Se realizaron 81 probetas de concreto, las cuales fueron posteriormente sometidas al ensayo de consistencia, contenido de aire incorporado y resistencia axial a compresión con edades de ruptura de 7, 14 y 28 días. Los aditivos modificadores del fraguado están destinados a brindar una mejor trabajabilidad y manejo al concreto, como el aditivo retardador del fraguado que inhibe la hidratación del cemento para retrasar el fraguado inicial del concreto. Se definieron tres caracteres T1 (a/c 0,90 bajo en cemento), T2 (a/c 0,70 intermedio en cemento) y T3 (a/c rico en cemento), con valores teóricos esperados de 18 MPa, 25 MPa y 40 MPa, respectivamente. El mejor resultado se obtuvo con la mezcla T3AR7, que a los 28 días alcanzó 51,27 MPa de resistencia. Se observaron ganancias significativas en la resistencia del concreto con aditivo retardador de fraguado, alcanzando un 37,09% de resistencia superior al T1SA, un 17,96% al T2SA y un 11,86% al T3SA, en su dosificación mínima. A dosis máxima logró un rendimiento superior de 44,79% con T1AR7, 34,65% con T2AR7 y 15,60% con T3AR7, que obtuvieron resistencias de 32,71 MPa, 44,22 MPa y 51,27 MPa, respectivamente. En general, el aditivo retardante en su mínima dosificación obtuvo un mejor desempeño en cuanto a resistencia y rentabilidad en el concreto.

Palabras clave: Retardadores de fraguado; Aditivos químicos; Hormigón; Áridos.

1. Introdução

Os aditivos retardadores de pega de concreto são conhecidos como agentes de controle de hidratação ou de pega retardada, sendo usados para retardar a pega inicial de composições de cimento, principalmente quando ocorrem condições difíceis de manuseio ou entrega em local de trabalho distantes do local da produção.

Os retardadores de pega são indicados também para aumentar o tempo de bombeamento de uma composição de cimento e evitar o espessamento ou pega prematura de uma área a ser concretada. A maioria dos retardadores de pega agem como redutores de água de baixo nível e também podem ser usados para arrastar um pouco de ar para as composições de cimento.

Por ser o concreto um dos materiais mais utilizados no setor da construção civil estima-se que o seu consumo é de 11 bilhões de toneladas por ano, daí a importância de se buscarem aditivos que aperfeiçoem o desenvolvimento das qualidades dos concretos. Uma das principais dificuldades com o concreto tradicional é a manutenção da sua trabalhabilidade até que sejam efetuadas as operações de transporte, lançamento e adensamento na obra.

Dessa forma, as novas tecnologias aplicadas à construção civil têm possibilitado uma melhor adequação do concreto às obras, principalmente através da incorporação de aditivos químicos ao concreto. De acordo com Kurtz & Hoffmann (2016), os aditivos químicos tem o intuito de alterar as propriedades físicas e mecânicas do concreto, proporcionando-o maior fluidez, coesão e resistência.

A ABNT NBR 11768-1:2019, expõe os principais tipos de aditivos: aceleradores e retardadores de pega, plastificantes, superplastificantes, incorporadores de ar, polifuncionais e outros. Os aditivos que tem maior utilização são os redutores de água e inibidores de hidratação que proporciona ao concreto melhor trabalhabilidade com a manutenção da resistência mecânica.

Os aditivos retardadores de pega, ou inibidores de hidratação, possuem a função de retardar o tempo da pega inicial e final do concreto, de modo a possibilitar um melhor controle logístico para sua aplicação em obras. De acordo com Neville (2016), os retardadores tem uma excelente aplicação em regiões de altas temperaturas, onde a hidratação do cimento ocorre de forma mais rápida e tendo conseqüentemente um rápido início de pega do concreto. Os retardadores auxiliam na aumento do tempo de pega, proporcionando um melhor controle e trabalhabilidade do concreto além de possibilitar um maior tempo para transporte, lançamento e adensamento do concreto.

Diante da relevância desse material e de suas inovações tecnológicas, percebe-se a importância de ampliar os conhecimentos referentes ao tema, de forma a se obter um estudo mais aprofundado sobre os benefícios da utilização em concretos da região de Teófilo Otoni. Nesse contexto, o estudo com aditivo químico retardadores de pega pode possibilitar

conhecimentos sobre os concretos da região, de modo a proporcionar concretos com maior plasticidade, melhor desempenho mecânico e novas tecnologias.

O presente artigo objetiva determinar a resistência à compressão axial nos concretos com aditivo retardador de pega com agregados de Teófilo Otoni, comparando-os com o concreto referência (sem aditivos) de modo a analisar o comportamento dos concretos com a incorporação do aditivo, avaliando também a interferência da geologia e agregados nos concretos. A partir disso, deu-se a confecção dos concretos, realização dos ensaios e análise dos resultados.

