

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ AUGUSTO VENÂNCIO DA SILVA RAMOS

**EFEITOS DA CORREÇÃO DO ABATIMENTO DO CONCRETO
DOSADO EM CENTRAL EM SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2019

JOSÉ AUGUSTO VENÂNCIO DA SILVA RAMOS

**EFEITOS DA CORREÇÃO DO ABATIMENTO DO CONCRETO
DOSADO EM CENTRAL EM SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel, do curso
de Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Savaris

TOLEDO
2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 196

Efeitos da Correção do Abatimento do Concreto Dosado em Central em suas Propriedades Mecânicas

por

José Augusto Venâncio da Silva Ramos

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10:20h do dia 12 de junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado APROVADO.

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra
(UTFPR – TD)

Eng. Civil Juliano Sezar de Andrade
(Concresuper)

Prof. Dr. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, à minha família, em especial aos meus queridos pais, Jarmes Venâncio Ramos e Janete Moraes da Silva Venâncio e meus irmãos José Gustavo Venâncio da Silva Ramos e Júlio César da Silva Venâncio Ramos, que sempre me incentivaram no decorrer dos meus estudos, sempre estando presentes, dando apoio e amparo nos momentos difíceis, sendo todos diretamente responsáveis por todas as minhas conquistas.

Presto gratidão também ao meu orientador, Professor Dr. Gustavo Savaris e à toda a comunidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Toledo, por todo apoio e conhecimento transmitido durante o curso e na elaboração deste trabalho.

Agradeço todo o pessoal da Coneresuper, em especial ao Engenheiro Juliano Sezar de Andrade, pelo apoio desde o início deste trabalho, contribuindo com os materiais e com informações técnicas pertinentes, além do companheirismo durante a realização do estágio que culminou na ideia da realização desta pesquisa.

Agradeço aos laboratoristas da UTFPR Wilson Leobet e Marcos Vinicius Schlichting pelo auxílio prestado na execução dos ensaios e ao Professor Dr. Gustavo Dalposso pelo auxílio quanto aos tratamentos estatísticos.

Por fim, quero agradecer aos grandes amigos que fiz durante o curso, em especial a Jaqueline Imelda Henz, André João Miola, Lucio da Silva Gonçalves, Gustavo Henrique Warcken, Bruno Tohoru Shiotani, Marcelo Luiz da Silva, Luiz Gustavo Cavazzini, Leonardo Henrique Dalzotto, Gustavo Naoto Onishi, João Guilherme Balancieri, André Rorato e Yan Carlos do Nascimento que foram de grande ajuda na realização dos ensaios.

À toda minha família, que sempre me apoiou, esteve em meu lado em todos os momentos e não mediu esforços para tornar tudo isso possível. Aos meus amigos, pelos momentos compartilhados de alegrias e companheirismo em momentos bons e ruins. Aos professores, que auxiliaram para a conquista desse sonho, pela partilha de conhecimento e pelos ensinamentos para a vida.

RESUMO

VENÂNCIO DA SILVA RAMOS, José Augusto. **Efeitos da correção do concreto dosado em central em suas propriedades mecânicas**. 2019. 71 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2019.

Nas centrais dosadoras de concreto, é comum que não seja adicionada toda água do traço já na central, sendo parte dessa adição realizada na obra para correção da trabalhabilidade. Fatores como a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, condições dos agregados e agitação da betoneira são os principais responsáveis pela redução da trabalhabilidade, pois podem causar evaporação de parte da água de amassamento. O procedimento regulamentado pela norma NBR 7212 (ABNT, 2012) só permite a adição de água até o limite especificado pelo traço. Na prática, essa adição de água muitas vezes não segue controle rigoroso, ficando a critério da experiência do motorista. Essa situação pode trazer problemas ao desempenho do concreto, caso o fator água/cimento ultrapasse o estipulado para o traço, podendo causar perda da resistência e homogeneidade da mistura. Os aditivos superplastificantes surgem como uma alternativa para a correção do abatimento, diminuindo os efeitos prejudiciais ao concreto. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo comparar a adição de água com a utilização de aditivo do tipo *Mid Range* para correção da trabalhabilidade do concreto, verificando os impactos nas suas características mecânicas dentro e além dos limites de tempo estipulados pela NBR 7212 (ABNT, 2012). Para tanto, foi realizado ensaio de perda de abatimento, simulando o processo de transporte e entrega do concreto dosado em central, por uma duração de 4 horas, anotando-se a quantidade de água ou aditivo adicionada, fatores ambientais e moldados corpos de prova para determinação da resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias. Os resultados demonstraram pouca variação na manutenção do abatimento entre os métodos e uma menor variação na resistência à compressão em concretos cujo restabelecimento foi realizado com aditivo. Também foi possível constatar que o tempo e o agente para correção do abatimento são significativos na resistência à compressão. Com base no estudo realizado, considera-se que é possível a utilização do concreto mesmo após o tempo limite estipulado pela norma, para os materiais e condições ambientais específicos do mesmo, caso utilize-se aditivos, e reitera-se a recomendação da norma de utilização de não ultrapassar o fator água/cimento estipulado para o traço.

Palavras-chave: Concreto. Abatimento. Superplastificante. Fator água/cimento. Resistência à compressão.

ABSTRACT

VENÂNCIO DA SILVA RAMOS, José Augusto. **Effects of the retempering on the mechanical properties of the ready-mixed concrete.** 2019. 71 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2019.

In the ready-mixed concrete plants, it is usual not to add all the water of the concrete trace already in the plant, being part of this addition carried out in the building site, to correct the workability. Factors such as ambient temperature, relative humidity, aggregate conditions and agitation of the concrete mixer are mainly responsible for the reduction of workability, as they can cause evaporation of part of the kneading water. The procedure regulated by the standard NBR 7212 (ABNT, 2012) only allows the addition of water up to the limit specified by the concrete trace. In practice, this addition of water often does not follow strict control, depending on the driver's experience. This situation can cause problems in concrete performance, if the water/cement factor exceeds the stipulated for the concrete trace, being able to cause loss of the resistance and homogeneity of the mixture. The superplasticizer admixture appears as an alternative for the retempering, reducing the harmful effects to the concrete. Thus, the present work aims to compare the addition of water with the addition of a Mid Range admixture to regain the workability of the concrete, verifying the impacts on its mechanical characteristics within and beyond the limit time stipulated by NBR 7212 (ABNT, 2012). For this purpose, a slump loss and retempering test was performed, simulating the transportation and delivery process of the ready-mix concrete, for a duration of 4 hours, noting the amount of water or admixture added, environmental factors and compressive strength. The results showed little variation in the slump retention between the methods and a smaller variation in the resistance in concrete whose retempering process was carried out with admixture. It was also possible to verify that the time and the retempering agent are significant in the compressive strength. Based on the study carried out, it is possible to use the concrete even after the limit time stipulated by the Brazilian standard, for the specific materials and environmental conditions of the study cited above, if admixtures are used, and it reinforces the recommendation of the standard of not exceeding the water/cement ratio stipulated by the concrete trace.

Keywords: Concrete. Slump. Superplasticizer. Water/cement ratio. Compressive strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Equipamento para a realização do ensaio de abatimento de tronco de cone (SLUMP test)	19
Figura 2 - Hidratação do grão de cimento Portland	21
Figura 3 - Representação da resistência à compressão do concreto, curva de Gauss.	23
Figura 4 - Proporções volumétricas dos componentes antes (a) e depois (b) da hidratação do cimento	24
Figura 5 - Lei de Abrams	25
Figura 6 - Moléculas de PCE na superfície do grão de cimento.....	29
Figura 7 - Estrutura química de um aditivo a base de PCE.....	29
Figura 8 - Mecanismo de ação dos PCE: impedimento estérico	30
Figura 9 - Dispersão: rejeição eletroestérica	30
Figura 10 - Central de produção de concreto	32
Figura 11 - Tempo para transporte e descarga do concreto usinado segundo ABNT NBR 7212:2012.....	34
Figura 12 - Lançamento de concreto usinado em bloco de fundação	34
Figura 13 – Curva granulométrica do agregado graúdo.....	39
Figura 14 – Curva granulométrica do agregado miúdo	40
Figura 15 - Fluxograma do procedimento experimental	42
Figura 16 – Corpos de prova submetidos à cura em água saturada com cal	44
Figura 17 – Prensa utilizada para o rompimento dos corpos-de-prova	44
Figura 18 – Abatimento do concreto em função do tempo	47
Figura 19 – Abatimento no instante t_{60} para o concreto corrigido com água (a) e aditivo (b).....	47
Figura 20 – Abatimento no instante t_{75} para o concreto corrigido com água (a) e aditivo (b).....	48
Figura 21 - Abatimento no instante t_{225} para o concreto corrigido com água (a) e aditivo (b).....	48
Figura 22 - Abatimento no instante t_{240} para o concreto corrigido com água (a) e aditivo (b).....	49
Figura 23 – Variação da temperatura ambiente e umidade relativa do ar durante a produção do concreto.....	50

Figura 24 – Resistência à compressão dos concretos aos 28 dias.....	56
Figura 25 – Teste T de <i>Tukey</i> para o concreto cujo restabelecimento do abatimento foi realizado com água	59
Figura 26 - Grupos com médias estatisticamente iguais para correção com água ...	60
Figura 27 – Teste T de <i>Tukey</i> para o concreto cujo restabelecimento do abatimento foi realizado com aditivo	61
Figura 28 - Grupos de médias estatisticamente iguais para correção com aditivo....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência à compressão aos 28 dias do concreto C35 cujo SLUMP foi restabelecido para 15 cm por diferentes métodos de correção ao longo de 4 h de mistura.	36
Tabela 2 - Características do cimento CP II – F 40.....	38
Tabela 3 – Massa específica, massa específica aparente e absorção para o agregado graúdo.....	39
Tabela 4 – Massa específica aparente do agregado miúdo.....	40
Tabela 5 - Características do aditivo polifuncional Muraplast FK 121.....	41
Tabela 6 - Características do aditivo MC-Techniflow 520.....	41
Tabela 7 - Traço do concreto em massa.....	42
Tabela 8 – Taxa de perda do abatimento dos concretos cuja correção foi feita com água e com aditivo.....	46
Tabela 9 – Água adicionada para o restabelecimento do abatimento.....	49
Tabela 10 – Teor de aditivo adicionado ao concreto.....	50
Tabela 11 – Massa específica do concreto fresco.....	51
Tabela 12 – Resistência à compressão do concreto aos 7 dias.....	52
Tabela 13 – Resistência à compressão do concreto aos 28 dias.....	52
Tabela 14 – Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com água e tempo t_0	53
Tabela 15 - Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com água e tempo t_{60}	53
Tabela 16 - Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com água e tempo t_{120}	53
Tabela 17 - Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com água e tempo t_{150}	54
Tabela 18 - Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com água e tempo t_{195}	54
Tabela 19 - Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com água e tempo t_{240}	54
Tabela 20 - Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com aditivo e tempo t_0	55
Tabela 21 - Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com aditivo e tempo t_{60}	55
Tabela 22 - Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com aditivo e tempo t_{120}	55
Tabela 23 - Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com aditivo e tempo t_{150}	55
Tabela 24- Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com aditivo e tempo t_{195}	56
Tabela 25 - Teste T de <i>Chauvenet</i> para concreto dosado com aditivo e tempo t_{240}	56
Tabela 26 – Análise do tipo ANOVA de dois fatores para as resistências à compressão.....	57

Tabela 27 – Análise do tipo ANOVA de dois fatores para as resistências à compressão.....	58
Tabela 28 – Grupos com médias estatisticamente iguais para correção com água..	60
Tabela 29 – Relação entre grupos e fator água/cimento para correção com água ...	60
Tabela 30 – Grupos de médias estatisticamente iguais para correção com aditivo ..	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/c	Fator água/cimento
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABESC do Brasil	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABNT/CB-18	Cimento, Concreto e Agregados
ANOVA	Análise de Variância
C ₂ S	Belita
C ₃ A	Aluminato de Cálcio
C ₃ S	Alita
C ₆ AS ₃ H ₃₂	Etringita
Ca(OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
CP II – F 40	Cimento Portland composto com Filler
CP	Corpo-de-prova de concreto
CV	Coefficiente de Variação
C-S-H	Silicatos de Cálcio Hidratados
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
PCE	Éter Policarboxilato
SPC	Sobre o Peso de Cimento
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

$f_{ck,est}$	Resistência Característica Estimada do Concreto à Compressão
f_{ck}	Resistência Característica do Concreto à Compressão
f_{cj}	Resistência à Compressão aos j dias
E_{ci}	Módulo de Elasticidade do Concreto
f_c	Resistência à Compressão
$f_{c,m}$	Resistência Média do Concreto à Compressão
H_0	Hipótese nula
α	Teor de Argamassa
H	Relação água/materiais secos
s	Desvio Padrão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVO GERAL	15
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 CONCRETO	17
2.1.1 Trabalhabilidade e Consistência	18
2.1.1.2 Perda do Abatimento.....	20
2.1.2 Hidratação do Cimento	20
2.1.3 Resistência à Compressão	22
2.1.4 Fator água/cimento	24
2.1.5 Módulo de Elasticidade	26
2.2 ADITIVOS.....	27
2.2.1 Classificação	27
2.2.2 Aditivos Redutores de Água do tipo <i>Mid Range</i>	28
2.3 CONCRETO DOSADO EM CENTRAL	31
2.3.1 Produção do Concreto Dosado em Central	32
2.3.2 Entrega e Recebimento do Concreto	33
2.2.3 Correção do Abatimento do Concreto	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1 MATERIAIS E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS	38
3.2 CORREÇÃO DA TRABALHABILIDADE.....	42
3.4 ENSAIO COM O CONCRETO ENDURECIDO	44
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1. ABATIMENTO DO CONCRETO	46

4.2. INFLUÊNCIA DA CORREÇÃO DA TRABALHABILIDADE NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO	51
4.2.1. Massa específica	51
4.2.2. Resistência à compressão	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICE A – Granulometria dos agregados	70

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do setor da construção civil no Brasil nas últimas décadas veio acompanhado também da popularização do uso do concreto usinado. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2013), entre 2005 e 2012, enquanto o consumo de cimento avançou cerca de 80%, o aumento do concreto preparado em centrais foi de 180%.

Parte desse crescimento se deve às inúmeras vantagens deste tipo de produção em relação à tradicionalmente realizada em obra, tais como: economia de tempo, homogeneidade da mistura, facilidade de lançamento, apoio com caminhões do tipo bomba para vencer grandes desníveis, além do alto controle tecnológico.

Na prática, não é recomendado transportar o concreto com trabalhabilidade elevada, pois, devido à capacidade do caminhão, freadas, grandes declividades, há a possibilidade de o concreto transbordar caso o mesmo esteja muito fluído. Nas centrais dosadoras, é comum que não seja adicionada toda a água de amassamento definida no traço ao concreto ainda na central. Esse procedimento se deve ao fato de que as condições ambientais e dos materiais podem causar absorção ou perda de parte da água, principalmente por evaporação, durante o transporte, diminuindo a fluidez do mesmo, e necessitando adição na obra antes do lançamento do concreto.

Outra situação recorrente é a permanência do caminhão betoneira por longos períodos de tempo no canteiro de obras, o que também contribui para que sejam necessárias sucessivas correções do abatimento. Caso isso ocorra, a correção geralmente é realizada utilizando a água disponível em um reservatório no caminhão betoneira e, caso esta não seja suficiente, faz-se necessário o retorno à usina para redosagem.

O procedimento usual é o motorista do caminhão completar a dosagem na obra. Essa quantidade de água, na maioria das vezes, não segue um controle rígido, ficando a critério da experiência do motorista e da sua análise visual do aspecto do concreto. Segundo Teixeira e Pelisser (2007), essa adição de água ao concreto aumenta o fator água/cimento (a/c), causando vários problemas de desempenho no concreto, como perda de resistência e homogeneidade da mistura. Também possibilita diversos problemas de deterioração no concreto, devido ao aumento da porosidade, prejudicando sua durabilidade.

O uso de aditivos plastificantes e superplastificantes surge como uma alternativa para uma maior manutenção da trabalhabilidade e aumento da fluidez, aliado a uma redução do fator água/cimento, sendo a recomendação da NBR 7212 (ABNT, 2012) que a correção do abatimento seja realizada da utilização desse recurso.

Sendo assim, o presente estudo visa avaliar o comportamento do concreto em relação à sua resistência à compressão, quando utilizada água para a correção do abatimento dentro e além do tempo especificado pela NBR 7212 (ABNT, 2012) e a comparação do mesmo procedimento utilizando aditivo do tipo *Mid Range* para a correção.

1.1 JUSTIFICATIVA

É comum que em pequenas e médias obras o caminhão betoneira permaneça carregado por longos períodos de tempo no canteiro, diminuindo a fluidez do concreto. A atualização da norma NBR 7212 (ABNT, 2012) proibiu a adição suplementar de água, não autorizando mais essa adição de água até que seja atingido o abatimento, ficando a quantidade de água restrita ao estabelecimento do fator água/cimento.

No entanto, a prática comum para a correção do abatimento do concreto no momento do lançamento na obra continua sendo a adição de água até o estabelecimento do abatimento, apesar de ser consenso entre pesquisadores que para concretos dosados com os mesmos materiais e mesmas condições, o fator água/cimento é um dos principais responsáveis pela resistência à compressão do mesmo. A questão proveniente desta situação é se essa correção com água compromete as propriedades mecânicas do concreto e se a substituição da água utilizada para essa correção por aditivo do tipo *Mid Range* traz benefícios ao processo.

1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo comparar a influência da correção da trabalhabilidade do concreto produzido em central utilizando aditivo redutor de água do tipo *Mid Range* e adição de água em sua resistência à compressão.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos este trabalho tem:

- a) Analisar a perda do abatimento do concreto em função do tempo;
- b) Comparar a resistência à compressão axial do concreto em função do tipo de correção do abatimento adotado: adição de água ou com aditivo *Mid Range*;
- c) Analisar a influência do tempo especificado pela norma NBR 7212 (ABNT, 2012) para lançamento do concreto para os dois métodos de correção do abatimento nas propriedades mecânicas do concreto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO

Os materiais cimentícios podem ser considerados os materiais mais importantes produzidos pelo homem, porque lhe possibilitou construir as edificações como habitações, fortificações, aquedutos, barragens, obras sanitárias, pontes, rodovias, escolas, hospitais, teatros, igrejas, museus, palácios, entre tantos outros tipos de construção (VASCONCELOS, 1992).

O concreto está atualmente entre os produtos mais consumidos no mundo. A importância dos materiais cimentícios remonta à antiguidade, quando os gregos e romanos desenvolviam materiais cimentícios análogos aos utilizados hoje em dia (COUTINHO, 1997). Nos dias atuais, devido à grande expansão da construção civil, da execução de obras de grandes proporções, o concreto se reafirma como um material fundamental, de matéria-prima abundante praticamente em todas as regiões do país e versatilidade para as mais diversas aplicações.

Segundo Neville e Brooks (2013), o concreto pode ser considerado, de uma maneira mais ampla, como qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante.

O concreto no estado fresco é caracterizado como o material recém-misturado, ainda no estado plástico, ou seja, ainda com a capacidade de propiciar a moldagem, permanecendo moldado após cessar o lançamento (SOUZA, 2007).

Nesse estado são realizados o lançamento e adensamento do concreto, sendo de grande importância que suas características atendam às necessidades especificadas em projeto, como dimensão máxima do agregado graúdo e abatimento, para que posteriormente não ocorram problemas nas propriedades do estado endurecido.

2.1.1 Trabalhabilidade e Consistência

Segundo Petrucci (1995), trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com determinada finalidade, sem perda da sua homogeneidade.

Para Bauer (2003), trabalhabilidade é um conceito mais subjetivo do que físico. Ainda segundo ele, o comportamento físico mais importante da trabalhabilidade é a consistência, que traduz as propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionada com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes.

Os principais fatores internos que afetam a trabalhabilidade são a consistência, traço, granulometria do concreto, forma do grão dos agregados e aditivos e os principais fatores externos são o tipo de mistura, de transporte, de lançamento, de adensamento e dimensões e armadura da peça a executar (SOUZA, 2007).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), as propriedades fluidez e coesão podem ser descritas respectivamente como a facilidade de mobilidade do concreto fresco e a resistência à exsudação ou à segregação.

Geyer e Resende (2006) relatam que o ensaio do abatimento de tronco de cone mede a consistência e fluidez do concreto, permitindo que se controle a uniformidade do mesmo. Este ensaio fornece uma metodologia simples e convincente para se controlar a uniformidade da produção do concreto em diferentes betonadas.

Neville e Brooks (2013) relatam que apesar das limitações do ensaio de abatimento de tronco de cone, este ensaio tem uma aplicabilidade e simplicidade responsável pela sua disseminação. Os autores ainda citam que o ensaio é muito útil em canteiros de obras como uma verificação da variação dos materiais que estão sendo carregados na betoneira, relacionando o mesmo a variações do teor de umidade dos agregados ou da granulometria.

O ensaio de abatimento de tronco de cone é regulamentado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998) e segue o seguinte procedimento: colocar a fôrma tronco-cônica sobre uma placa metálica nivelada e apoiar os pés sobre as abas inferiores do cone. Na sequência, deve-se preencher o tronco de cone com a primeira camada de concreto e aplicar 25 golpes com a haste, atingindo a parte inferior do mesmo; em

seguida, preenche-se o com mais duas camadas de volumes iguais ao da primeira, cada uma golpeada 25 vezes e sem penetrar a camada inferior. Após a compactação da última camada, retira-se o excesso de concreto, retifica-se a superfície com uma régua metálica e retira-se o cone lentamente e verticalmente. Para a verificação do abatimento, coloca-se a haste sobre o cone invertido e mede-se a distância entre o topo do molde e o ponto médio da altura do tronco de concreto moldado. A Figura 1 apresenta as ferramentas para a execução deste ensaio.

Figura 1 - Equipamento para a realização do ensaio de abatimento de tronco de cone (SLUMP test)



Fonte: Autor (2017).

A coesão do concreto muitas vezes é confundida com a consistência. Um concreto coeso é aquele que se apresenta homogêneo e sem separação de materiais da mistura em todas as fases de utilização. A coesão depende muito da proporção de partículas finas na mistura, sendo que muitas vezes se torna necessário fazer várias misturas experimentais com diferentes proporções entre agregados graúdos e miúdos para se encontrar a mistura com coesão adequada para a finalidade desejada (GEYER e RESENDE, 2006).

2.1.1.2 Perda do Abatimento

Perda de abatimento é definida como a perda de consistência do concreto fresco com o passar do tempo. As reações de hidratação do concreto, absorção das superfícies dos produtos de hidratação e evaporação consomem a água livre da mistura, gerando mudanças na consistência do concreto (GUIMARÃES, 2005).

Os principais fatores internos do concreto que influenciam na perda do abatimento são a temperatura, composição do cimento e aditivos utilizados. Os fatores externos estão ligados às condições climáticas, como a umidade relativa do ar e a temperatura (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Em algumas situações, essa perda pode ocorrer de maneira problemática, gerando problemas no lançamento do concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), fatores que causam problemas na manutenção/perda do abatimento são a utilização de cimento de pega anormal, tempo de mistura muito longo, transporte, alta temperatura do concreto e utilização de materiais com temperatura elevada.

A perda de abatimento do concreto até o momento do lançamento deve ser monitorada cuidadosamente, e ajustes apropriados devem ser feitos para garantir a consistência adequada ao lançamento, e às operações subsequentes.

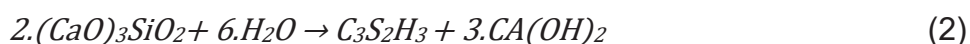
2.1.2 Hidratação do Cimento

A hidratação do cimento Portland nas primeiras fases é um processo de dissolução-precipitação e nas fases seguintes um processo topoquímico (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

A primeira reação a ocorrer é do aluminato de cálcio (C₃A) com água. O resultado dessa hidratação é a etringita (C₆AS₃H₃₂). A etringita possui formas aciculares e em monossulfatos hidratados em forma de placas hexagonais delgadas. A etringita é também o elemento responsável pelo fenômeno da pega (MEHTA e MONTEIRO, 1994). A Equação 1 representa a formação da etringita.



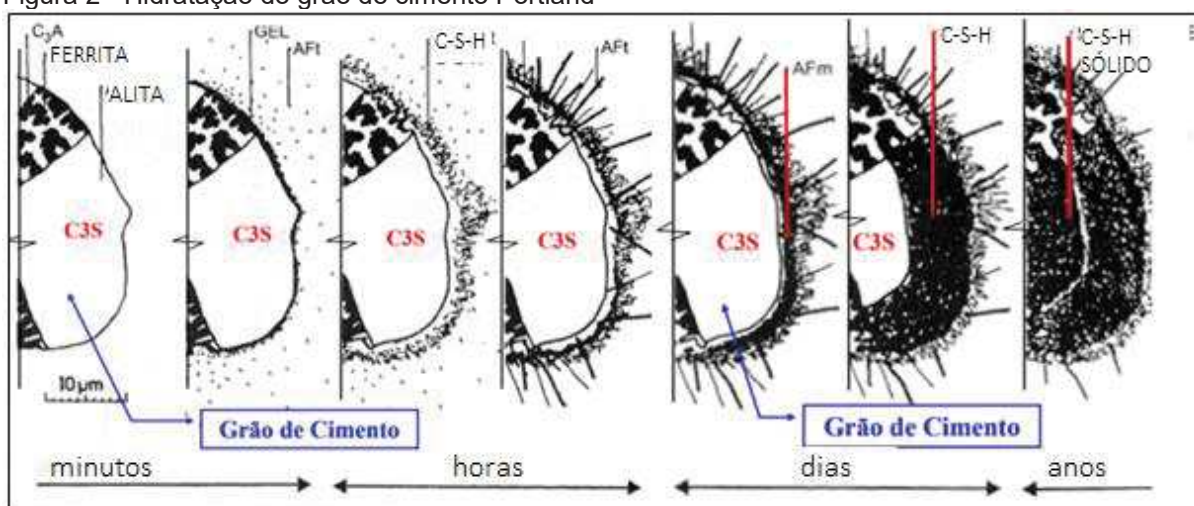
Segundo Neville e Brooks (2013), a hidratação dos silicatos se dá algumas horas após o início da hidratação do cimento. A hidratação do C_3S (Alita) e do C_2S (Belita) origina silicatos de cálcio hidratados que possuem composição química muito variada e são representados genericamente por C-S-H e hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$, compostos estes que preenchem o espaço ocupado pela água e pelas partículas do cimento em dissolução. As equações 2 e 3 representam as reações de hidratação da alita e da belita.



A reação de hidratação do C_3S resulta em 61% de $C_3S_2H_3$ e 39% de $Ca(OH)_2$ e a C_2S em 82% de $C_3S_2H_3$ e 18% de $Ca(OH)_2$. O C_3S necessita de 24% de água para hidratar e o C_2S apenas 21% (NEVILLE e BROOKS, 2013).

O C-S-H contribui mais para a resistência da pasta de cimento que o $Ca(OH)_2$, então um cimento com maior teor de C_3S resultará em um concreto com maior resistência mecânica. A Figura 2 representa a evolução das reações de hidratação do grão de cimento.

Figura 2 - Hidratação do grão de cimento Portland



Fonte: Gartner e Kanare (1984).

Pacelli (1981) define o calor de hidratação como a energia liberada em decorrência desta reação exotérmica, ou seja, quanto maior o volume de concreto, maior o calor liberado pela mistura, que pode ser dissipado na atmosfera ou

absorvido pela própria massa de concreto. Ainda segundo Pacelli (1981), o calor de hidratação pode ser um problema grande, dependendo da situação.

São várias situações que influenciam em quanto de calor o concreto irá produzir e, o mais importante, o quanto ele vai absorver e o quanto será liberado para a atmosfera. Os principais fatores que influenciam nessa condição são temperatura ambiente, consumo de cimento, exposição ao sol, processo de cura do concreto, temperatura de lançamento do concreto, tipo de cimento e dos outros materiais envolvidos na mistura, as propriedades do concreto relacionadas à temperatura, formas e dimensões da peça do concreto, altura das camadas de concretagem, intervalo de tempo entre concretagem das camadas e as propriedades do solo e rochas em contato com a estrutura de concreto (CARNEIRO; GIL; CAMPOS NETO, 2011).

2.1.3 Resistência à Compressão

A resistência à compressão é um dos parâmetros mais importantes do concreto. Pacheco e Helene (2013) consideram a resistência à compressão uma propriedade extremamente sensível, sendo capaz de indicar as eventuais variações da qualidade de um concreto, da dosagem ou de seus insumos.

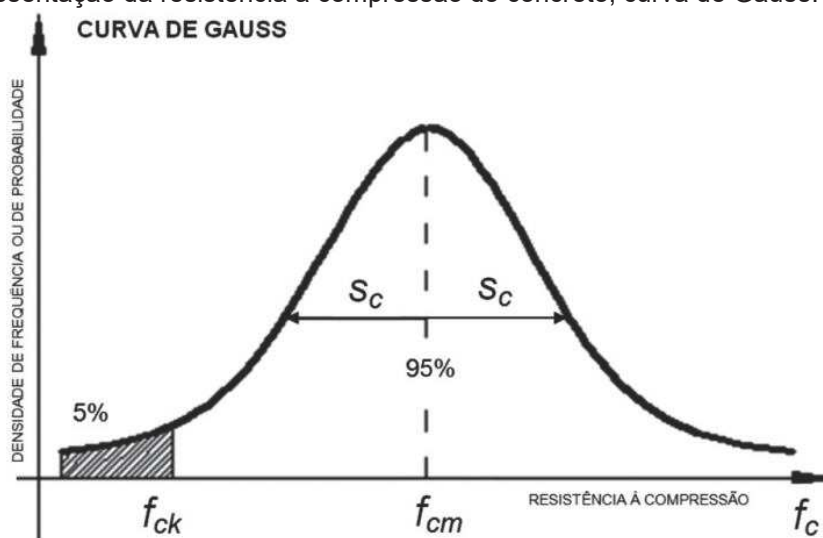
A partir de 1960, experiências internacionais e o desenvolvimento da estatística para a estimativa de um quantil causaram atualização das normas, passando a resistência característica do concreto a ser considerada por métodos probabilistas (HELENE e TERZIAN, 1992).

No Brasil, o procedimento padrão utiliza corpos-de-prova cilíndricos de 15 por 30 cm, os quais são rompidos devido à aplicação de uma carga uniaxial. A resistência à compressão é calculada pela divisão entre a força aplicada e a área da base do corpo-de-prova. Esse procedimento é amplamente difundido devido à sua simplicidade de execução e a possibilidade de calcular demais parâmetros importantes, como resistência à tração e módulo de elasticidade, a partir de fórmulas empíricas com base no valor da resistência à compressão (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

A resistência característica do concreto à compressão é o valor de referência que o projetista adota como base de cálculo e está associada a um nível de confiança de 95%. Onde, tal resistência deve ser comparada à resistência

característica estimada do concreto à compressão ($f_{ck,est}$), que, por sua vez, corresponde a um valor estimado, corresponde a uma amostragem, obtido ao ensaiar corpos de prova cilíndricos, de um lote de concreto supostamente homogêneo, e aplicando-se os resultados obtidos a uma equação matemática (chamada de estimativa do f_{ck}), que varia de acordo com o tipo de controle de resistência (ZALAF; MAGALHÃES FILHO; BRAZ, 2014). Segundo Pacheco e Helene (2013), a estimativa do valor real será mais exata quanto maior o tamanho da amostra, mais próxima do tamanho da população ou lote, quanto maior a eficiência do estimador e quanto menor a dispersão dos resultados. A Figura 3 representa a distribuição estatística que resulta no f_{ck} do concreto.

Figura 3 - Representação da resistência à compressão do concreto, curva de Gauss.

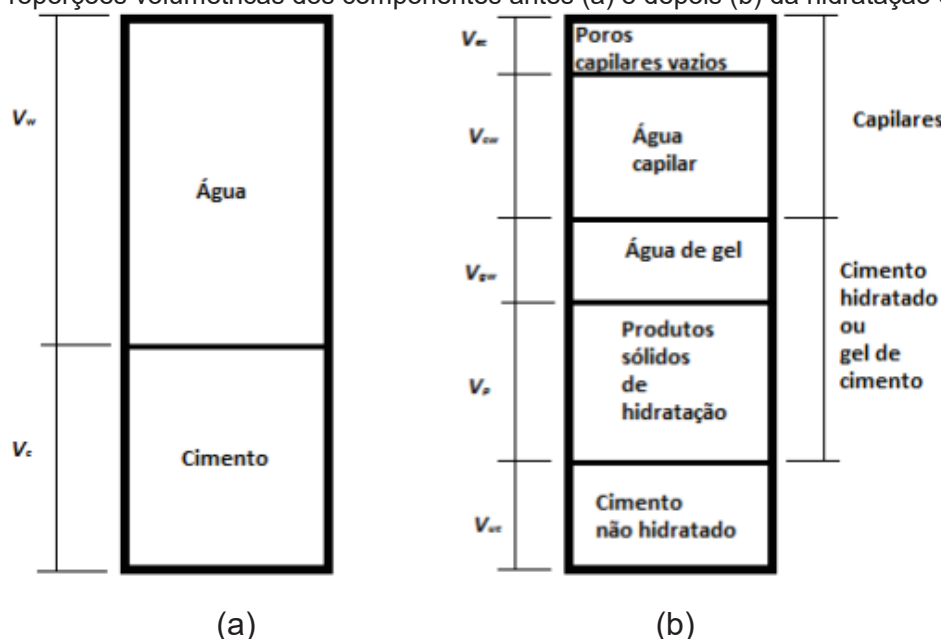


Fonte: Pacheco e Helene (2013).

São vários os fatores que influenciam na resistência do concreto. O mais importante dentre eles é a porosidade, influenciada diretamente pelo fator água/cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Quando o cimento é hidratado, são formados diversos produtos. O volume disponível para esses produtos consiste na soma do volume absoluto de cimento anidro e volume de água de amassamento. A água assume a forma de água combinada, água de gel ou água capilar (NEVILLE e BROOKS, 2013). A Figura 4 representa a proporção de cada componente da pasta de cimento antes e durante a hidratação.