2. Metodologia

A metodologia desta pesquisa pode ser classificada quanto à sua abordagem como pesquisa quali-quantitativa, quanto à natureza como pesquisa pura e aplicada, quanto à análise de dados como pesquisa descritiva, quanto aos procedimentos como pesquisa bibliográfica e experimental.

Quanto à abordagem, a pesquisa quali-quantitativa tem o intuito de “interpretar as informações quantitativas por meio de símbolos numéricos e os dados qualitativos mediante a observação, a interação participativa e a interpretação do discurso dos sujeitos (semântica)” (Knechtel, 2014, p. 106). Arcanjo et al. (2021) apresenta que nas pesquisas quantitativas, os resultados são expressos em termos numéricos, enquanto na pesquisa qualitativa, são apresentados através da descrição verbal. Assim, essa pesquisa também pode ser considerada como sendo de natureza aplicada, já que está vinculada à obtenção de conhecimentos voltados para aplicação prática, diante a produção do concreto.

No presente estudo, a partir da problematização foi realizada a pesquisa bibliográfica para embasar em estudos anteriores referente ao tema, a pesquisa experimental através de ensaios práticos em laboratório voltados para a busca de inovações na área de concretos e aditivos químicos para a região e a pesquisa descritiva como registro e análise dos dados obtidos com a experimentação.

De acordo com Dmitruk (2012), o tipo de pesquisa descritiva “[...] estuda fatos e fenômenos físicos e humanos sem que o pesquisador interfira, utilizando técnicas de observação, registro, análise e correlação de fatos em manipulá-los”. A busca de conhecimento e informações em livros, artigos, teses, sites e outros materiais bibliográficos, para desenvolvimento do tema o que também o caracteriza como uma pesquisa bibliográfica, foi uma etapa importante para fundamentar a pesquisa.

Segundo Barros e Lehfeldo (2000, p. 30), pesquisa bibliográfica é uma modalidade de pesquisa que “[...] se efetua tentando resolver um problema ou adquirir conhecimentos a partir do emprego predominante de informações advindas de material gráfico, sonoro e informatizado”, complementando nos seguintes termos: A organização e uso de pesquisa permite que o discente obtenha a formação e consiga criar postura científica, encaminha para o autodidatismo, quando realizada independentemente.

Tumelero (2019), afirma que a pesquisa experimental pode ser definida como a manipulação prática de diversas variáveis da problematização do estudo de forma a testar hipóteses referente à pesquisa. De acordo com Fonseca (2002, p. 11-2) “a ciência é uma forma particular de conhecer o mundo”. Assim, se caracteriza por um conjunto de modelos de observação, identificação, descrição, investigação experimental e explanação teórica de fenômenos (Tumelero, 2019).

A pesquisa experimental, norteou-se pela ABNT NBR 11768-1: 2019 que aborda os requisitos necessários para a utilização dos aditivos de forma a manter a consistência do concreto, estabelecendo a relação água/cimento, dosagens, método de aplicação, dentre outros. De forma a se atingir o objetivo da pesquisa foi realizado a fabricação de concreto referência (sem aditivo) e concreto com a presença do aditivo retardador, para determinação da resistência à compressão axial nas idades de rompimento de 7, 14 e 28 dias.

2.1 Materiais e Métodos

A NBR 11768-1:2019, estabelece alguns requisitos para a utilização dos aditivos químicos em concretos, de modo a manter a consistência do concreto ou a relação água/cimento.

Nesta pesquisa, optou-se por manter a consistência do concreto em função da trabalhabilidade, verificando as resistências nas idades de 7, 14 e 28 dias através de ensaios de compressão axial. Foram confeccionados dois tipos de concreto, o referência (sem aditivos) e o concreto com aditivo retardador de pega, sendo três amostras para cada idade de rompimento, totalizando 81 corpos de provas. O método de dosagem utilizado foi o ACI (American Concrete Institute), estabelecendo as seguintes relações água/cimento (a/c's): 0,90 (a/c pobre em ligante), 0,70 (a/c intermediário em ligante), 0,50 (a/c rico em ligante), determinados como traços T1, T2 e T3, respectivamente.

Para as análises, utilizou-se o Laboratório da Concreteira Mix Mattar em Teófilo Otoni. Na produção dos concretos, empregou o CPIII RS Cauê da linha da Intercement, tendo como agregado miúdo a areia artificial VSI e agregado graúdo a brita 1, ambos materiais de Teófilo Otoni produzidos pela empresa Mix Mattar.

A água utilizada é proveniente do poço artesiano da concreteira. O aditivo retardador de pega empregado, Recon Bras C é da marca Aditibras, empresa localizada no Rio de Janeiro e presente há mais de dez anos no mercado da construção civil.

A dosagem do aditivo foi feita de acordo com a recomendação do fabricante, do concreto com aditivo retardador na dosagem mínima (100 mL a cada 100 kg de cimento) e na dosagem máxima (700 mL a cada 100 kg de cimento).