Figura 4 - Proporções volumétricas dos componentes antes (a) e depois (b) da hidratação do cimento



Fonte: Neville e Brooks (2013).

Porosidades das fases componentes do concreto são consideradas limitantes da resistência. Em concretos com baixa porosidade, em geral a resistência é dependente da resistência da matriz e da zona de transição na interface (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Mehta e Monteiro (1994) elencam os principais fatores que influenciam na resistência à compressão, além da porosidade e fator água/cimento: características e proporções dos materiais; ar incorporado; tipo de cimento; características dos agregados; características da água de amassamento; aditivos e adições.

2.1.4 Fator água/cimento

Abrams (1919) introduziu o conceito de relação água/cimento ao publicar o primeiro método de estudo de dosagem do concreto em que a resistência não era mais explicada pela simples interação entre os grãos dos agregados, como se pensava na época, mas sim pelo espaço a ser preenchido pelos produtos da hidratação do cimento.

Abrams demonstrou pelo resultado de 50.000 testes desenvolvidos no *Lewis Institute, University of Illinois* que, para um determinado cimento e conjunto de agregados, a resistência do concreto a uma certa idade é dependente essencialmente da relação água/cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

De acordo com Neville e Brooks (2013), a relação água/cimento (a/c) necessária para produzir uma determinada resistência média é melhor quando determinada por meio de relações prévias para misturas produzidas com componentes similares ou pela realização de ensaios utilizando misturas experimentais com os materiais que serão utilizados na produção do concreto.

O aumento do fator água/cimento no concreto tem como consequência natural o enfraquecimento progressivo da matriz causando pelo aumento da porosidade.

Abrams (1919) enunciou o que seria mais tarde conhecida como a Lei de Abrams, a qual afirma que dentro do campo dos concretos plásticos, a resistência aos esforços mecânicos, bem como as demais propriedades mecânicas do concreto endurecido, varia na relação inversa da relação água/cimento.

A Lei de Abrams segue a Equação 4. A Figura 5 representa o comportamento desta equação.

$$f_{cj} = \frac{k_1}{k_2 a^c} \quad (4)$$

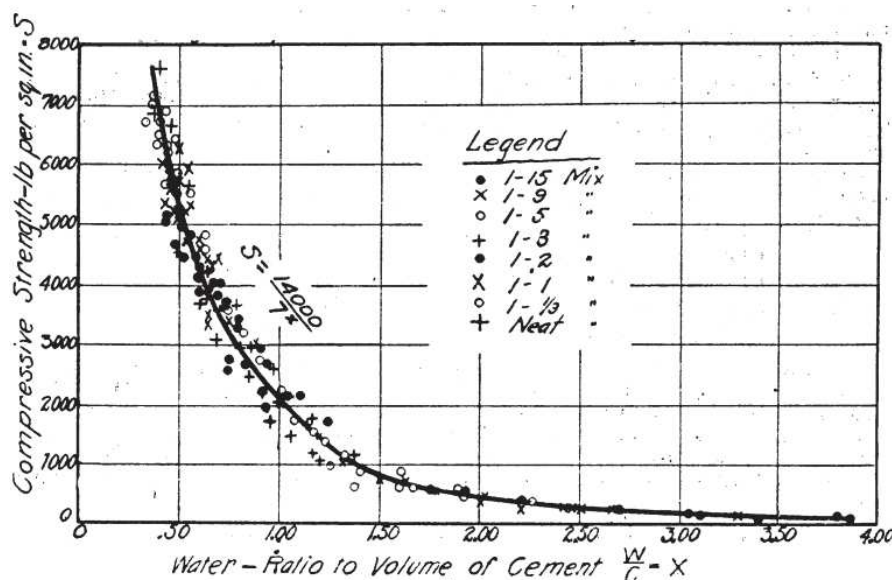
Onde:

f_{cj} = Resistência à compressão aos j dias (MPa)

a/c = Fator água/cimento (kg/kg)

k_1 e k_2 são parâmetros dependentes dos materiais utilizados.

Figura 5 - Lei de Abrams



Fonte: Abrams (1919).

2.1.5 Módulo de Elasticidade

Segundo Altheman e Rocha (2014), o concreto é um material não homogêneo e que sofre deformações sob carregamento mecânico, em função das propriedades individuais dos materiais constituintes e das interfaces entre eles. Devido a isso, a especificação do módulo de elasticidade, desde o projeto à execução da estrutura torna-se de suma importância, pois tem por objetivo minimizar ou mitigar os danos recorrentes de deformações excessivas. Estas que podem causar fissuras nas estruturas e alvenarias, deslocamentos de pisos em lajes e até resultar na restrição ou inutilização da obra.

Segundo Vasconcelos (2009), o módulo de elasticidade do concreto depende de diversos fatores. A densidade, fração volumétrica, porosidade, módulo de elasticidade dos materiais componentes, além do desempenho da zona de transição na interface são os principais.

O módulo de elasticidade do concreto está relacionado à resistência à compressão do concreto, e a NBR 6118 (ABNT, 2014) propõe essa relação numericamente, quando não forem realizados ensaios, para fins de dimensionamento das estruturas de concreto, pode-se estimar o módulo de elasticidade (E_{ci}) inicial usando as seguintes expressões. Para concretos de classe C20 até C50 é utilizada a equação 5, para concretos de classe C55 até C90 a equação 6.

$$E_{ci} = \alpha_e 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (5)$$

$$E_{ci} = 2,15.10^3 \alpha_e \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,23 \right)^{1/3} \quad (6)$$

Sendo α_e dependente do tipo de agregado graúdo empregado no concreto:

$\alpha_e = 1,2$ para basalto e diabásio;

$\alpha_e = 1,0$ para granito;

$\alpha_e = 0,9$ para calcário;

$\alpha_e = 0,7$ para arenito;

f_{ck} = resistência característica à compressão do concreto.

2.2 ADITIVOS

O uso de aditivos em materiais cimentícios é uma prática antiga. Os antigos romanos utilizavam substâncias como clara de ovo, sangue de animal e outros ingredientes para tal função (COUTINHO, 1997). Já os aditivos como são conhecidos hoje tiveram sua evolução a partir do início do século XX. Aditivos são as substâncias que são adicionadas intencionalmente ao concreto, com o fim de reforçar ou melhorar certas características, inclusive facilitando seu preparo e utilização (PETRUCCI, 1995).

Alguns fatores são de fundamental importância para que o aditivo promova a dispersão das partículas de maneira eficiente: a compatibilidade química e física entre o cimento e aditivo, a adsorção do aditivo na partícula do cimento e a dosagem do aditivo, pois o aditivo em excesso pode causar segregação do concreto e nova floculação do sistema, bem como fluidez excessiva, ou retardo excessivo no tempo de pega (HARTMANN, 2003).

Segundo a norma NBR 12655 (ABNT, 2006), aditivos são materiais adicionados ao concreto durante o processo de mistura em uma quantidade não superior aos 5% sobre a massa do cimento contido no concreto, para modificar as propriedades da mistura no estado fresco e/ou no estado endurecido.

A norma referente aos aditivos para concreto no Brasil, NBR 11768 (ABNT, 2001) - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - requisitos - regulamenta uma série de aditivos, entre eles: os que aceleram ou retardam a pega do concreto, os redutores de água (plastificantes, superplastificantes), os incorporadores de ar, aceleradores de resistência e também temos uma gama de aditivos que não foram normatizados, mais são usados com muita frequência, entre eles os redutores de retração, expensor (compensar retração), promotor de viscosidade, hidrofugantes, promotor de adesão e os pigmentantes (MELO et al., 2009).

2.2.1 Classificação

Os aditivos mais usuais são apresentados por Fonseca (2010, p. 31-32):

- a) Tenso-ativos (plastificantes, superplastificantes, redutores de água): melhoram a fluidez e plasticidade dos concretos (aumentam o índice de consistência), permitindo melhor compactação com menor dispêndio de

- energia; reduzem a quantidade de água, diminuindo a retração, aumentando a resistência ou economizando aglomerante.
- b) Incorporadores de ar: aumentam a durabilidade dos concretos (maior resistência à ação deletéria de líquidos agressivos), melhoram a plasticidade, melhoram o comportamento do material durante o transporte (menor possibilidade de segregação), contribuem para a redução da exsudação e aumentam a resistência do concreto aos ciclos de congelamento e descongelamento. São utilizados em concretos submetidos a grandes variações de temperatura (gelo e degelo, câmaras frigoríficas, etc.) e também em concreto-massa, pois diminuem o atrito entre os agregados.
 - c) Aceleradores de pega: aumentam a velocidade de crescimento da resistência, permitindo a desforma mais rápida e liberando mais cedo a construção para serviços. São usados quando o concreto deve ser lançado em temperaturas baixas ou em casos de serviços urgentes de reparos. Também são utilizados na execução de pré-moldados e de concreto projetado.
 - d) Retardadores de pega: são úteis para evitar as juntas frias (mantêm o concreto plástico por um período maior, evitando-se que as sucessivas camadas lançadas criem juntas frias com descontinuidade estrutural); ajudam na concretagem em tempo quente, quando a pega normal é acelerada pela temperatura mais alta (melhoram o balanço térmico pela maior facilidade de dissipação do calor gerado e evitam grande aumento de temperatura); são utilizados no retardamento do endurecimento do concreto quando se deseja obter um acabamento arquitetônico com agregado exposto; ajudam no controle de grandes unidades estruturais para manter o concreto trabalhável durante o lançamento.
 - e) Impermeabilizantes: agem por ação repulsiva com relação à água ou por obturação dos poros; reduzem a penetração de umidade sob pressão e de elementos agressivos; são utilizados em argamassas de reparo, rejuntas e nos concretos de reservatórios.
 - f) Produtores de gás ou espuma: são capazes de produzir, na massa do concreto, bolhas de gás ou de espuma, dando origem aos concretos porosos, celulares ou aerados, que possuem baixo peso específico e melhor desempenho no isolamento térmico e proteção contra o fogo. São utilizados em pisos, lajes e recuperação de estruturas.
 - g) Fungicidas, germicidas e inseticidas: controlam o crescimento de algas ou líquens no concreto endurecido durante um determinado tempo.
 - h) Inibidores de corrosão de armaduras: são efetivos no controle e redução das taxas de corrosão das armaduras; são utilizados nos materiais de reparo e em concretos submetidos à ação de cloretos.

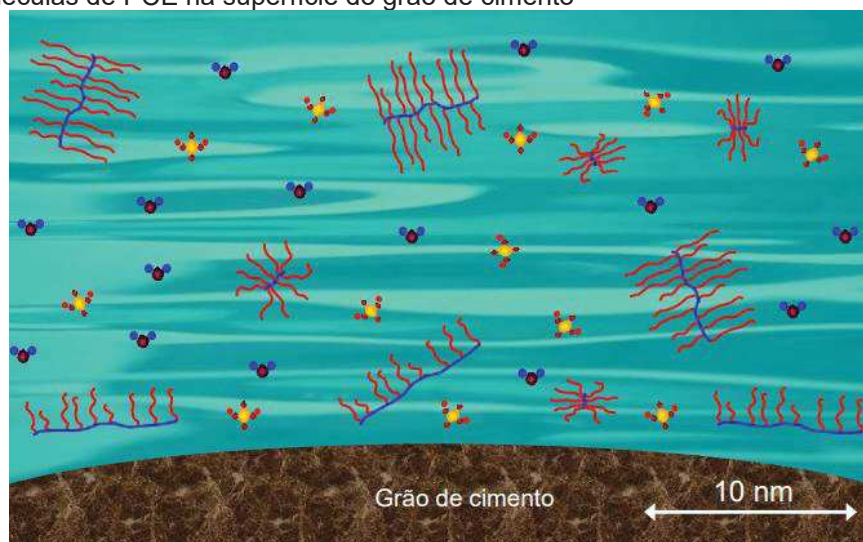
2.2.2 Aditivos Redutores de Água do tipo *Mid Range*

Os policarboxilatos são aditivos superplastificantes de terceira geração. Estes aditivos têm como características principais moléculas curtas com cadeias longas, estrutura molecular que permite muitos arranjos, massa molecular maior quando comparada com os outros superplastificantes, permite um tempo de ação por mais tempo, aumentando o tempo para o transporte e para aplicação do concreto (trabalhabilidade), entre outras (GAVA et al., 2001).

Os aditivos do tipo *Mid Range* são aditivos de efeitos intermediários entre aditivos superplastificantes e polifuncionais, e são produzidos a base de éter

policarboxilato (PCE). A nova geração destes aditivos promove a robustez do polifuncional, além de propriedades especiais do PCE: alta dispersão e manutenção prolongada do abatimento, além da redução significativa de água. A Figura 6 representa um comparativo de tamanho entra as moléculas de PCE na superfície do grão de cimento (SCHMIDT, 2016).

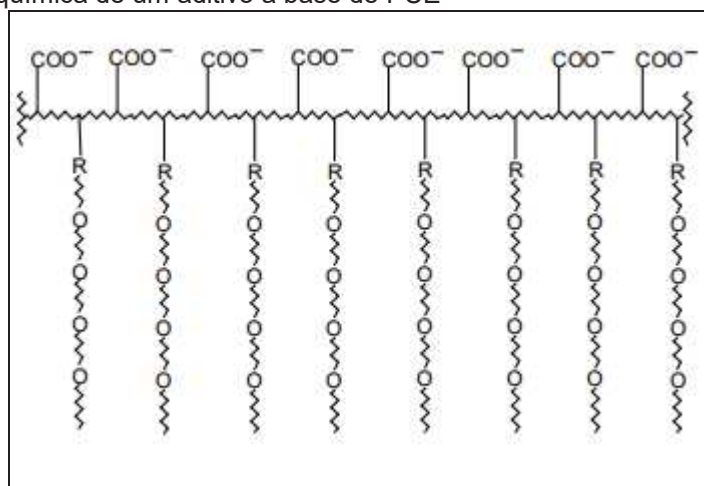
Figura 6 - Moléculas de PCE na superfície do grão de cimento



Fonte: SCHMIDT (2016).

A estrutura química do éter policarboxilato (PCE) é composta por uma cadeia principal e uma cadeia lateral, e possui uma variedade muito grande de combinações, alterando-se a quantidade dos monômeros, quantidade de carga aniônica, comprimento da cadeia principal, comprimento da cadeia lateral, números da cadeia lateral, entre outros (FELEKOĞLU; SARIKAHYA, 2008). A Figura 7 representa a estrutura química de um aditivo desse tipo.

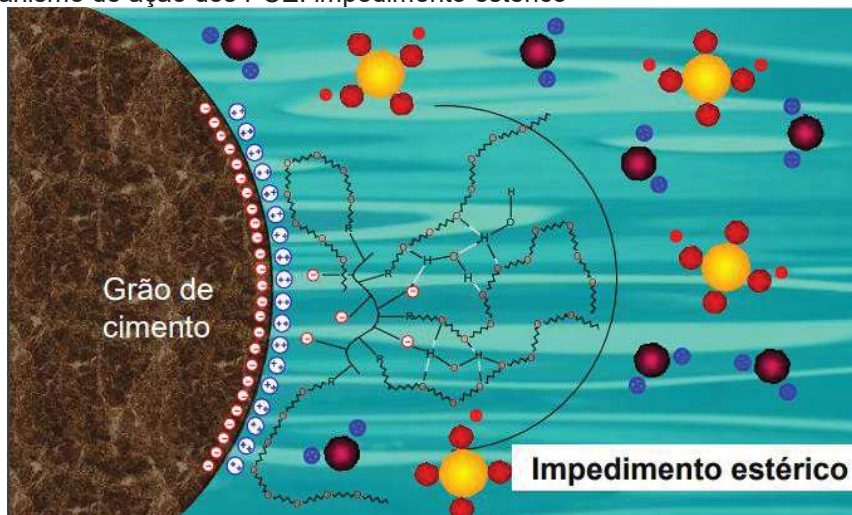
Figura 7 - Estrutura química de um aditivo a base de PCE



Fonte: SCHMIDT (2016).

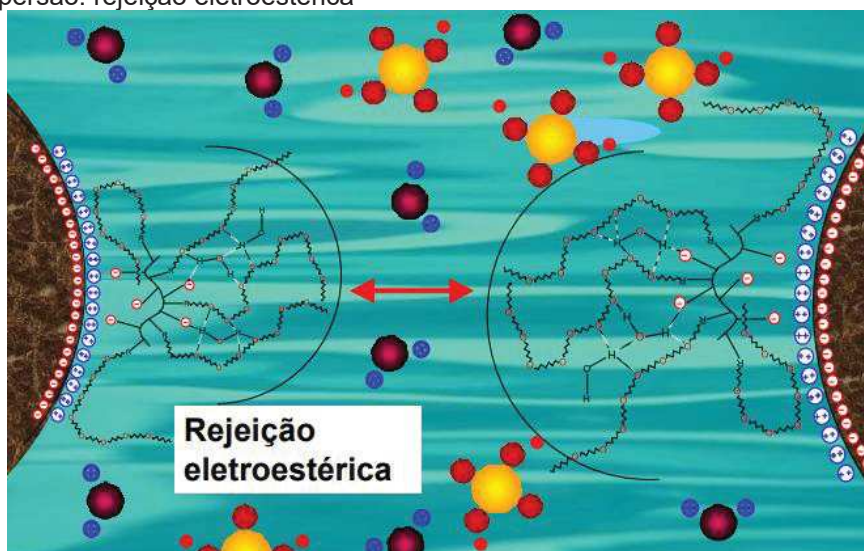
Os policarboxilatos promovem a defloculação do sistema de maneira eletroestérica, ou seja, uma parte com contribuição do efeito eletrostático do efeito estérico (AİTCIN; JOLICOEUR; MACGREGOR, 1994). As Figuras 8 e 9 ilustram o mecanismo de ação dos PCE.

Figura 8 - Mecanismo de ação dos PCE: impedimento estérico



Fonte: SCHMIDT (2016).

Figura 9 - Dispersão: rejeição eletroestérica



Fonte: SCHMIDT (2016).

2.3 CONCRETO DOSADO EM CENTRAL

A produção do concreto dosado e produzido em central surgiu com o objetivo de atender às obras de infraestrutura que necessitavam de grandes volumes de concreto de maneira ágil e de controle tecnológico alto (REGATTIERI e MARANHÃO, 2011).

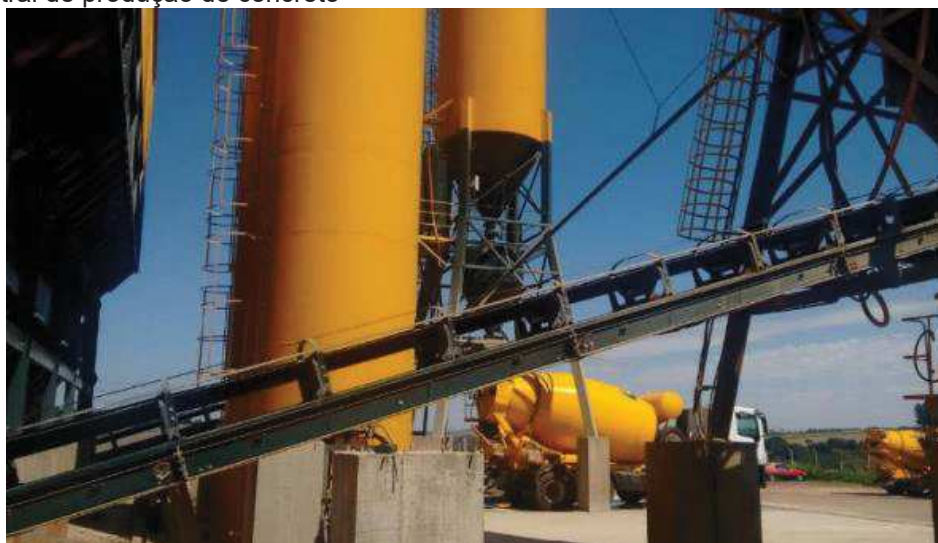
O concreto produzido em central assumiu tal importância no cenário da construção civil nacional, que em 1984 o mesmo recebeu uma norma específica para sua regulamentação, a NBR 7212 (ABNT, 1984) – Execução de concreto dosado em central - procedimento, atualizada posteriormente em 2012. A norma define concreto dosado em central como concreto dosado, misturado em equipamento estacionário ou em caminhão estacionário ou em betoneira, transportado por caminhão betoneira ou outro tipo de equipamento, dotado ou não de agitação, para entrega antes do início de pega do concreto, em local e tempo determinados, para que se processem as operações subsequentes à entrega, necessárias à obtenção de um concreto endurecido com as propriedades pretendidas (ABNT, 2012).

Segundo ABESC (2007, p. 6), as vantagens da utilização do concreto dosado em central incluem:

- a) Eliminação das perdas de areia, brita e cimento;
- b) Racionalização do número de operários da obra, com conseqüente diminuição dos encargos sociais e trabalhistas;
- c) Maior agilidade e produtividade da equipe de trabalho;
- d) Garantia da qualidade do concreto graças ao rígido controle adotado pelas centrais dosadoras;
- e) Redução no controle de suprimentos, materiais e equipamentos, bem como eliminação das áreas de estoque, com melhor aproveitamento do canteiro de obras;
- f) Redução do custo total da obra.

O concreto dosado em central é normatizado pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas através do CB – 18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados. As normas que orientam sobre a perfeita utilização do concreto são: NBR 6118 (Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado), NBR 7212 (Execução do Concreto Dosado em Central), NBR 12654 (Controle Tecnológico dos Materiais Componentes do Concreto), NBR 12655 (Preparo, Controle e Recebimento de Concreto), e NBR 8953 (Concreto para Fins Estruturais - Classificação por Grupos de Resistência) (ABESC, 2007). A Figura 10 representa uma central dosadora de concreto.

Figura 10 - Central de produção de concreto



Fonte: Autor (2017).

2.3.1 Produção do Concreto Dosado em Central

Na maioria das concreteiras, a preparação do concreto se inicia quando uma ordem de serviço entra no sistema. O pedido possui especificação do tipo de concreto, além do volume de material a ser produzido e a central dos tipos e das quantidades de materiais constituintes que serão utilizados no traço. Essas informações são gerenciadas pelo operador da central, que inicia o carregamento (REGATTIERI e MARANHÃO, 2011).

Os materiais utilizados na produção do concreto devem ser rigorosamente testados e armazenados de maneira adequada ao uso. Segundo a NBR 7212 (ABNT, 2012), os agregados devem ser separados de maneira a evitar a mistura entre granulometrias, fornecedores e demais características que os diferenciem. O cimento deve ser armazenado separadamente em função das suas propriedades - o mais usual é o armazenamento em grandes silos. A água deve ser separada igualmente em função das diferentes origens e qualidade e os aditivos devem ser armazenados de acordo com as recomendações dos fabricantes.

Para que a qualidade do produto seja garantida, o volume de concreto não deve exceder a capacidade nominal de mistura do equipamento e os desvios tolerados para as dosagens dos materiais são devidos somente a variações de pesagem intrínsecas à operação (ABNT, 2012).

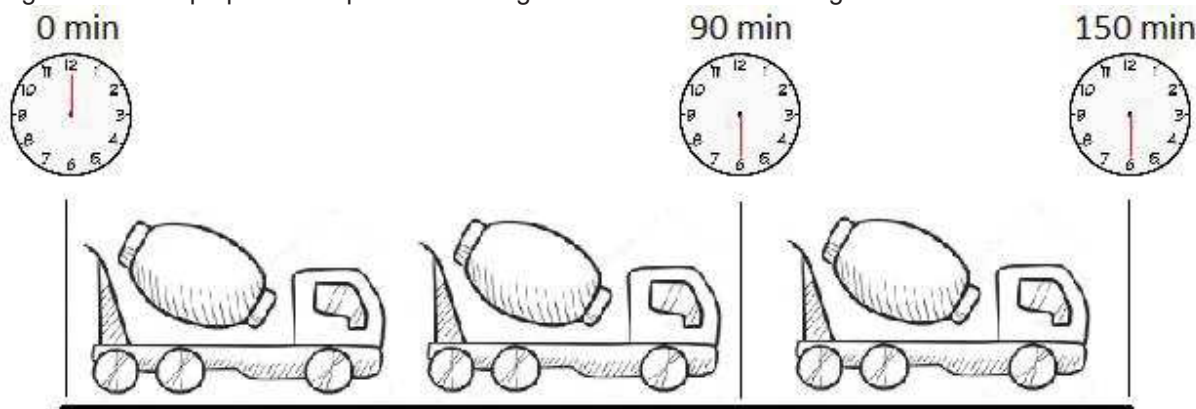
2.3.2 Entrega e Recebimento do Concreto

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 o adensamento e o acabamento apropriados. 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 (POLESELLO et al., 2013).

Misturas prolongadas do concreto são observadas quando há grandes distâncias entre a central e os locais de entrega ou atrasos no andamento da obra (BASKOCA et al., 1998). 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 dosado em central (ERDOLGDU, 2005).

O transporte pode ser realizado por veículo dotado ou não de dispositivo de agitação, desde que apresente características necessárias para manutenção das propriedades do concreto. De maneira geral, o transporte é realizado por caminhões betoneira, que realizam a mistura do produto durante o trajeto. O tempo limite para transporte é 90 minutos para esse tipo de veículo, devendo o lançamento ser iniciado em até 30 minutos após a chegada do caminhão na obra e não ultrapassar 150 minutos da primeira adição de água à mistura (ABNT, 2012). A Figura 11 ilustra os limites de tempo para o concreto usinado.

Figura 11 - Tempo para transporte e descarga do concreto usinado segundo ABNT NBR 7212:2012



Fonte: ABESC adaptado (2007).

Em determinadas situações pode ocorrer perda da trabalhabilidade do material durante seu trajeto da central dosadora até à obra. Isto ocorre principalmente devido às condições climáticas, que resultam na evaporação da água. A norma que discorre sobre a reposição de água perdida pelas condições climáticas é a NBR 7212 (ABNT, 2012). Como regra geral, a adição de água não deve ultrapassar o estabelecido pelo fator água/cimento. Um dos problemas mais encontrados em centrais de concreto usinado é a variação da resistência à compressão do concreto aplicado em obras de pequeno e médio porte, devido à prática comum de se adicionar água até o estabelecimento do abatimento, desrespeitando o limite normalizado. Uma das maneiras de corrigir este problema é através de ajustes da trabalhabilidade ao longo do tempo com adição de aditivos plastificantes. A Figura 12 representa o lançamento do concreto em um bloco de fundação.

Figura 12 - Lançamento de concreto usinado em bloco de fundação



Fonte: Autor (2017).

Antes da descarga do caminhão betoneira, deve-se ainda avaliar se a quantidade de água existente no concreto está compatível com as especificações, não havendo falta ou excesso de água. A falta de água dificulta a aplicação do concreto, criando nichos de concretagem. Por sua vez, o excesso de água, embora facilite a aplicação do concreto, diminui consideravelmente sua resistência (ABESC, 2007).

Segundo a NBR 7212 (ABNT, 2012), caso o responsável pela obra deseje lançar o concreto com abatimento superior ao especificado em nota, é necessário que o mesmo assine um termo de responsabilidade presente na nota, eximindo a concreteira pelo desempenho do produto. O procedimento comum é que essa trabalhabilidade seja atingida pela adição de água. O mesmo ocorre para lançamento de concreto vencido, com mais de 150 minutos da primeira adição de água, ficando o responsável pela obra responsável pelo desempenho do concreto caso opte por utilizá-lo.

No tópico seguinte serão abordados estudos de pesquisadores sobre os métodos de correção do abatimento do concreto e sua influência nas propriedades do produto.

2.2.3 Correção do Abatimento do Concreto

Kırca, Turanlı e Erdoğan (2002) compararam os efeitos da correção do abatimento do concreto sujeito a longo tempo de mistura com a utilização de água e água mais aditivo em diferentes teores, em relação a massa de água adicionada (1,5%, 3% e 4,5%). No estudo foi utilizado um aditivo a base de melamina e foram produzidos concretos de classe C25 e C35, os quais permaneceram em agitação por quatro horas, recebendo as intervenções para o retorno ao abatimento de 150 mm a cada hora. Como resultados, os autores apresentaram que os concretos que tiveram mais perda de abatimento, e conseqüente aumento da quantidade de água necessária para a correção apresentaram maior diminuição da resistência à compressão, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Resistência à compressão aos 28 dias do concreto C35 cujo SLUMP foi restabelecido para 15 cm por diferentes métodos de correção ao longo de 4 h de mistura.

Tipo de corretor do abatimento	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h
Sem correção	34,3	36,0	38,6	41,7	43,6
Água pura	34,6	32,4	32,1	30,5	28,1
1,5 ¹ % Super plastificante	35,5	34,3	32,9	31,1	29,2
3,0 ¹ % Super plastificante	35,1	34,6	34,5	32,3	31,9
4,5 ¹ % Super plastificante	36,6	35,4	36,2	36,7	34,2

¹ Concentração da solução por massa de água para correção

Fonte: Kirca, Turanlı e Erdoğan (2002).

Também é possível constatar que concretos cujo abatimento foi restabelecido com o uso de aditivo apresentaram menor diminuição da resistência à compressão e até mesmo sensíveis elevações, para o caso da utilização de 4,5% de superplastificante (KIRCA; TURANLI; ERDOĞAN, 2002).

Malacarne, Santos e Gava (2016) avaliaram a influência nas propriedades do concreto devido à correção da perda de abatimento a partir da adição suplementar de aditivo redutor de água. Nesse estudo, foram utilizados dois aditivos, um superplastificante tipo II e um aditivo do tipo *Mid Range*, aplicados em dois traços, com relações água/cimento de 0,50 e 0,65, partindo de dois abatimentos iniciais distintos, de 120±10 mm e 180±10 mm. Os autores constataram que a perda de abatimento foi maior para as misturas com maior abatimento inicial e menor fator a/c. Também constataram que a adição suplementar de aditivo nos concretos para manutenção do abatimento não ocasionou um acréscimo do teor de ar incorporado nem aumento da exsudação, para ambos os aditivos. Houve um acréscimo, no entanto, da resistência à compressão nos concretos dosados com aditivo *Mid Range*. O tempo de início de pega foi a propriedade que sofreu maior influência da adição suplementar de aditivo, chegando a aumentar em até 50%.

Polesello (2013) avaliou a resistência à compressão para a idade de 28 dias para concretos submetidos a longo tempo de mistura, restabelecendo o abatimento dos mesmos com o uso de aditivo superplastificante. Foram definidas como variáveis controláveis da pesquisa três fatores 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 constatando que, para concretos produzidos tanto em laboratório quanto na central dosadora de concreto, pode-se concluir que, para os materiais e métodos utilizados no 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. Este autor ainda constatou que os menores valores de resistência à compressão na idade de 28 dias foram apresentados pelos corpos de prova moldados no primeiro intervalo analisado, de 0h para 2h, sendo que este intervalo está contemplado no limite especificado pela norma, de até 150 min. Os outros resultados não apresentaram alterações significativas de resistência, sendo que foi registrado um leve ganho desta pelos corpos de prova moldados no intervalo final de 5h para 6h.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Um programa experimental foi desenvolvido para avaliar a trabalhabilidade e ao longo do tempo de mistura e comparar a correção desta propriedade quando utilizada água ou aditivo *Mid Range*.

3.1 MATERIAIS E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Como aglomerante foi utilizado cimento do tipo CP II – F 40, da marca Votoran. As características do mesmo foram fornecidas pelo fabricante, sendo as suas as mesmas indicadas segundo a norma NBR 16697 (ABNT, 2018) apresentados na Tabela 2.

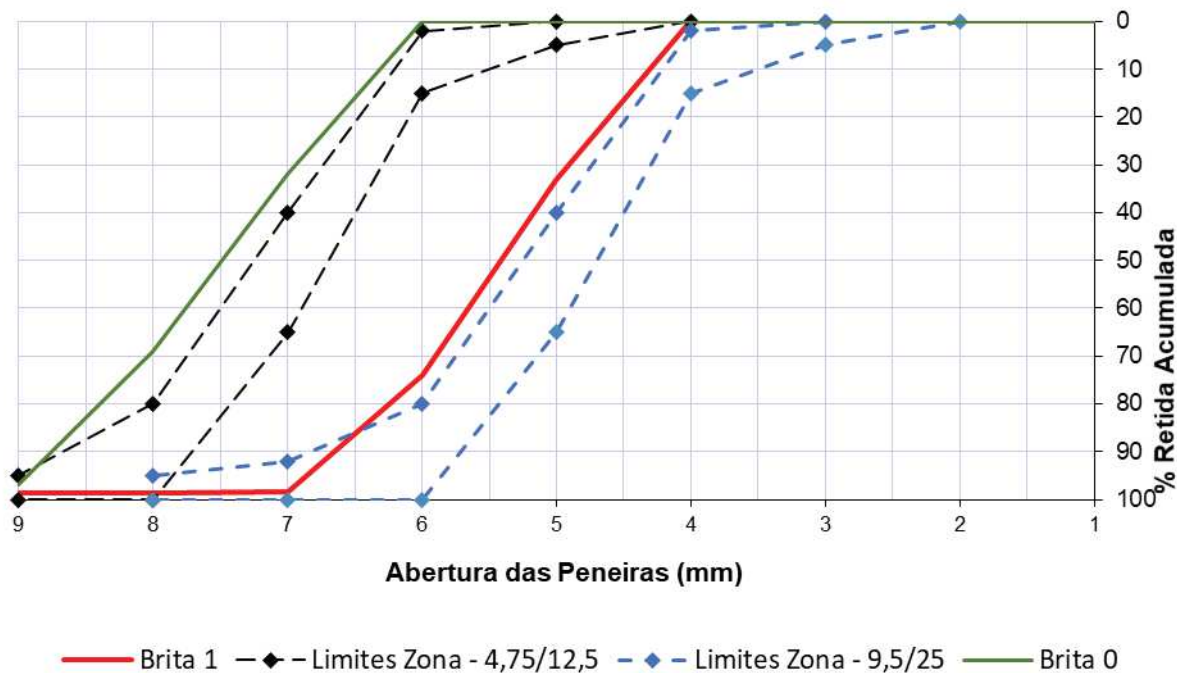
Tabela 2 - Características do cimento CP II – F 40

Características	Valor obtido	Valor de referência (NBR 16697)
Perda ao fogo (%)	5,02	≤ 12,5
Resíduo insolúvel (%)	1,11	≤ 7,5
Massa específica (g/cm ³)	3,06	N/A
Área específica <i>Blaine</i> (cm ² /g)	4566	≥ 2800
Tempo de pega (min)	Início	≥ 60
	Fim	≤ 600
Resistência à compressão (MPa)	3 dias	≥ 15,0
	7 dias	≥ 25,0
	28 dias	≥ 40,0
Teor de MgO (%)	5,08	N/A
Teor de SO ₃ (%)	5,99	≤ 4,5

Fonte: Votoran (2019).