A metodologia de pesquisa aplicada pode ser dividida em cinco etapas, sendo elas: a caracterização dos materiais constituintes, dosagem do concreto, produção e realização dos ensaios de consistência dos concretos, cura e ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova.

2.1.2 Caracterização dos materiais constituintes

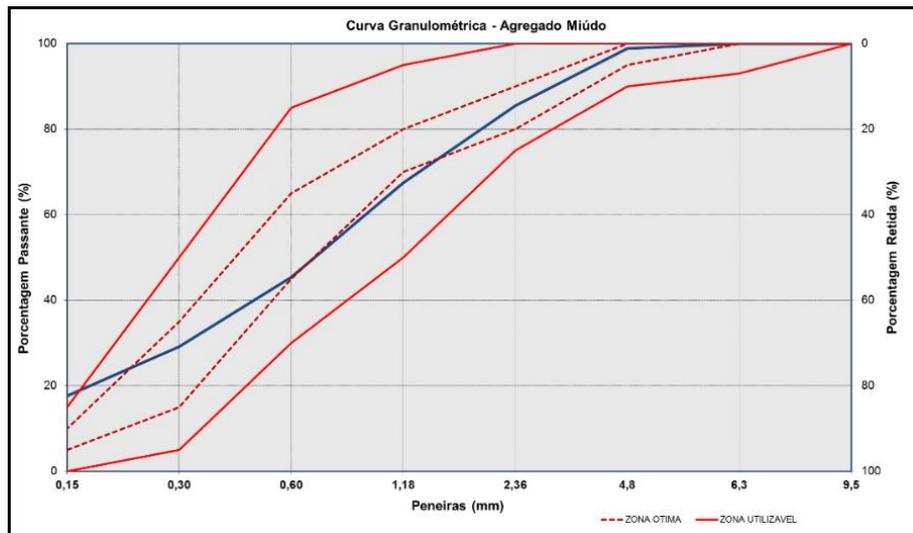
O cimento utilizado para a pesquisa tratou-se de um cimento Portland de alto forno (CPIII) da marca Cauê, fornecido pela concreteira Mix Mattar, que segue as especificações da NBR 16697:2018 – Cimento Portland – Requisitos, no que se refere a resistência do cimento Portland, onde o cimento apresenta índice de finura médio de 0,1% e massa específica de 3,05 g/cm³.

O aditivo químico utilizado foi o retardador de pega da Aditibras Recon Bras C. Este aditivo apresenta as seguintes características: aparência líquida azul de baixa viscosidade, sendo composto de carboidratos e isentos de cloretos, peso específico de 1,10 g/cm³, segundo dados do fabricante.

Os agregados foram caracterizados com relação à sua granulometria, massa específica, determinação do material fino passante na peneira 75µm, por lavagem dos agregados miúdos, conforme específica a ABNT NBR 7211:2009 (Errata 1:2019) – Agregados para concreto.

O agregado miúdo utilizado foi a areia artificial VSI de Teófilo Otoni, sem matéria orgânica com 32% de material fino, no entanto o agregado graúdo apresenta percentual de material fino de 5,83% de acordo com dados do Grupo Pedreira Mattar (2019), o que contribui para o aumento da resistência do concreto. A região da cidade de Teófilo Otoni tem sua geologia com predominância pré-cambriana e a principal formação geológica pertence ao complexo Juiz de Fora, aonde estão compreendidas as formações Tumiritinga e Tonalito São Vitor (Gomes, Gomes & Gomes, 2014). A Figura 1 abaixo, apresenta a curva granulométrica da areia artificial VSI de Teófilo Otoni.

Figura 1 – Curva granulométrica da areia artificial VSI de Teófilo Otoni.

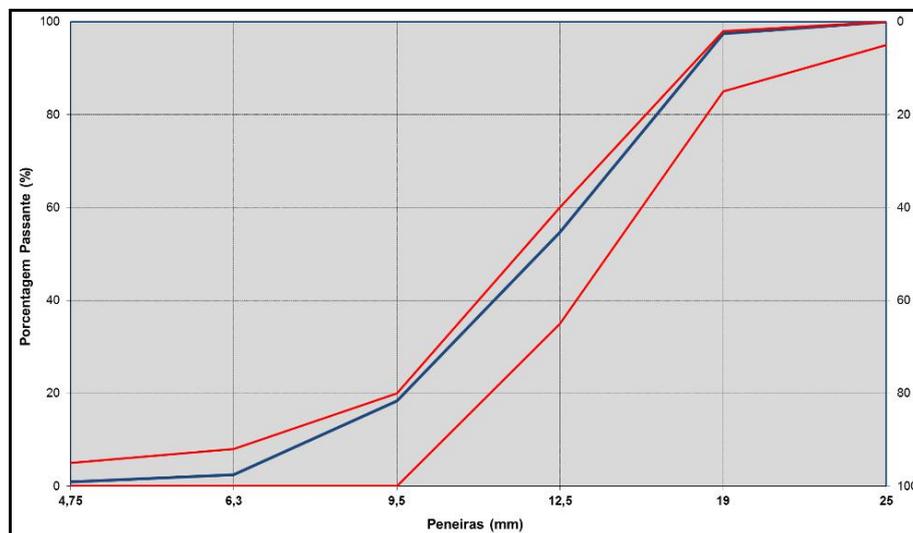


Fonte: Autores (2022).

Na Figura 1 pode-se observar que a curva apresentada em vermelho demonstra a distribuição da areia, como pode ser observado essa distribuição ficou dentro das curvas de zona ótima para uso da dosagem do concreto com módulo de finura de 2,50.

A Figura 2, apresenta a curva granulométrica da brita 1 de Teófilo Otoni. A curva granulométrica da brita 1, demonstra que o módulo de finura está dentro da zona ótima para utilização em concreto da região.

Figura 2 – Curva granulométrica da brita 1 de Teófilo Otoni.



Fonte: Autores (2022).

2.2 Dosagem do concreto

Os ensaios laboratoriais foram realizados no Laboratório da Concreteira Mix Mattar na cidade de Teófilo Otoni/MG. Produzindo-se corpos de provas de concretos utilizando do concreto referência - sem aditivos (TSA) e concreto com aditivo retardador de pega (TAR). Durante a produção do concreto foi utilizado o aditivo retardador de pega Recon Bras C da empresa Aditibras, em sua dosagem mínima e máxima.

A finalidade da fabricação dos concretos foi determinar a resistência à compressão axial do concreto referência

(dosagem sem aditivos) e com aditivo químico retardadores de pega, sendo que sua aplicação teve o intuito de melhorar as propriedades mecânicas do concreto de modo a proporcionar uma boa trabalhabilidade e resistência mecânica.

Através desta análise, foi possível identificar o comportamento do aditivo no concreto e possibilitar uma comparação com o concreto referência, além de contribuir para a análise da influência dos minerais presentes na região no desempenho dos concretos. Para basear a análise foram realizados ensaios de caracterização dos materiais utilizados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dosagem ACI (American Concrete Institute).

DOSAGEM ACI				
Classe: S160 –Slump 190 mm		Teor de argamassa: 53%		A/C's: 0,50; 0,70; 0,90
Areia VSI	Brita 1	Cimento CPII RS	Variação volume	Ar incorporado
$\mu= 2,646$	$\mu=2,632$	$\mu=3,150$	$< \pm 2,5\%$	$\leq 3\%$

Fonte: Autores (2022).

Para a formulação da dosagem de concreto foi utilizado o método ACI da *American Concrete Institute*, utilizando para os cálculos as características dos materiais constituintes. Para os ensaios, optou-se por concreto com classe de *Slump* S160-190 mm, teor de argamassa de 53%, fator água cimento, respectivamente, A/C's: 0,50, 0,70 e 0,90 com variação final de volume em $\leq 2,5\%$ e teor de ar incorporado $\leq 3\%$, conforme exposto na Tabela 1.

2.3 Produção e realização dos ensaios

Após as etapas para a dosagem do concreto, o mesmo é apresentado sendo utilizado o traço em massa, conforme pode-se observar na Tabela 2. A determinação do abatimento (*Slump Test*) consiste no abatimento desejado para o ensaio de tronco de cone, sendo que o escolhido foi o de classe S160 de abatimento de $160 \leq a 220$ mm, sendo fixado o *Slump Test* de 190 mm. De acordo com a ABNT NBR 16889:2020, esse abatimento fornece um concreto para elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto. Os traços foram identificados da seguinte maneira: T1 (a/c 0,90), T2 (a/c 0,70) e T3 (a/c 0,50), a fim de melhor entendimento apresenta-se a Tabela 2.

Tabela 2 - Traços em massa utilizados para fabricação dos corpos de prova.

Composições	Fck (MPa)	Consumo de cimento (Kg/m ³)	Fator a/c (l/Kg)	Traço em volume	Traço em massa
T1	18	256	0,90	1: 3 1/5 : 5	1: 4,03: 4,46
T2	25	329	0,70	1: 2 1/5 : 3	1: 2,90: 3,46
T3	40	460	0,50	1: 1 1/5 : 2	1: 1,79: 2,47

Fonte: Autores (2022).

A produção do concreto ocorreu inicialmente com a secagem dos agregados miúdos e graúdos, posteriormente o material foi separado e pesado de acordo com cada a/c definido, sendo utilizadas balanças da marca Solotest do laboratório da concreteira, sendo a primeira para pesos acima de 20 quilogramas e a segunda para pesos inferiores.

Produziram-se os concretos em betoneira, sendo inicialmente misturado os materiais por 5 minutos e logo após

retirado o primeiro abatimento, realizar o ajuste no concreto e misturar na betoneira por mais 15 minutos e posteriormente verificar o abatimento do concreto e caso esteja dentro da classe estabelecida realizar a moldagem dos corpos de provas, caso contrário realizar novos ajustes até atingir a de hidratação e pega da pasta de cimento ideal com os agregados.