O processo de caracterização dos agregados foi realizado no laboratório de estruturas e materiais (LEME) da Unioeste – Cascavel – PR. Como agregado graúdo foi utilizada brita de origem basáltica com duas granulometrias diferentes, denominadas comercialmente de brita 1 e brita 0, com diâmetro máximo característico de 19 mm e 9,5 mm, respectivamente, fornecidas por uma pedreira do município de Cascavel - PR. A caracterização granulométrica desse material seguiu a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e na Figura 13, são apresentadas as curvas granulométricas das britas. Podemos observar que o material se encontrou fora dos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

Figura 13 – Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autor (2019).

Os resultados dos ensaios de massa específica, massa específica aparente e absorção de água do agregado graúdo realizados segundo a NBR 53 (ABNT, 2009), são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Massa específica, massa específica aparente e absorção para o agregado graúdo

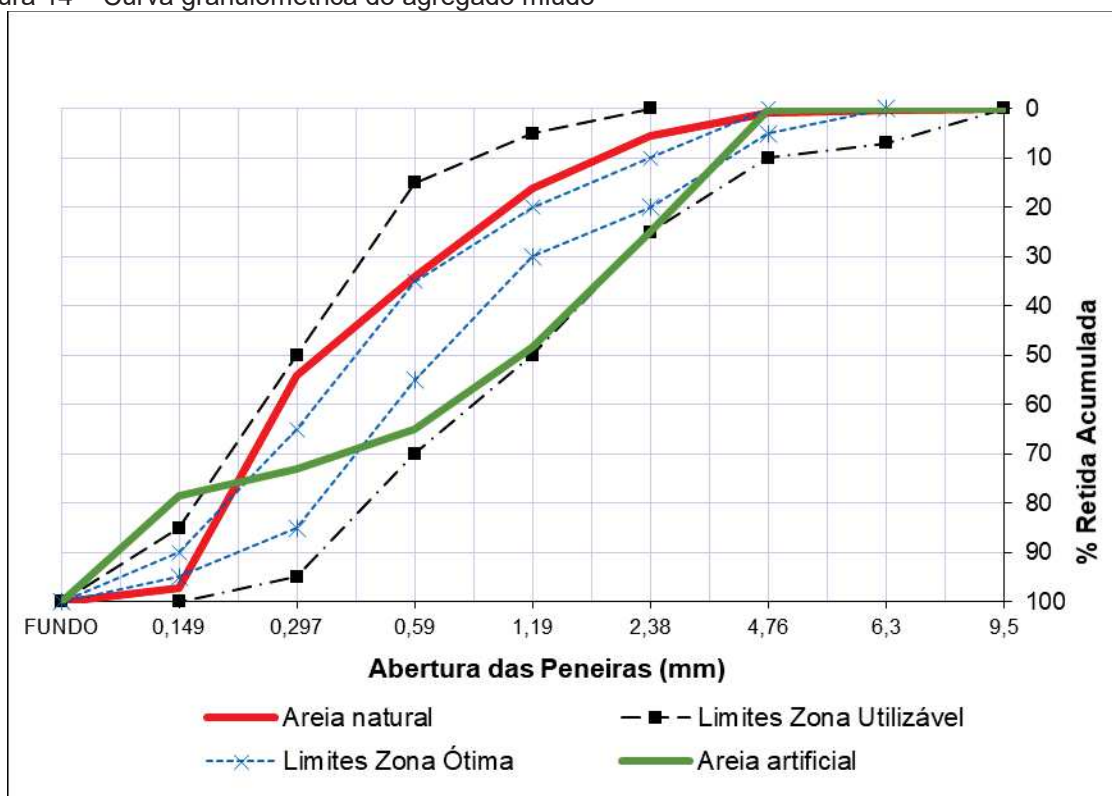
MASSA ESPECÍFICA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA							
Agregado	Ensaio nº	Massa específica com agregado seco em estufa		Massa específica aparente		Absorção de água	
		Valor individual (kg/m ³)	Valor médio (kg/m ³)	Valor individual (kg/m ³)	Valor médio (kg/m ³)	Valor individual (%)	Valor médio (%)
Brita 1	1	3036	3037	2811	2814	2,6	2,6
	2	3038		2816			
Brita 0	1	3100	3106	2860	2860	2,7	2,8
	2	3111		2859			

Fonte: Autor (2019).

Um dos agregados miúdos utilizados foi areia natural extraída do Rio Paraná na região de Guaíra, de módulo de finura de 2,08. A caracterização desse material deu-se pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) e o mesmo se encontrou dentro da zona utilizável estabelecida pela NBR 7211 (ABNT, 2009). O outro agregado miúdo

utilizado foi a areia artificial proveniente de rocha de origem basáltica, módulo de finura de 2,9, também fornecida por uma pedreira do município de Cascavel - PR. Podemos observar que o material se encontrou dentro dos limites da zona utilizável estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009). A curva granulométrica dos agregados miúdos encontra-se na Figura 14.

Figura 14 – Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor (2019).

O resultado do ensaio de massa específica aparente realizado segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009), é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Massa específica aparente do agregado miúdo

MASSA ESPECÍFICA APARENTE			
Agregado	Ensaio nº	Valor individual (kg/m ³)	Valor médio (kg/m ³)
Areia natural	1	2642	2640
	2	2643	
	3	2635	
Areia artificial	1	2962	2965
	2	2964	
	3	2968	

Fonte: Autor (2019).

No traço de referência foi utilizado um aditivo polifuncional de pega normal, a base de lignosulfonato, da marca Muraplast FK 121, do fabricante MC-Bauchemie, o qual foi adicionado no início da mistura na quantidade estipulada pelo traço, junto com os demais materiais, pois o mesmo age como um agente dispersor das partículas de cimento, evitando sua aglomeração e reduzindo a tensão superficial da água da mistura, trazendo uma melhora na coesão e trabalhabilidade do concreto (SCHMIDT, 2016). Suas características, fornecidas pelo fabricante, são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características do aditivo polifuncional Muraplast FK 121

Aditivo	Aspecto/ Cor	Composição Química	Dosagem Recom. (% SPC)	Massa Específica (g/cm ³)
Plastificante polifuncional de pega normal	Marrom	Lignosulfonato	0,2 – 1	1,14

Fonte: MC-Bauchemie (2018).

Para a correção do abatimento ao longo do tempo, em comparação à adição de água, foi utilizado um aditivo do tipo *Mid Range*, da marca MC-Techniflow 520, também do fabricante MC-Bauchemie. Esse aditivo possui ação intermediária entre os aditivos polifuncionais e os superplastificantes. Suas especificações são as apresentadas pelo fabricante e presentes na Tabela 6.

Tabela 6 - Características do aditivo MC-Techniflow 520

Aditivo	Aspecto/ Cor	Composição Química	Dosagem Recom. (% SPC)	Massa Específica (g/cm ³)
<i>Mid Range</i>	Marrom	Éter Policarboxilato	0,2 – 2	1,08

Fonte: MC-Bauchemie (2018).

O concreto foi produzido no Laboratório de Estruturas da UTFPR, utilizando betoneira com capacidade de 400 l. A produção foi realizada em dois dias distintos, um para correção com aditivo, e outro com adição de água e foram produzidos 100 l em cada dia. O traço adotado é apresentado na Tabela 7, fornecido por uma concreteira da região denominada neste trabalho como Concreteira X, visando resistência característica à compressão axial próxima a 35 MPa e abatimento nominal de 120 ± 20 mm, com teor de argamassa (α) de 55% e uma relação água/materiais secos (H) de 10%.

Tabela 7 - Traço do concreto em massa

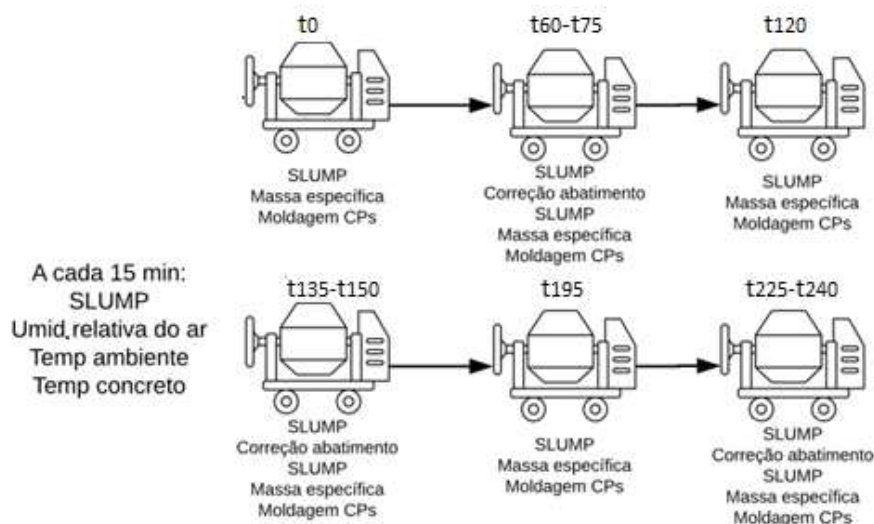
	Traço unitário	Consumo (kg/m ³)
Cimento	1	367
Areia Natural	1,77	603
Areia Artificial	0,76	259
Brita 0	0,92	315
Brita 1	2,17	740
Aditivo Polifuncional	0,5	1,83
a/c	0,57	208

Fonte: Concreteira X (2018).

3.2 CORREÇÃO DA TRABALHABILIDADE

Após a mistura atingir homogeneidade, a betoneira foi desligada e foi realizado o ensaio de abatimento pelo tronco de cone, segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998), para determinar o abatimento, considerado como instante inicial t_0 e também o início do ensaio de perda do abatimento inicial. Neste momento, foram anotados o abatimento medido, a temperatura do concreto, utilizando um termômetro de imersão, a temperatura e a umidade ambiente. Além disso, também foi retirada uma amostra para ensaio de determinação da massa específica, conforme a norma NBR 9833 (ABNT, 1987) e moldados 8 corpos de prova cilíndricos de 100 x 200 mm para ensaio de compressão axial. Na Figura 15 são representados os intervalos de realização de ensaios e correção do abatimento.

Figura 15 - Fluxograma do procedimento experimental



Fonte: Autor (2018).

Os concretos foram misturados em ciclos de tempo de quinze minutos, sendo treze minutos com a betoneira desligada e dois misturando o concreto.

Após 60 minutos do t_0 , foi considerado o instante t_{60} . Neste momento, além das verificações referidas anteriormente também foi realizado o ensaio de massa específica e moldados 8 corpos-de-prova. Em seguida, foi realizada a primeira correção de abatimento. Para tal, foi adicionado o agente para a correção, água ou aditivo, até que o concreto apresentasse abatimento com o mesmo valor do abatimento inicial (t_0), o que ocorreu no instante t_{75} .

Passados 120 minutos do instante t_0 foi computado o instante t_{120} . Neste instante, foram aferidos abatimento, massa específica, temperatura do concreto, temperatura ambiente e umidade relativa do ar, além da moldagem de 8 corpos-de-prova. O instante t_{120} representa o tempo intermediário entre o tempo limite de transporte e de lançamento.

No instante t_{135} , o procedimento foi análogo àquele realizado no t_{60} , exceto pelo fato de que a moldagem foi realizada após o restabelecimento do abatimento. Para tal, foi adicionado o agente para a correção, água em um dia e aditivo no outro, até que o concreto recuperasse seu abatimento inicial, aferido pelo ensaio de abatimento de tronco de cone. Uma vez restabelecido, cerca de 15 minutos depois, no instante t_{150} , foram realizados os ensaios de massa específica e moldados 8 corpos-de-prova. O instante t_{150} representa o concreto no limite de tempo para o lançamento do concreto.

Para avaliar o efeito da correção do abatimento após o tempo limite da norma, o procedimento teve sequência de maneira análoga ao t_{45} para o instante t_{195} e de maneira análoga ao par t_{135} - t_{150} para o par t_{225} - t_{240} , com adição do agente corretor, com restabelecimento do abatimento após 15 minutos, seguido da moldagem.

A quantidade de água e aditivo adicionada foi feita com base em ensaios de teste prévios e ajustados conforme a necessidade. Considera-se t_{60} - t_{75} , t_{135} - t_{150} e t_{225} - t_{240} os pares de correção do abatimento.

Os corpos de prova moldados foram desformados 24 horas após a concretagem e submetidos à cura em água saturada com cal (FIGURA 16), conforme especificado pela norma NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 16 – Corpos de prova submetidos à cura em água saturada com cal



Fonte: Autor (2019).

3.4 ENSAIO COM O CONCRETO ENDURECIDO

No dia anterior aos ensaios de resistência à compressão axial os corpos-de-prova foram retificados. Para determinar a resistência à compressão axial, os corpos de prova foram ensaiados aos 7 e 28 dias utilizando a prensa automática apresentada na Figura 17.

Figura 17 – Prensa utilizada para o rompimento dos corpos-de-prova



Fonte: Autor (2019).

3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO

Para avaliar se houve diferença estatística em relação a resistência à compressão entre os concretos cuja trabalhabilidade foi corrigida com água e com aditivo, os resultados foram submetidos à uma análise de variância de dois fatores utilizando o *software Action*® de análise estatística. Além disso, foi possível avaliar se houve variação entre as resistências em função do tempo e se ocorreu interação entre os dois fatores: agente para a correção da trabalhabilidade e tempo.

Para os ensaios, a hipótese nula (H_0) era que a resistência à compressão para os concretos dosados com água e aditivo podem ser consideradas estatisticamente iguais; para o tempo, a hipótese nula (H_0) era que a resistência à compressão para os diferentes tempos é estatisticamente igual; para as interações a hipótese nula era que não há interação entre os dois fatores: tempo e agente para correção da trabalhabilidade.

O nível de significância utilizado foi $\alpha = 5\%$, que diz respeito a uma margem de erro tolerável e que sustenta a rejeição da hipótese de nulidade. O valor-p, que é uma quantificação da probabilidade de se errar ao rejeitar H_0 . Se o valor-p era menor que o nível de significância, concluía-se que o correto era rejeitar a hipótese de nulidade.

Além da comparação do valor-p com o α , também foi levado em consideração na ANOVA o teste F de Fischer, que calculou o valor F crítico. Quando o valor F era maior que o F crítico, rejeitava-se H_0 .

Rejeitar H_0 significa aceitar a hipótese alternativa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ABATIMENTO DO CONCRETO

A Tabela 8 apresenta o abatimento do concreto medido a cada 15 minutos para os dois tipos de correção e a taxa de perda de abatimento das misturas ao longo do tempo de duração do ensaio, através da diferença entre os abatimentos dividido pelo intervalo de tempo passado, incluindo os processos de recuperação do abatimento que ocorreram aos 60-75 min, 135-150 min e 225-240 min.

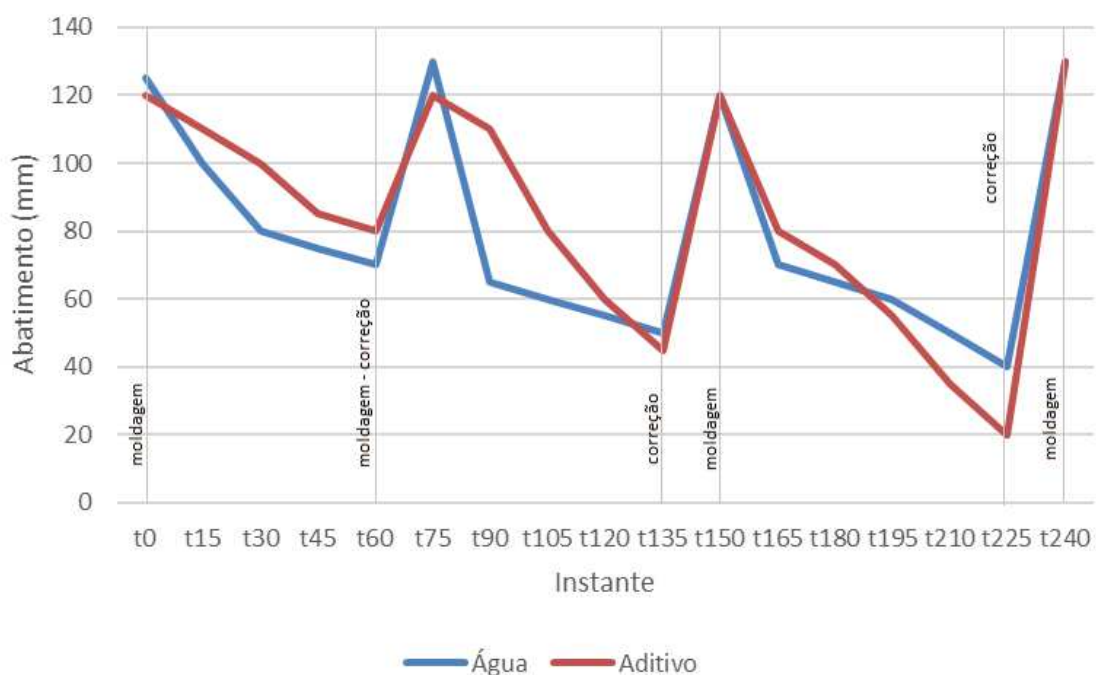
Tabela 8 – Taxa de perda do abatimento dos concretos cuja correção foi feita com água e com aditivo

Instante	Abatimento (água) (mm)	Perda de abatimento (água) (mm/min)	Perda de abatimento (água) (mm/min)	Abatimento (aditivo) (mm)	Perda de abatimento (aditivo) (mm/min)	Perda de abatimento (aditivo) (mm/min)
t ₀	125	-		120	-	
t ₁₅	100	1,67		110	0,67	
t ₃₀	80	1,33	0,92	100	0,67	0,66
t ₄₅	75	0,33		85	1,00	
t ₆₀	70	0,33		80	0,33	
t ₇₅	130	-		120	-	
t ₉₀	65	4,33		110	0,67	
t ₁₀₅	60	0,33	1,33	80	2,00	1,25
t ₁₂₀	55	0,33		60	1,33	
t ₁₃₅	50	0,33		45	1,00	
t ₁₅₀	120	-		120	-	
t ₁₆₅	70	3,33		80	2,67	
t ₁₈₀	65	0,33	1,066	70	0,67	1,33
t ₁₉₅	60	0,33		55	1,00	
t ₂₁₀	50	0,67		35	1,33	
t ₂₂₅	40	0,67		20	1,00	
t ₂₄₀	130	-	-	130	-	-

Fonte: Autor (2019).