O método utilizado para verificar a trabalhabilidade do concreto foi o ensaio de abatimento de tronco de cone realizado de acordo com as especificações previstas na ABNT NBR 16889:2020.

Na Figura 3, observa-se a pesagem dos materiais para a produção do concreto.

Figura 3 - Pesagem dos materiais.



Fonte: Autores (2022).

O ensaio de abatimento de cone (*Slump Test*), foi executado da seguinte maneira: após misturar o concreto fabricado também com uma concha metálica, foi posicionado a chapa de base e o tronco de cone, sendo inserido uma primeira camada de concreto para posteriormente ser efetuado 25 golpes com a haste de ferro. Em seguida repetiu-se o processo com a segunda e terceira camada de concreto. Logo após o completo adensamento do concreto levantou-se o molde lentamente, colocando-o ao lado do concreto para realizar a medição do abatimento do concreto, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Ensaio de abatimento do concreto.



Fonte: Autores (2022).

Além dos ensaios de abatimento, o concreto é retirado da betoneira e colocado em um carrinho de mão onde é misturado com a concha a realização do ensaio do teor ar incorporado, conforme a Figura 5, determinado pela ABNT NBR 16887:2020 – Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico, que estabelece os procedimentos para a

realização do ensaio. Após o ensaio de determinação do ar no concreto e a moldagem dos corpos de prova é verificada a variação no volume final do concreto, sendo necessário obter um percentual de $< \pm 2,5\%$ de perda do concreto fabricado. A medição é realizada através do uso de uma trena para encontrar a altura da sobra e realizar o cálculo do volume.

Figura 5 - Ensaio de determinação do teor de ar no concreto fresco.



Fonte: Autores (2022).

A consistência do concreto foi medida pelo método do ensaio do índice de consistência *Slump Test*, conforme norma ABNT NBR 16889:2020. A Tabela 3 apresenta o resultado do ensaio de abatimento do concreto referência e concreto com aditivo retardador de pega em sua dosagem mínima (100 ml a cada 100 kg de cimento) e dosagem máxima (100 ml a cada 100 kg de cimento), sendo identificados os traços em T1 (a/c 0,90), T2 (a/c 0,70) e T3 (a/c 0,50).

Tabela 3 - Ensaio de abatimento dos concretos.

Composição	Identificação	Abatimento (mm)	Teor de Ar incorporado (%)
Concreto Referência	T1SA	195	0,80%
	T2SA	195	0,70%
	T3SA	190	0,96%
Concreto com aditivo retardador dosagem mínima (100 mL a cada 100 kg de cimento)	T1AR1	187	0,90%
	T2AR1	190	1,10%
	T3AR1	190	0,90%
Concreto com aditivo retardador dosagem máxima (700 mL a cada 100 kg de cimento)	T1AR7	190	0,80%
	T2AR7	195	0,85%
	T3AR7	190	0,90%

Fonte: Autores (2022).

2.4 Cura e ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova

Os procedimentos para a cura do concreto são prescritos pela norma ABNT NBR 5738:2015, onde os corpos de prova foram desformados após as 24 horas da moldagem. Foram identificados e armazenados em uma câmara úmida, permanecendo no local de cura até a data de ensaio de compressão axial.

Na Figura 6, observa-se os corpos de prova imersos na câmara úmida para cura.

Figura 6 - Cura úmida por imersão dos concretos.



Fonte: Autores (2022).

Após o tempo de cura de 7, 14 e 28 dias os CP's foram retirados da câmara úmida, em seguida retificados, e submetidos ao ensaio de resistência à compressão na prensa elétrica digital da Solocap, modelo CI de 100/200 toneladas, conforme a norma ABNT NBR 5739:2018, obtendo-se a resistência característica F_{cm} (resistência média à compressão do concreto) em MPa.

O rompimento dos corpos de prova ocorre de acordo com as idades, sendo que a idade do concreto se inicia a partir do momento de produção do concreto. Nas Figura 7, observa-se o processo de retificação e rompimento dos corpos de prova de concreto.

Figura 7 - Retificação dos corpos de prova de concreto e Ensaio de resistência à compressão dos CP's.



Fonte: Autores (2022).

O ensaio determinado pela ABNT NBR 16607:2018 - Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega, que estabelece o método para a determinação do concreto com a utilização do aparelho Vicat não foi possível ser realizado devido ao fato do laboratório não possuir esse equipamento para a realização do ensaio. Realizou-se apenas observação do comportamento da pega dos aditivos. Na próxima seção serão dispostos os resultados obtidos no ensaio.

3. Resultados e Discussão

Os resultados nos ensaios de compressão axial dos corpos de prova de concreto referência (sem aditivos) e concreto com retardador de pega em sua dosagem mínima e máxima, são apresentados na abaixo. A Tabela 4 apresenta a composição do concreto, a relação água/cimento, o Fcm (resistência média à compressão do concreto), Fck (Resistência característica à compressão do concreto) nas idades de 7, 14 e 28 dias.

Tabela 4 - Resultados obtidos através dos ensaios de compressão dos corpos de prova cilíndricos.

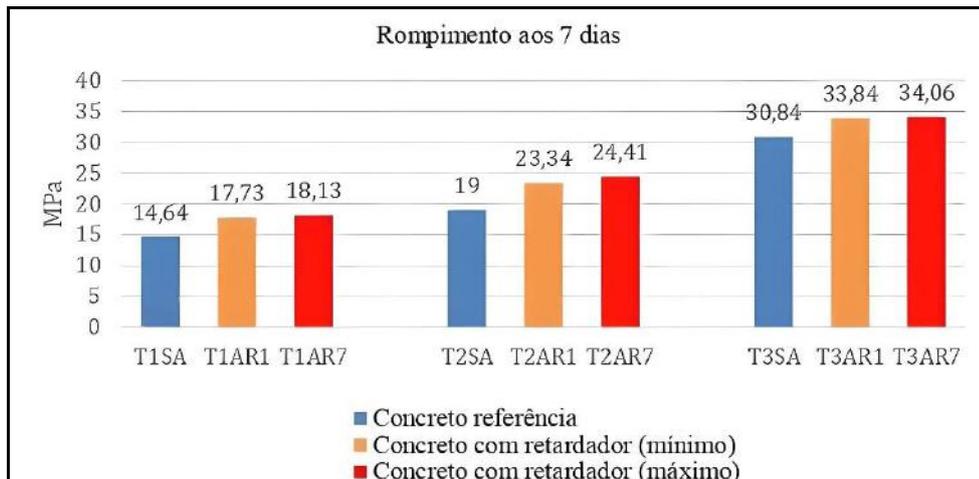
Composição	A/C (água/cimento)	Fck (MPa)	Resistências Fcm (MPa)		
			7 dias	14 dias	28 dias
T1SA	0,90	18	14,64	21,10	22,59
T1AR1			17,73	24,79	30,97
T1AR7			18,13	25,28	32,71
T2SA	0,70	25	19,0	28,83	32,84
T2AR1			23,34	32,17	38,74
T2AR7			24,41	39,31	44,22
T3SA	0,50	40	30,84	40,77	44,35
T3AR1			33,84	43,06	49,61
T3AR7			34,06	44,05	51,27

Fonte: Autores (2022).

De modo a proporcionar um melhor entendimento os resultados apresentados na Tabela 4 foram expressos graficamente, nas Figuras 8, 9 e 10.

Na Figura 8, observam-se os resultados dos concretos rompidos aos 7 dias, onde é possível verificar que houve ganho de resistência na idade inicial, principalmente nos traços T3SA, T3AR1 e T3AR7, que obtiveram 18,13 MPa, 24,41 MPa e 34,06 MPa, respectivamente. No entanto o traço T3AR7 obteve o melhor desempenho alcançando 34,06 MPa de resistência aos 7 dias, sendo superior ao referência em 10,44%. O traço T1AR7 obteve 18,13 MPa aos 7 dias, sendo superior 23,83%, comparado ao T1SA (referência) com o valor de 14,64 MPa.

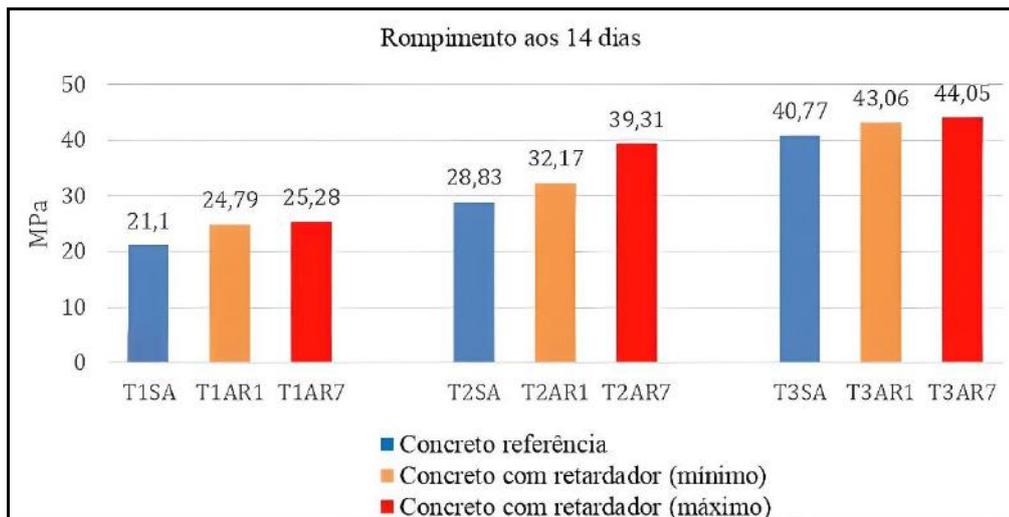
Figura 8 – Resultados dos concretos aos 7 dias.