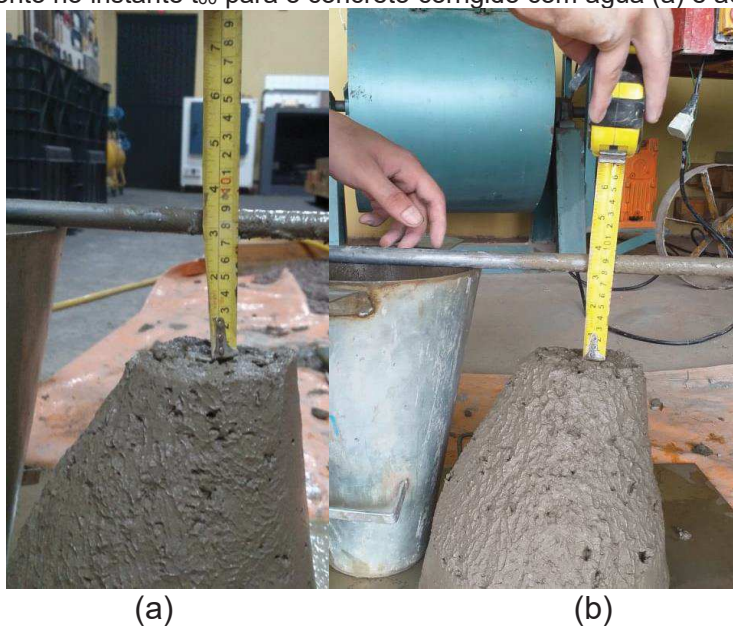
Podemos verificar que de uma maneira geral, ambos os métodos apresentaram valores iniciais e finais de abatimento próximos, não apresentando grande variação para a manutenção do abatimento em função do método escolhido. A Figura 18 representa a perda do abatimento para ambos os dias de ensaio de maneira gráfica.

Figura 18 – Abatimento do concreto em função do tempo



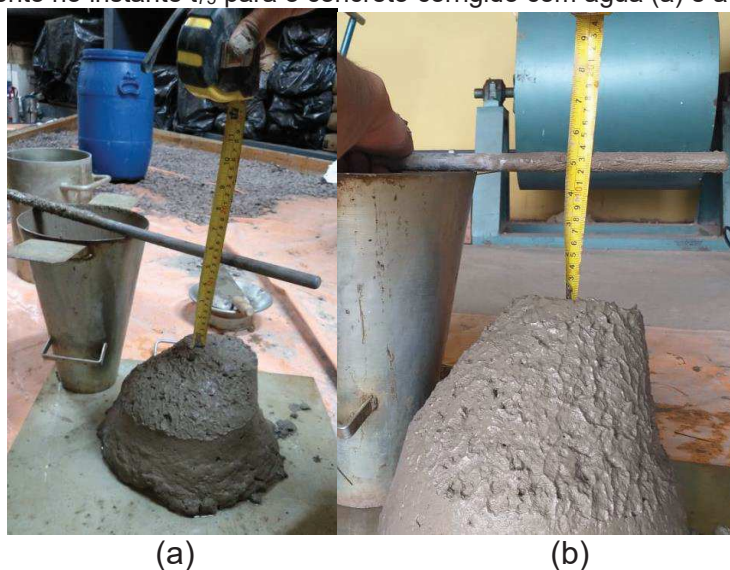
Fonte: Autor (2019).

No intervalo entre t_0 – t_{60} , verificou-se uma pequena variação no abatimento do concreto entre as duas betonadas, visto que neste intervalo em nenhum dos concretos fora realizada correção do abatimento. As Figura 19 e 20 apresentam o abatimento no instante t_{60} e após a correção, no instante t_{75} .

Figura 19 – Abatimento no instante t_{60} para o concreto corrigido com água (a) e aditivo (b)

Fonte: Autor (2019).

Figura 20 – Abatimento no instante t_{75} para o concreto corrigido com água (a) e aditivo (b)

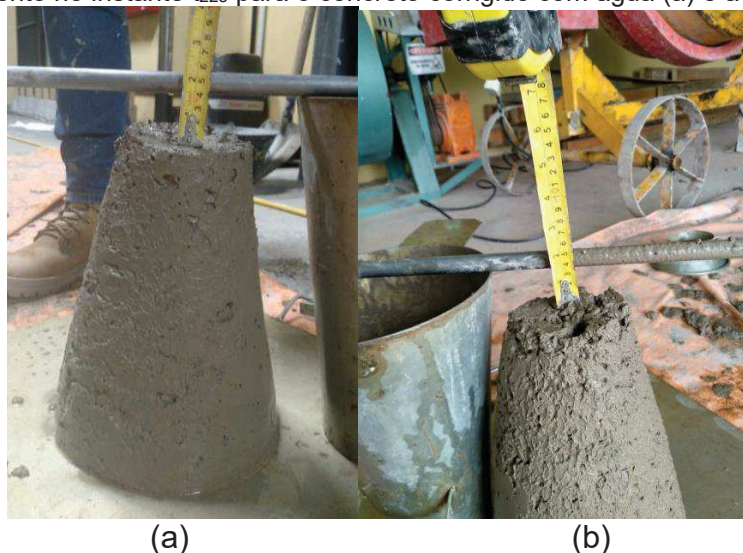


Fonte: Autor (2019).

É possível observar que para o intervalo $t_{75} - t_{135}$ a taxa de perda foi mais pronunciada nos primeiros 15 minutos para o concreto dosado com água. No entanto, levando-se em conta a taxa de perda de abatimento média para o mesmo intervalo, o resultado foi semelhante, ambos apresentando abatimento inicial e final próximos. Observando a Figura 18, é possível notar que o concreto com aditivo manteve um abatimento mais elevado na maior parte do intervalo.

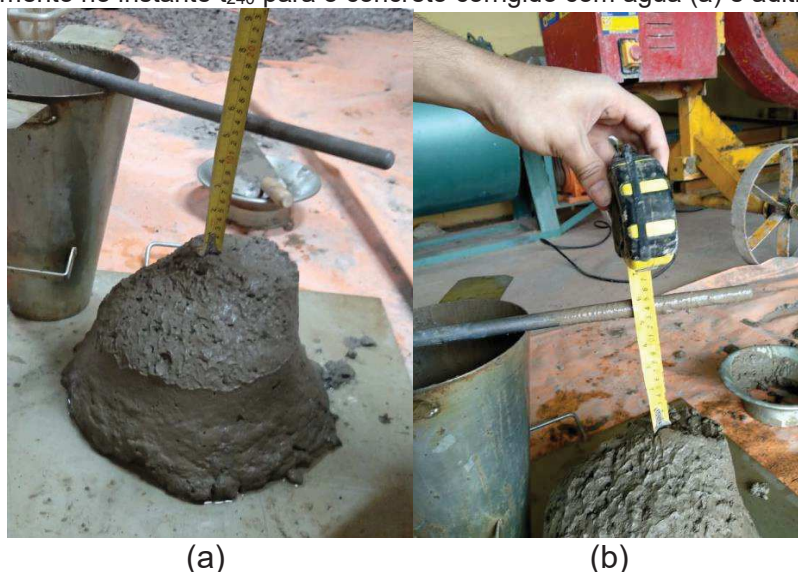
Para o intervalo $t_{150} - t_{225}$ observou-se que, exceto para os primeiros 15 minutos, o concreto dosado com aditivo apresentou uma taxa de perda de abatimento mais elevada na maior parte do tempo. As Figuras 21 e 22 apresentam o abatimento no instante t_{225} e após a correção, no instante t_{240} .

Figura 21 - Abatimento no instante t_{225} para o concreto corrigido com água (a) e aditivo (b)



Fonte: Autor (2019).

Figura 22 - Abatimento no instante t_{240} para o concreto corrigido com água (a) e aditivo (b)



Fonte: Autor (2019).

Para o restabelecimento do abatimento do concreto no ensaio com água, aos 60-75 min, 135-150 min e 225-240 min, a quantidade de água adicionada e o novo fator água/cimento são apresentados na Tabela 9. É apresentado também a capacidade de recuperação do abatimento, dividindo-se a diferença entre o abatimento após correção e anterior à correção pelo abatimento após a correção.

Tabela 9 – Água adicionada para o restabelecimento do abatimento

Instante	Água adicionada ¹ (%)	Fator a/c	Recuperação do abatimento (%)
t_0	-	0,57	-
t_{60}	4,41	0,59	46,15
t_{135}	7,57	0,64	58,33
t_{225}	8,30	0,69	69,23

¹ Porcentagem em relação à massa de água presente no concreto no momento da adição
Fonte: Autor (2019).

Nota-se que o fator água/cimento apresentou um aumento de 21% entre o momento inicial e o momento da última correção. A influência desta alteração nas propriedades do concreto será discutida na sessão seguinte.

Para o restabelecimento do abatimento do concreto no ensaio com aditivo, aos 60-75 min, 135-150 min e 225-240 min, o teor de aditivo adicionado, o teor de aditivo acumulado e a recuperação do abatimento são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Teor de aditivo adicionado ao concreto

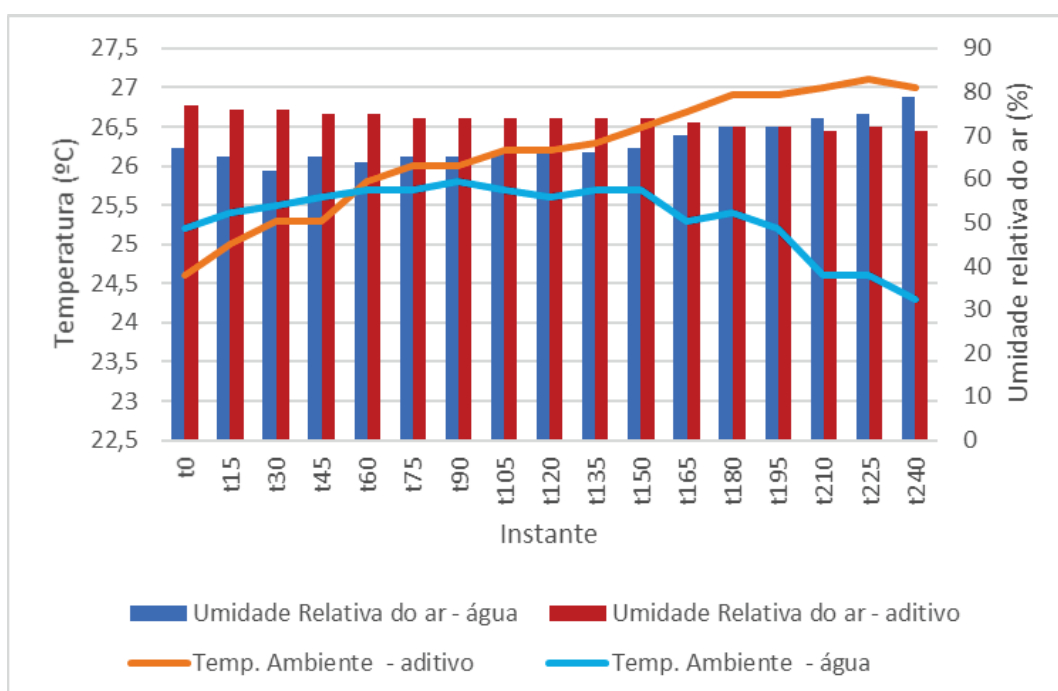
Instante	Teor de aditivo adicionado ¹ (%)	Teor de aditivo acumulado ¹ (%)	Recuperação do abatimento (%)
t ₀	-	0,0	-
t ₆₀₋₇₅	0,137	0,137	33,33
t ₁₃₅₋₁₅₀	0,187	0,324	62,50
t ₂₂₅₋₂₄₀	0,152	0,476	84,61

¹ Porcentagem em relação à massa de cimento presente no concreto no momento da adição
Fonte: Autor (2019).

É possível notar que após a primeira correção, a utilização de um menor teor de aditivo ocasionou uma melhor recuperação do abatimento. Segundo Pelissari, Tremea e Gava (2012), isso se deve ao fato da existência de uma maior dispersão da pasta de cimento, diminuindo a viscosidade da mistura conforme o acréscimo de aditivo é feito de maneira acumulada.

De acordo com Neville (2016), as condições ambientais e a temperatura média do concreto podem influenciar a perda de abatimento. Deste modo, esses dados foram registrados durante a realização dos ensaios, sendo aferidos a cada quinze minutos. A Figura 23 apresenta as condições ambientais medidas durante a realização do ensaio.

Figura 23 – Variação da temperatura ambiente e umidade relativa do ar durante a produção do concreto



Fonte: Autor (2019).

Para ambos os dias de ensaio, a temperatura ambiente manteve-se relativamente controlada em torno de $25 \pm 2^\circ\text{C}$. No entanto, para o dia do ensaio com aditivo, a temperatura sofreu um aumento progressivo conforme o tempo passava o que não ocorreu para o dia do ensaio com água. Para ambos os casos, a temperatura se manteve dentro do limite recomendado pela NBR 7212 (ABNT, 2012) entre 5°C e 30°C .

A umidade relativa do ar manteve-se mais estável para o dia de ensaio com o aditivo, com mínima de 71% e máxima de 77%. Para o ensaio com água, a variação foi mais pronunciada, com mínima de 62% e máxima de 79%.

4.2. INFLUÊNCIA DA CORREÇÃO DA TRABALHABILIDADE NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

A forma como a adição suplementar de aditivo ou água influenciou as propriedades do concreto analisadas é avaliada e discutida nos tópicos a seguir.

4.2.1. Massa específica

Os resultados obtidos do ensaio de massa específica do concreto são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Massa específica do concreto fresco

Instante	Massa específica (água) (kg/m^3)	Massa específica (aditivo) (kg/m^3)
t_0	2524,48	2524,48
t_{60}	2522,41	2522,41
t_{120}	2518,25	2551,48
t_{150}	2514,10	2526,48
t_{195}	2499,56	2563,95
t_{240}	2509,95	2524,48
Média	2514,79	2537,76
s	9,162824	18,79743
CV	0,003644	0,007407

Fonte: Autor (2019).

É possível notar que os valores de massa específica se mantiveram semelhantes durante toda a duração do ensaio, com um coeficiente de variação baixo para ambos os tipos de correção.

4.2.2. Resistência à compressão

A resistência à compressão axial dos corpos de prova aos 7 e 28 dias foi calculada a partir dos resultados do ensaio de compressão, sendo apresentados nas Tabelas 12 e 13, respectivamente

Tabela 12 – Resistência à compressão do concreto aos 7 dias

		Resistência à compressão (MPa)					
Instante	t ₀	t ₆₀	t ₁₂₀	t ₁₅₀	t ₁₉₅	t ₂₄₀	
Aditivo	37,02	37,45	37,43	33,74	37,33	34,94	
	38,13	37,83	37,71	34,72	37,07	36,11	
	35,85	39,16	36,24	35,49	37,18	34,45	
	39,29	38,77	37,68	32,98	40,12	33,29	
Média	37,57	38,30	37,27	34,23	37,93	34,70	
	43,54	39,33	41,75	33,25	38,16	33,15	
Água	41,83	38,58	39,83	37,98	36,11	33,20	
	40,33	40,54	40,14	36,55	35,62	32,24	
	39,67	39,74	40,49	36,21	37,98	32,34	
Média	41,34	39,55	40,55	36,00	36,97	32,73	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 13 – Resistência à compressão do concreto aos 28 dias

		Resistência à compressão (MPa)					
Instante	t ₀	t ₆₀	t ₁₂₀	t ₁₅₀	t ₁₉₅	t ₂₄₀	
Aditivo	41,17	45,77	39,88	40,67	43,48	40,44	
	40,26	39,64	38,56	36,43	40,74	36,77	
	42,40	43,05	40,82	39,11	43,30	37,32	
	40,48	42,62	38,55	40,84	40,19	35,57	
Média	41,08	42,77	39,45	39,26	41,93	37,53	
	44,71	43,71	42,74	38,52	42,48	35,21	
Água	44,33	42,60	42,19	38,36	39,09	33,48	
	43,41	42,59	41,99	37,45	37,63	33,38	
	43,15	41,55	41,88	37,42	37,47	31,91	
Média	43,90	42,62	42,20	37,94	39,17	33,49	

Fonte: Autor (2019).