Fonte: Autores (2022).

A Figura 9 apresenta os resultados obtidos dos concretos rompidos aos 14 dias.

Figura 9 – Resultados dos concretos aos 14 dias.



Fonte: Autores (2022).

Diante dos dados da Figura 9, que os concretos com aditivo retardador de pega obtiveram um melhor desempenho em sua dosagem máxima e mínima em relação ao concreto referência. O traço T3AR7 obteve o melhor desempenho aos 14 dias alcançando 44,05 MPa, tendo um crescimento de 29,33% comparado com seu resultado aos 7 dias.

Aos 14 dias percebe-se que os concretos com aditivo retardador obtiveram aumento significativo de resistência, o que pode ser explicado pela melhor hidratação das partículas do cimento proporcionando a formação de uma estrutura mais homogênea e com menor tendência à porosidade, retração e baixa incorporação de ar no concreto, de modo a elevar sua qualidade e resistência principalmente nas idades finais de cura.

Conforme apresentado na Tabela 4, o concreto com a presença do aditivo retardador de pega obteve baixos valores de ar incorporado, que variou entre 0,80% a 1,10%.

Na Figura 10, apresentam-se os resultados da resistência à compressão dos concretos obtidos aos 28 dias.

Figura 10 – Resultados dos concretos aos 28 dias.



Fonte: Autores (2022).

Os traços de concreto referência alcançaram as seguintes resistências aos 28 dias: 22,59 MPa com o T1SA, 32,84 MPa com o T2SA e 44,35 MPa com o T3SA.

Os concretos com aditivo retardador em sua dosagem mínima obtiveram os seguintes resultados: T1AR7 atingiu 30,97 MPa, T2AR7 com 38,74 MPa e T3AR7 com 49,61 MPa. Ao compararmos os valores, obteve-se um desempenho superior ao T1SA em 37,09%, 17,96% com o T2SA e 11,86% com o T3SA. Observa-se que aumentou a resistência dos concretos com menores teores de cimento, onde o aditivo proporcionou uma melhora na estruturação das partículas de cimento com os agregados.

Portanto ao analisar as composições de concreto e os teores de cimento, T1 apresentou consumo de cimento de 256 kg/m³, o T2 apresentou consumo de 329 kg/m³, e o T3 apresentou consumo de 460 kg/m³. Entre as composições de a/c 0,50 e a/c 0,70 houve um aumento no consumo de cimento de 131 kg/m³ ocasionando em um aumento na resistência de 10,12 MPa aos 28 dias, cujo resultado do T2SA que foi de 22,59 MPa.

Constata-se aos 28 dias que os traços com aditivo retardador em sua dosagem máxima, obtiveram resultados superiores ao concreto referência e ao concreto com aditivo retardador (dosagem mínima), atingindo 51,27 MPa de resistência com o traço T3AR7, sendo esta a maior resistência obtida dentre todos os concretos.

A incorporação do aditivo retardador de pega, possibilitou uma redução na quantidade de água do traço e uma melhor hidratação do cimento que por ocorrer de forma mais lenta contribui para que ocorra um melhor ajuste das partículas do concreto e consequentemente um aumento em sua resistência.

Devido a essa forma de ação do aditivo retardador, há a dispersão de íons de cálcio presentes no aditivo e os ânions do cimento, como os íons aluminato, que possibilita uma dissolução mais rápida dos constituintes do cimento em sua fase inicial de hidratação (Mehta & Monteiro, 1994).

A partir dos dados da Figura 10, observa-se que os maiores ganhos de resistência dos concretos com aditivos ocorreram, nos traços com menores teores de cimento, o que pode ser explicado pela presença da areia artificial VSI que contém alto teor de pó de quartzo que preenche um maior número de vazios do concreto, juntamente com o aditivo retardador que proporciona a redução de água e menores teores de ar incorporado.

De acordo com Storck (2018), os concretos com dosagens superiores de aditivo retardador de pega apresentam variação significativa na resistência mecânica final quando comparado ao concreto referência, atingindo cerca de 8% com utilização de areia média.

De acordo com Fabro et al., (2011), o formato dos grãos do agregado britado, granulometria, teor de pulverulento

interfere na resistência mecânica dos concretos. A areia VSI por ser proveniente da britagem no britador do tipo giroférico, apresenta grãos mais arredondados do que o da areia natural, de forma a possibilitar uma maior fluidez do concreto.

A presença da areia VSI, pode ter influenciado no alto desempenho proporcionado pelo aditivo retardador de pega do estudo, que obteve um aumento em torno de 20% ao referência.

4. Conclusão

Foram obtidos os seguintes resultados com o concreto referência: T1SA alcançou resistência à compressão de 22,59 MPa, T2SA atingiu 32,84 MPa e T3SA alcançou 44,35 MPa.

Após a análise dos resultados pode-se verificar que o concreto com a presença de aditivo de retardador de pega propiciou uma melhor trabalhabilidade e resistência ao concreto. As composições T1AR1, T2AR1 e T3AR1 com aditivo retardador na dosagem mínima atingiu resistências à compressão de 30,97 MPa, 38,74 MPa e 49,61 MPa.

As amostras de concreto com aditivo retardador apresentaram um desempenho percentual superior ao referência em sua dosagem mínima, sendo 15,5% para o traço T1AR1, 15,23% para o traço T2AR1 e 10,61% para o traço T3AR1.

As composições de concreto com aditivo retardador em sua dosagem máxima obtiveram um aumento de resistência de 18,35% para o traço T1AR7, 25,74% para o traço T2AR7 e 13,70% para o traço T3AR7. Observa-se que houve um ganho de resistência maior nos concretos com um menor consumo de cimento, que pode ser justificado pela redução de água no traço proporcionado pelo aditivo retardador e a presença da areia VSI no concreto, que possui um alto teor de pó de quartzo e contribui com o preenchimento dos vazios do concreto.

Além da influência da areia VSI, os retardadores modificam o crescimento e a morfologia dos cristais do ligante de modo a retardar a hidratação inicial proporcionando a formação de uma estrutura física melhor, com menor tendência à porosidade, retração e baixa incorporação de ar no concreto, elevando o ganho das resistências nas idades finais.

Comprovou-se que o aditivo químico retardador de pega Recon Bras C da Aditibras tem boa aplicação nos concretos de Teófilo Otoni, de modo a viabilizar a aplicação em concretos e argamassas, em situações consideradas adversas, além de possibilitar uma maior variedade na composição da mistura e em redução de materiais, principalmente água. O aditivo pode contribuir para a redução no custo da mão de obra necessária para o adensamento, na redução do consumo de cimento e na melhoria da trabalhabilidade, lançamento e adensamento do concreto da região de Teófilo Otoni.

Comprova-se que os concretos produzidos com aditivo retardador de pega se mantiveram dentro dos requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 11768-1: 2019, que prevê IM (Índice de multiplicação) aos 28 dias $\geq 1,05$, pois todas as composições apresentaram IM acima do valor estabelecido.

Recomenda-se que em pesquisas futuras com concretos com aditivos retardadores de base química diferente da utilizada, além da realização de ensaios de tempo de pega, rompimentos para determinar a resistência à compressão em 6h, 24h, 3 dias, 7 dias e 28 dias de cura.

Referências

- ABNT. (2015). NBR 5738: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.
- ABNT. (2007). NBR 5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.
- ABNT. (2009). NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.
- ABNT. (2019). NBR 11768-1: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.
- ABNT. (2018). NBR 16607: Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.

- ABNT. (2020). NBR 16887: Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.
- ABNT. (2020). NBR 16889: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.
- Arcanjo, T. S.; SantoS, K. de O.; Lima, P. H. A.; Souza, M. C. de .; GomeS, A. J. de L. .; Cabral, S. C. .; Franco, M. L. .; Pompermayer, R. de S. .; Almeida, I. C. . & Silva, C. F. da C. R. da . Content marketing as a tool to disseminate concrete innovations. *Research, Society and Development*. 10(10), ISSN 2525-3409. DOI: 10.33448/rsd-v10i10.18538.
- Barros, A. & Lehfeld, N. (2000). *Fundamentos da metodologia científica*. Ed. Makron Books.
- Dmitruk, H. B. (2012). *Cadernos Metodológicos: diretrizes do trabalho científico*. Chapecó: Argos, 175-194..
- Fabro, F., Gava, G. P., Grigolli, H. B. & Meneghetti, L. C. (2011). *Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto*. 4(2), 191-212.
- Fonseca, J. J. S (2002). *Metodologia da pesquisa científica*. Fortaleza: UEC. Apostila.
- Gomes, S. L. J., Gomes, L. J. A. & Gomes, S. P. (2014). Planejamento Ambiental com base na geologia e sua aplicação no desenvolvimento urbano do município de Teófilo Otoni. In: *XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas*, Poços de Caldas – Minas Gerais.
- Knechtel, M. R. (2014). Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática dialogada. Curitiba: *Intersaberes*.
- Kurtz, C. & Hoffmann, J. C. (2016). Aditivos químicos redutores de água para concreto de cimento Portland. *Revista Caminhos*. 23, 9-29.
- Mattar, G.P. (2019). *Produtos e serviços*. Teófilo Otoni. <http://grupopedreiramattar.com.br>>.
- Mehta, P. K. & Monteiro, P. J. M (1994). *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: Pini.
- Neville, A. M. (2016). *Propriedades do concreto*. (5 Ed.). Bookman.
- Storck, D. H. (2018). *Influência do aditivo retardador de pega no estado fresco e endurecido do concreto*. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade do Vale do Taquari, Lajeado.
- Tumelero, N. (2019). *Pesquisa aplicada: material completo, com exemplos e características* <https://blog.mettzer.com/pesquisa-aplicada>.