De posse destes resultados, foi realizado o saneamento dos dados de resistência à compressão aos 28 dias através do teste T de *Chauvenet*. As Tabelas 14 a 19 apresentam os resultados do saneamento para o concreto cujo restabelecimento foi realizado através de água.

Tabela 14 – Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com água e tempo t_0

Água t_0						
Resistencia à compressão						<i>Chauvenet</i>
Exemplar	fc (MPa)	f _{c,m} (MPa)	S	CV	T	T(máx)
1	44,71	43,90	0,74	1,68	1,10	1,534
2	44,33				0,57	
3	43,41				0,66	
4	43,15				1,01	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 15 - Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com água e tempo t_{60}

Água t_{60}						
Resistencia à compressão						<i>Chauvenet</i>
Exemplar	fc (MPa)	f _{c,m} (MPa)	S	CV	T	T(máx)
1	43,71	42,62	0,88	2,07	1,25	1,534
2	42,60				0,01	
3	42,59				0,03	
4	41,55				1,20	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 16 - Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com água e tempo t_{120}

Água t_{120}						
Resistencia à compressão						<i>Chauvenet</i>
Exemplar	fc (MPa)	f _{c,m} (MPa)	S	CV	T	T(máx)
1	42,74	42,20	0,38	0,91	1,41	1,534
2	42,19				0,02	
3	41,99				0,55	
4	41,88				0,84	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 17 - Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com água e tempo t_{150}

Água t_{150}						
Resistencia à compressão						<i>Chauvenet</i>
Exemplar	fc (MPa)	f _{c,m} (MPa)	S	CV	T	T(máx)
1	38,52	37,94	0,58	1,54	1,00	1,534
2	38,36				0,72	
3	37,45				0,84	
4	37,42				0,88	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 18 - Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com água e tempo t_{195}

Água t_{195}						
Resistencia à compressão						<i>Chauvenet</i>
Exemplar	fc (MPa)	f _{c,m} (MPa)	s	CV	T	T(máx)
1	42,48	39,17	2,32	5,93	1,42	1,534
2	39,09				0,03	
3	37,63				0,66	
4	37,47				0,73	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 19 - Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com água e tempo t_{240}

Água t_{240}						
Resistencia à compressão						<i>Chauvenet</i>
Exemplar	fc (MPa)	f _{c,m} (MPa)	s	CV	T	T(máx)
1	35,21	33,49	1,35	4,03	1,27	1,534
2	33,48				0,01	
3	33,38				0,09	
4	31,91				1,17	

Fonte: Autor (2019).

Como nenhum dentre os valores T calculados foi superior ao valor T máximo, nenhum dos dados foi descartado. As Tabelas 20 a 25 apresentam os resultados do saneamento para o concreto cujo restabelecimento foi realizado através de aditivo.

Tabela 20 - Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com aditivo e tempo t_0

Aditivo t_0						
Resistencia à compressão						<i>Chauvenet</i>
Exemplar	fc (MPa)	f _{c,m} (MPa)	s	CV	T	T(máx)
1	41,17	41,08	0,97	2,35	0,09	1,534
2	40,26				0,85	
3	42,40				1,37	
4	40,48				0,62	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 21 - Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com aditivo e tempo t_{60}

Aditivo t_{60}						
Resistencia à compressão						<i>Chauvenet</i>
Exemplar	fc (MPa)	f _{c,m} (MPa)	s	CV	T	T(máx)
1	45,77	42,77	2,51	5,87	1,20	1,534
2	39,64				1,25	
3	43,05				0,11	
4	42,62				0,06	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 22 - Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com aditivo e tempo t_{120}

Aditivo t_{120}						
Resistencia à compressão						<i>Chauvenet</i>
Exemplar	fc (MPa)	f _{c,m} (MPa)	s	CV	T	T(máx)
1	39,88	39,45	1,11	2,80	0,39	1,534
2	38,56				0,81	
3	40,82				1,24	
4	38,55				0,82	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 23 - Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com aditivo e tempo t_{150}

Aditivo t_{150}						
Resistencia à compressão						<i>Chauvenet</i>
Exemplar	fc (MPa)	f _{c,m} (MPa)	s	CV	T	T(máx)
1	40,67	39,26	2,04	5,20	0,69	1,534
2	36,43				1,39	
3	39,11				0,08	
4	40,84				0,77	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 24- Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com aditivo e tempo t_{195}

Exemplar	Aditivo t_{195}				T	<i>Chauvenet</i> T(máx)
	Resistencia à compressão					
	f_c (MPa)	$f_{c,m}$ (MPa)	s	CV		
1	43,48	41,93	1,70	4,06	0,91	1,534
2	40,74				0,70	
3	43,30				0,81	
4	40,19				1,02	

Fonte: Autor (2019).

Tabela 25 - Teste T de *Chauvenet* para concreto dosado com aditivo e tempo t_{240}

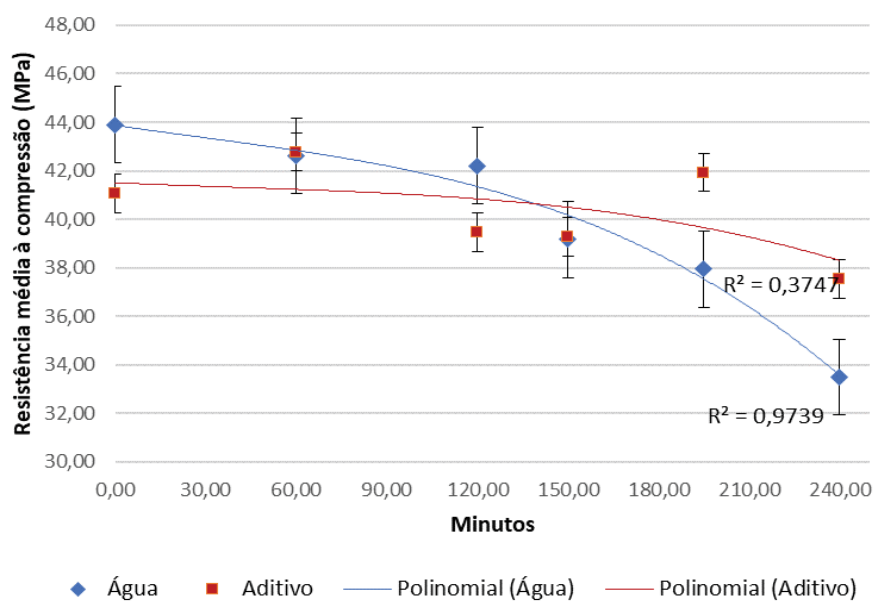
Exemplar	Aditivo t_{240}				T	<i>Chauvenet</i> T(máx)
	Resistencia à compressão					
	f_c (MPa)	$f_{c,m}$ (MPa)	s	CV		
1	40,44	37,53	2,08	5,53	1,40	1,534
2	36,77				0,36	
3	37,32				0,10	
4	35,57				0,94	

Fonte: Autor (2019).

Como nenhum dentre os valores T calculados foi superior ao valor T máximo, nenhum dos dados foi descartado.

A Figura 24 apresenta de maneira gráfica os resultados das médias das resistências à compressão aos 28 dias em função do tempo, além da curva de tendência.

Figura 24 – Resistência à compressão dos concretos aos 28 dias



Fonte: Autor (2019).

É possível notar que o concreto cujo restabelecimento foi realizado com água apresentou uma perda de resistência em função do tempo, com o menor valor registrado aos 240 minutos. Para o concreto dosado com aditivo, verifica-se uma oscilação na resistência à compressão em função do tempo. O mesmo apresentou um valor semelhante para os instantes t_{120} e t_{150} , uma elevação no instante t_{195} e uma posterior redução no t_{240} .

De posse dos resultados, foi realizada, através do *software Excel®*, uma análise estatística do tipo ANOVA de dois fatores de forma a verificar se há diferença significativa para a resistência do concreto aos 28 dias em função do método de correção do abatimento e do tempo, e se há interação entre os dois fatores.

A primeira ANOVA foi feita comparando o período entre t_0 e t_{60} , pois ainda não haviam sido moldados corpos-de-prova com correção do abatimento. Desta maneira, o objetivo foi verificar se as duas amostras eram estatisticamente iguais até então. A Tabela 26 apresenta o resumo da análise.

Tabela 26 – Análise do tipo ANOVA de dois fatores para as resistências à compressão

ANOVA							
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	F crítico	Valor-P	α
Ensaio	7,123263	1	7,123263	3,329424	4,747225	0,093032	0,05
Tempo	0,16722	1	0,16722	0,078159	4,747225	0,784568	0,05
Interações	8,886966	1	8,886966	4,153781	4,747225	0,064207	0,05
Dentro	25,67386	12	2,139488				
Total	41,85131	15					

Fonte: Autor (2019).

Para a linha ensaios, a hipótese nula era que a resistência à compressão para ambos os dias de ensaio era igual. Como o valor-p é maior do que alfa, e o valor F é menor que o F-crítico, não se deve rejeitá-la. É importante reiterar que nesse momento as correções ainda não haviam sido feitas.

Para a linha tempo, a hipótese nula era que a resistência à compressão para os diferentes tempos era estatisticamente igual. Como o valor-p é maior do que alfa, e o valor F é menor que o F-crítico, também não se deve rejeitá-la. Isso significa que para ambos os instantes, t_0 e t_{60} , não houve variações estatisticamente significativas na resistência à compressão.

Para as interações, a hipótese nula era que não havia interação entre os dois fatores: tempo e agente para correção da trabalhabilidade. Também não se deve rejeitar esta hipótese com base nos resultados da análise.

Pode-se então afirmar que até o momento imediatamente anterior à primeira correção do abatimento, ambas resistências à compressão dos concretos não apresentavam diferença significativa entre si.

Em seguida, realizou-se o mesmo tipo de análise, levando-se em conta os resultados após o instante t_{120} , que é o instante onde há a primeira moldagem após a correção do abatimento. A Tabela 27 apresenta o resumo da análise.

Tabela 27 – Análise do tipo ANOVA de dois fatores para as resistências à compressão

ANOVA							
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	F crítico	Valor-P	α
Ensaio	14,41364	1	14,41364	5,678987	4,259677	0,025434	0,05
Tempo	143,9964	3	47,99878	18,91156	3,008787	$1,63 \cdot 10^{-6}$	0,05
Interações	51,99329	3	17,3311	6,828467	3,008787	0,001735	0,05
Dentro	60,91357	24	2,538065				
Total	271,3169	31					

Fonte: Autor (2019).

Para a linha ensaios, a hipótese nula era que a resistência à compressão para ambos os dias de ensaio era igual, como o valor-p é menor do que alfa, e o valor F é maior que o F-crítico, deve-se rejeitá-la. Isso significa que a resistência à compressão do concreto é estatisticamente diferente para as duas formas de correção da trabalhabilidade.

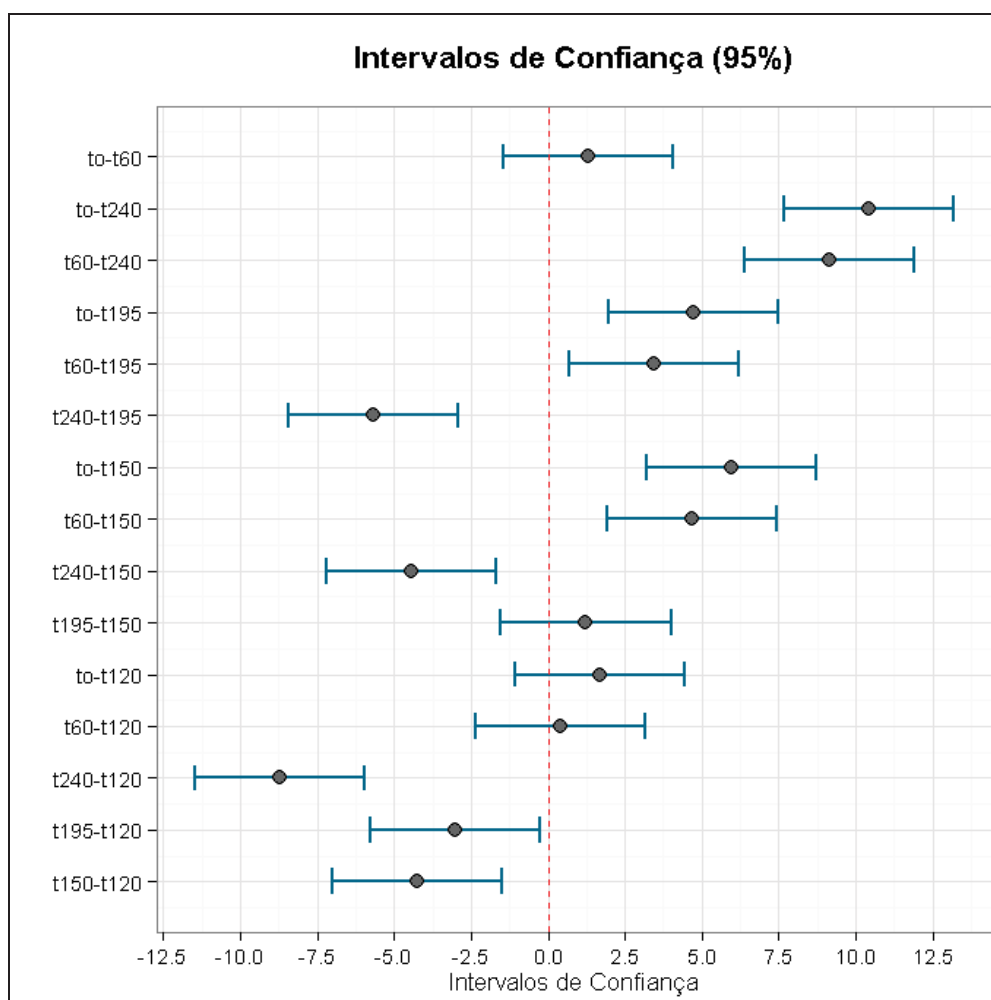
Para a linha tempo, a hipótese nula era que a resistência à compressão para os diferentes tempos era estatisticamente igual, como o valor-p é menor do que alfa, e o valor F é maior que o F-crítico, também deve-se rejeitá-la. Isso significa que para o ensaio de correção do abatimento houve variação da resistência à compressão conforme o tempo passava.

Para as interações a hipótese nula era que não havia interação entre os dois fatores: tempo e agente para correção da trabalhabilidade. Também deve-se rejeitá-la, ou seja, levando-se em consideração o agente de correção e o tempo a diferença é estatisticamente significativa.

Pode-se então afirmar que após a correção do abatimento, levando-se em consideração os dois fatores, tempo e agente de correção do abatimento, ao menos uma dentre as amostras é diferente.

Para verificar quais dentre as amostras eram diferentes e quais eram iguais em relação ao tempo na correção do abatimento com água, foi realizada então através do *software Action®*, uma análise pelo teste T de *Tukey*. O resultado da análise é representado pela Figura 25.

Figura 25 – Teste T de *Tukey* para o concreto cujo restabelecimento do abatimento foi realizado com água



Fonte: Autor (2019).

Os pares que não interceptam o eixo central, representado pela linha pontilhada vermelha, possuem valores estatisticamente diferentes. Os que interceptam o eixo 0 são considerados estatisticamente iguais. É possível notar que para o ensaio realizado com água, foram poucos os pares iguais, configurando três grupos distintos, indicados na Tabela 28 e Figura 26.

Tabela 28 – Grupos com médias estatisticamente iguais para correção com água

Instante	$f_{c,m}$ (Mpa)	Grupo
t_0	43,90	a
t_{60}	42,62	a
t_{120}	42,20	a
t_{150}	39,17	b
t_{195}	37,94	b
t_{240}	33,49	c

Fonte: Autor (2019).

Figura 26 - Grupos com médias estatisticamente iguais para correção com água



Fonte: Autor (2019).

Nota-se uma relação entre os grupos e o fator água/cimento, conforme apresentado na Tabela 29. A divisão dos grupos de médias estatisticamente iguais é similar à divisão entre grupos de mesmo fator água/cimento, exceto para a mudança de 0,57 para 0,59, a qual não resultou em variação das resistências.

Tabela 29 – Relação entre grupos e fator água/cimento para correção com água

Instante	$f_{c,m}$ (Mpa)	Grupo	Fator a/c
t_0	43,90	a	0,57
t_{60}	42,62	a	0,57
t_{120}	42,20	a	0,59
t_{150}	39,17	b	0,64
t_{195}	37,94	b	0,64
t_{240}	33,49	c	0,69

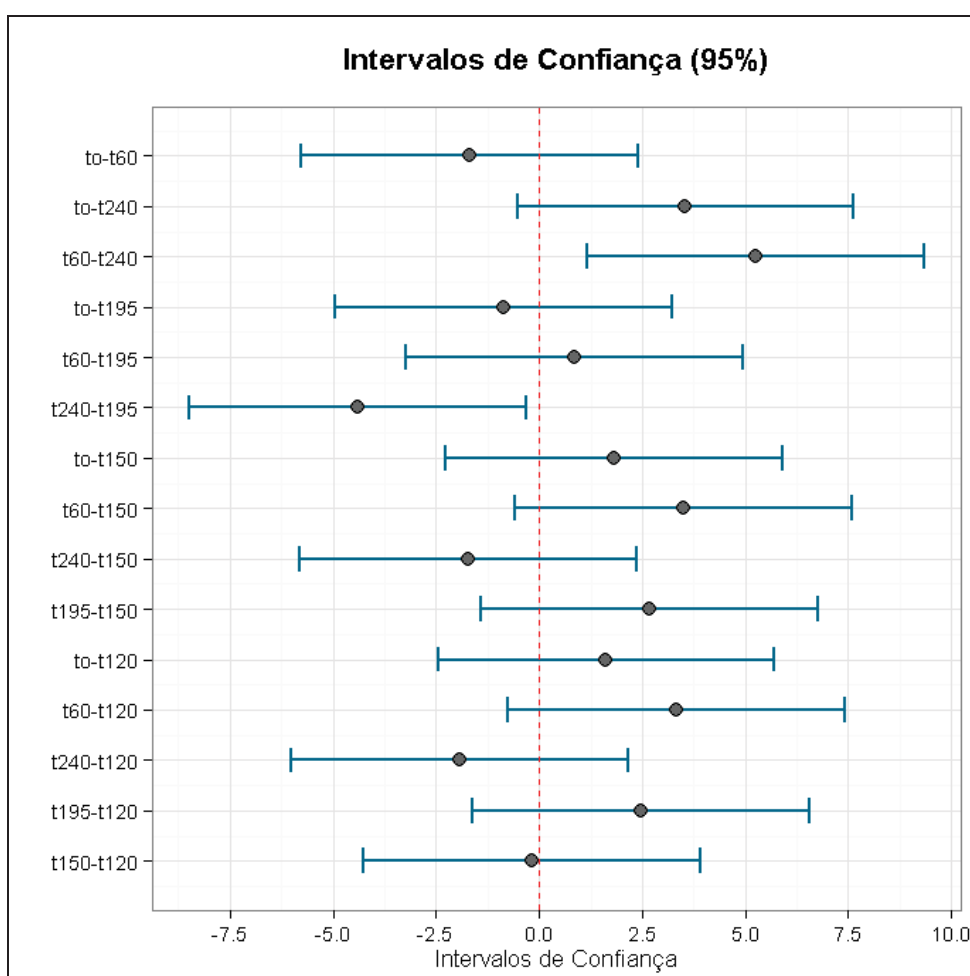
Fonte: Autor (2019).

Também é possível verificar que a resistência à compressão média apresentou uma queda em função da elevação do fator água/cimento. A diminuição da resistência foi de 23,71% entre o instante inicial e final. Teixeira e Pelisser (2007), verificaram que o aumento da relação água/cimento devido à correção do abatimento ocasionou perdas superiores a 40% da resistência mecânica para

correções realizadas após 150 min. Pelissari, Tremea e Gava (2012) constataram uma perda próxima a 20% em relação à mistura inicial para concretos cujo abatimento foi restabelecido com água.

Para verificar quais dentre as amostras eram diferentes e quais eram iguais em relação ao tempo na correção do abatimento com aditivo, foi realizada então uma análise pelo teste T de *Tukey* de maneira análoga à anterior. O resultado da análise é representado pela Figura 26.

Figura 27 – Teste T de *Tukey* para o concreto cujo restabelecimento do abatimento foi realizado com aditivo



Fonte: Autor (2019).

É possível notar que, diferentemente do caso anterior, grande parte dos resultados encontrou-se com médias estatisticamente iguais. As únicas diferenças foram entre os pares t_{240} e t_{195} e os pares t_{60} e t_{240} . Os grupos formados são apresentados na Tabela 30 e Figura 27, onde evidencia-se a existência de dois grupos distintos e sua respectiva interseção.

Tabela 30 – Grupos de médias estatisticamente iguais para correção com aditivo

Instante	f_{cm} (Mpa)	Grupo	Fator a/c
t_0	41,08	ab	0,57
t_{60}	42,77	a	0,57
t_{120}	39,45	ab	0,57
t_{150}	39,26	ab	0,57
t_{195}	41,93	a	0,57
t_{240}	37,53	b	0,57

Fonte: Autor (2019).

Figura 28 - Grupos de médias estatisticamente iguais para correção com aditivo



Fonte: Autor (2019).

Esse comportamento evidencia que a utilização do aditivo do tipo *Mid Range* para a correção do abatimento resultou em uma maior homogeneidade dos resultados de resistência à compressão do concreto, mesmo com o passar do tempo. A diminuição da resistência entre o instante inicial e final foi de 8,64%. É possível notar também que apesar da diminuição, a resistência à compressão inicial é estatisticamente igual à final, confirmando a possibilidade de utilização do concreto mesmo ultrapassando o tempo limite especificado pela NBR 7212 (ABNT, 2012), fato também constatado por Malacarne, Santos e Gava (2016) e Polesello (2013).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa foi possível comparar os efeitos da correção da trabalhabilidade do concreto utilizando aditivo do tipo *Mid Range* e através da utilização de água, concluindo-se que:

Para os materiais e condições do estudo, o tempo limite fixado pela NBR 7212 (ABNT, 2012) de 150 minutos para o lançamento do concreto dosado em central pôde ser ultrapassado, sem perdas significativas para a sua resistência, caso o abatimento seja restabelecido com aditivo do tipo *Mid Range*.

A manutenção do abatimento não apresentou grande variação em função do método utilizado, água ou aditivo.

O método utilizado para a correção do abatimento e o tempo decorrido são fatores estatisticamente significativos para a resistência à compressão axial do concreto, assim como a interação entre ambos.

O concreto cujo restabelecimento foi realizado através de aditivo do tipo *Mid Range* apresentou resultados de resistência média à compressão mais homogêneos durante o decorrer das 4 horas de ensaio.

O concreto cujo restabelecimento foi realizado através da utilização de água apresentou uma diminuição progressiva da resistência média à compressão durante o decorrer das 4 horas de ensaio, chegando a uma redução de 23,71%, resultante provavelmente do aumento da porosidade relacionado à elevação do fator água/cimento da mistura,

Os grupos de resistências estatisticamente iguais para o concreto cujo restabelecimento foi realizado através da utilização de água foram similares aos grupos de mesmo fator água/cimento, evidenciando a influência deste último na resistência à compressão do concreto e reiterando a recomendação da NBR 7212 (ABNT, 2012) de não ultrapassar o fator água/cimento estipulado pelo traço.

Constata-se então que o uso de aditivo do tipo *Mid Range* é um recurso mais seguro para a recuperação da trabalhabilidade do concreto, em relação à sua resistência à compressão.

Como sugestão para trabalhos futuros, poderiam ser feitas comparações entre diferentes tipos de aditivos que também sejam usados frequentemente por centrais dosadoras de concreto, além de avaliar a influência sobre outros

parâmetros que não foram contemplados por este trabalho, como o tempo de pega e a exsudação. Outra sugestão seria a elevação do tempo de duração do ensaio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESC, Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil. **Manual concreto dosado em central**. São Paulo: Abril, 2007. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/pdf/manual.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2018.

ABRAMS, Duff Andrew. **Design of concrete mixture**. Chicago: Lewis Institute, 1919.

AÏTCIN, P. C.; JOLICOEUR, C.; MACGREGOR, J. G. Superplasticizers: how they work and why they occasionally don't. **Concrete International**, v. 16, n. 5, p. 45-52, maio 1994.

ALTHEMAN, Dener.; ROCHA, Heverton. Módulo de elasticidade do concreto. **Informativo Concrepav**, 2.ed., 2014. Disponível em: <http://www.concrepav.com.br/wp-content/uploads/2014/05/Informativo_Concrepav_Modulo_Elasticidade_Concreto-Site.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2018.

ALVES, Marcelo Corrêa. **Teste t de Student**. Piracicaba: Proc Step, 2017.

ANDRADE, W. P.; FURNAS, E. **Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo - ensaios e propriedades**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 1997. v. 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (São Paulo). **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto**. 2013. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>>. Acesso em: 18 jul. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 67:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 7211:** Agregados para concreto - especificação. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7212:** Execução de concreto dosado em central - procedimento. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 9833:** Concreto fresco - Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 10342:** Concreto - Perda de abatimento. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 11768:** Aditivos químicos para concreto de cimento Portland-requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 16697:** Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

A BASKOCA,; OZKUL, M.h; ARTIRMA, S. Effect of Chemical Admixtures on Workability and Strength Properties of Prolonged Agitated Concrete. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 28, n. 5, p.737-747, maio 1998. Elsevier BV.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2003. V. 1.

CARNEIRO, Guilherme Victor Humberto Soares; GIL, Leonardo Koziel dos Santos; CAMPOS NETO, Manoel Pires. **Calor de Hidratação no Concreto**. 2011. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e Propriedades do Betão**. Lisboa: ed. LNEC, 1997. Vol. I.

ERDOLJDU, Şakir. Effect of retempering with superplasticizer admixtures on slump loss and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 35, n. 5, p.907-912, maio 2005. Elsevier BV.

FELEKOĞLU, Burak; SARIKAHYA, Hasan. Effect of chemical structure of polycarboxylate-based superplasticizers on workability retention of self-compacting concrete. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 22, n. 9, p.1972-1980, set. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.005>.

FONSECA, Gustavo Celso da. **ADIÇÕES MINERAIS E AS DISPOSIÇÕES NORMATIVAS RELATIVAS À PRODUÇÃO DE CONCRETO NO BRASIL: UMA ABORDAGEM EPISTÊMICA**. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. FURNAS, LABORATÓRIO DE CONCRETO, DEPARTAMENTO DE APOIO E CONTROLE TÉCNICO.

GARTNER, E.M.; KANARE. **Microstructural Development around a Cement Particle**. H. L. Cement Research Program, 1984

GAVA, P. G.; MENEGUETTI, L. C.; DALCANAL, P. R.; POSSAN, E. **Concreto de normal e alta resistência – definição do teor de aditivo redutor de água e dosagem para materiais da região do oeste do Paraná**. Anais do 43º Congresso Brasileiro do Concreto, 2001.

GEYER, A. L. B.; RESENDE, R. **Importância do controle de qualidade do concreto no estado fresco**. Informativo Realmix, 2. ed., julho de 2006.

GUIMARÃES, A. T. V. Propriedades do concreto fresco. In: ISAIA, Geraldo Cechella **Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. Vol. 1. Cap. 16. p. 473 - 493.

HARTMANN, Carine Toso; HELENE, Paulo R. L. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. 2002. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: Editora Pini, 1992.

KIRCA, Önder; TURANLI, Lutfullah; ERDOĞAN, Turhan y. Effects of retempering on consistency and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.441-445, mar. 2002. Elsevier BV.

MALACARNE, C. S.; SANTOS, E. P.; GAVA, G. P. Correção da perda de abatimento a partir da adição suplementar de aditivo redutor de água e seus efeitos nas propriedades do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 59, Bento Gonçalves. **Anais**. 2017. Bento Gonçalves: IBRACON, 2017.

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

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed., São Paulo: IBRACON, 2014.

MELO, K. A.; MARTINS, V. C.; REPETTE, L. W. **Estudo de compatibilidade entre cimento e aditivo redutor de água**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v.9, n.1,p.45-46, 2009.

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

PACHECO, J.; HELENE, P. **Boletín Técnico: Controle da resistência do concreto Brasil**. ALCONPAT, 2013.

PELISSARI, V.; TREMEA, T. T.; GAVA, G. P. A perda de abatimento do concreto e avaliação dos procedimentos de sua correção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54, Maceió. **Anais**. 2012. Maceió: IBRACON, 2012.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 13. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1995.

POLESELLO, Eduardo et al. O limite de tempo especificado pela NBR 7212, para mistura e transporte do concreto, pode ser ultrapassado? **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, Gramado, v. 6, n. 2, p.339-359, abr. 2013.

REGATTIERI, Carlos Eduardo Xavier; MARANHÃO, Flávio Leal. **Produção e controle de concreto dosado em central**. In: CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Ed. G. C. ISAIA. – São Paulo: IBRACON. 2011.

SCHMIDT, Holger. **Tendências da tecnologia dos aditivos para concreto**. Belo Horizonte: IBRACON, 2016.

SOUZA, Paulo Alysson Brilhante Faheina de. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato**. 2007. 232 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

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.

VASCONCELOS, A. C. **O misterioso módulo de elasticidade**. Artigo técnico. Desenvolvido por TQS – Software CAD para Cálculo Estrutural. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/suporte-e-servicos/biblioteca-digital-tqs/89-artigos/199-o-misterioso-modulo-de-elasticidade>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

VASCONCELOS, A.C. **O Concreto no Brasil**. São Paulo: Ed. Pede, 1992.

ZALAF, Rafael Schmaltz; MAGALHÃES FILHO, Saulo Ribeiro; BRAZ, Thiago Carvalho. **ESTUDO DO CONTROLE TECNOLÓGICO E RECEBIMENTO DO CONCRETO EM OBRA**. 2014. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

APÊNDICE A – Granulometria dos agregados

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248 – BRITA 1						
PENEIRAS	1ª DETERMINAÇÃO		2ª DETERMINAÇÃO		% Retida Média	% Retida Acumulada
	Diâmetros (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	Massa Retida (g)		
25,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
19,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
12,50	2114,3	33,6	2008,3	32,6	33	33
9,50	2491,7	39,6	2578,4	41,8	41	74
6,30	1579,3	25,1	1478,8	24,0	25	98
4,75	10,5	0,2	7,0	0,1	0	99
Fundo	23,6	0,4	23,7	0,4	0	99
Pó	65	1,0	70,2	1,1	1	100
Soma	6284,4		6166,4			
DIÂMETRO MÁXIMO = 19,0 mm			MÓDULO DE FINURA = 6,72			

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248 – BRITA 0						
PENEIRAS	1ª DETERMINAÇÃO		2ª DETERMINAÇÃO		% Retida Média	% Retida Acumulada
	Diâmetros (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	Massa Retida (g)		
12,50	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0
9,50	1,70	0,1	0,00	0,0	0	0
6,30	1025,70	33,6	888,20	29,5	32	32
4,75	1107,10	36,3	1135,70	37,7	37	69
2,36	827,20	27,1	889,00	29,5	28	97
1,18	38,70	1,3	38,00	1,3	1	98
0,60	12,80	0,4	11,70	0,4	0	99
0,30	5,20	0,2	5,10	0,2	0	99
0,15	7,20	0,2	7,60	0,3	0	99
Fundo	14,50	0,5	13,30	0,4	0	99
Pó	11,90	0,4	20,30	0,7	1	100
Soma	3052,00		3008,90			
DIÂMETRO MÁXIMO = 9,5 mm			MÓDULO DE FINURA = 5,60			

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248 – AREIA NATURAL						
PENEIRAS Diâmetros (mm)	1ª DETERMINAÇÃO		2ª DETERMINAÇÃO		% Retida Média	% Retida Acumulada
	Massa Retida (g)	% Retida	Massa Retida (g)	% Retida		
9,50	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00
6,30	4,00	0,4	1,30	0,13	0,26	0,26
4,75	4,80	0,48	3,40	0,34	0,41	0,67
2,36	51,00	5,10	42,80	4,28	4,69	5,36
1,18	113,70	11,37	101,90	10,19	10,78	16,14
0,60	185,20	18,51	173,90	17,38	17,95	34,09
0,30	200,10	20,00	200,00	19,99	20,00	54,09
0,15	417,50	41,74	446,80	44,66	43,20	97,29
Fundo	24,00	2,40	30,30	3,03	2,71	100,00
Pó						
Soma	1000,3		1000,4			
DIÂMETRO MÁXIMO = 6,3 mm			MÓDULO DE FINURA = 2,08			

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248 – AREIA ARTIFICIAL						
PENEIRAS Diâmetros (mm)	1ª DETERMINAÇÃO		2ª DETERMINAÇÃO		% Retida Média	% Retida Acumulada
	Massa Retida (g)	% Retida	Massa Retida (g)	% Retida		
9,50	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0
6,30	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0
4,75	0,60	0,1	1,20	0,2	0	0
2,36	140,20	23,2	165,20	26,2	26	25
1,18	137,30	22,7	152,60	24,2	51	48
0,60	100,50	16,7	105,60	16,8	67	65
0,30	53,40	8,8	46,00	7,3	75	73
0,15	40,40	6,7	26,20	4,2	79	79
Fundo	43,50	7,2	30,00	4,8	84	85
Pó	87,70	14,5	102,70	16,3	100	100
Soma	603,60		629,50			
DIÂMETRO MÁXIMO = 4,75 mm			MÓDULO DE FINURA = 2,90			