

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Helena Carolina Toillier

**ESTUDO DO DESEMPENHO DE ADITIVOS DE MANUTENÇÃO DE
TRABALHABILIDADE NO CONCRETO**

Santa Cruz do Sul
2017

Helena Carolina Toillier

**ESTUDO DO DESEMPENHO DE ADITIVOS DE MANUTENÇÃO DE
TRABALHABILIDADE NO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso I apresentado ao
Curso de Engenharia Civil, da Universidade de Santa
Cruz do Sul – UNISC, na área de Materiais de
Construção.

Professor Orientador: Marco Antonio Pozzobon

Santa Cruz do Sul

2017

Helena Carolina Toillier

**ESTUDO DO DESEMPENHO DE ADITIVOS DE MANUTENÇÃO DE
TRABALHABILIDADE NO CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Ms. Eng. Marco Antonio Pozzobon

Professor Orientador - UNISC

Prof. Ms. Eng. Camila Crauss

Professora Examinadora - UNISC

Prof Ms. Eng. Marcus Daniel Friedrich Dos Santos

Professor Examinador - UNISC

Santa Cruz do Sul

2017

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar-me todas às vezes em que me senti sozinha e desamparada.

Aos meus pais, Astor Toillier e Rejane B. Toillier, pelo amor e incentivo.

Ao professor orientador, Marco Antonio Pozzobon, pela paciência e dedicação no acompanhamento deste trabalho.

Aos amigos, em especial ao colega Lucas E. Silveira, pela colaboração e auxílio nas moldagens de concreto.

Aos laboratoristas, Henrique Eichner, Lidiane Kist e Rafael F. Henn, pelo comprometimento e responsabilidade na execução dos ensaios.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, torceram por mim ao longo desses cinco anos de graduação.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo do desempenho de três aditivos de manutenção de trabalhabilidade - superplastificantes mid-range - em concretos de cimento CII-F 40 com adição de cinza mineral. Os produtos testados são de três diferentes marcas, MC Bauchemie, Erca e Viapol. É baseado em ensaios de laboratório, cujos objetivos são avaliar a eficiência desses aditivos quanto a manutenção de trabalhabilidade potencial em 60 minutos, sua influência na resistência à compressão do concreto aos 28 dias e no tempo de pega da pasta de cimento. Foram elaborados quatro traços de concreto, com aumento crescente na quantidade de aglomerante, caracterizando aumento de resistência entre eles. Com base nos resultados obtidos pode-se avaliar a eficiência dos produtos quanto a manutenção de trabalhabilidade fornecida e se há influência dessa propriedade na resistência à compressão do concreto e retardo no tempo de pega. A partir deste estudo, notou-se que o aditivo da Viapol apresentou os melhores resultados quanto à manutenção de trabalhabilidade do concreto, porém os valores de resistência à compressão reduziram-se à medida que se mantinha a trabalhabilidade. O aditivo da marca Erca atendeu aos requisitos de manutenção de trabalhabilidade e apresentou boa resistência para os traços mais fortes. Já o produto da MC Bauchemie foi eficiente em somente dois traços de concreto quanto à manutenção de trabalhabilidade, contudo, apresentou valores de resistência entre os mais elevados em todos os traços. Em relação ao tempo de pega da pasta de cimento, todos os aditivos apresentaram retardo.

Palavras-chave: Aditivos de manutenção de trabalhabilidade, aditivos Mid-Range, cimento CII-F 40, concreto, resistência à compressão, *slump test*, tempo de pega.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de resistência à compressão do concreto	13
Quadro 2 - Classes de consistência do concreto	13
Quadro 3 - Valores máximos para formação de lotes de concreto	18
Quadro 4 - Valores de Ψ_6	20
Quadro 5 - Compostos principais do cimento Portland	21
Quadro 6 - Quadro 6 - Tipos de Cimento Portland	22
Quadro 7 - Influência dos gregados no concreto	27
Quadro 8 - Materiais e suas densidades aparentes	28
Quadro 9 - Classificação dos agregados graúdos quanto à sua dimensão	29
Quadro 10 - Granulometria das areias	30
Quadro 11 - Consumo de materiais para 70kg de concreto	44
Quadro 12 - Dosagem e relação A/C	46
Quadro 13 - Número de camadas e golpes para moldagem de corpo de prova	49
Quadro 14 - Resultados de abatimento do aditivo Techniflow 520	53
Quadro 15 - Resultados de abatimento do aditivo Fluxer RMX 738	54
Quadro 16 - Resultados de abatimento do aditivo Eucon 4120	55
Quadro 17 - Resistência à compressão aos 28 dias da marca MC Bauchemie	59
Quadro 20 - Comparativo de resistências e fatores água/cimento	61
Quadro 21 - Resultados do tempo de pega da pasta de cimento	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) floculação do sistema cimento-água (b) dispersão do sistema com a adição de um superplastificante	37
Figura 2 – Cimento do tipo CP II-F-40	41
Figura 3 – (a) areia natural (b) areia industrial	41
Figura 4 – (a) brita 0 (b) brita 1	42
Figura 5 - Cinza	43
Figura 6 - Reação do cimento com o aditivo Techniflow 570	45
Figura 7 - Medição do abatimento do concreto	48
Figura 8 - Cura dos corpos de prova	49
Figura 9 - Aparelho de Vicat	51
Figura 10 - Comparativos de abatimento do Traço 1	56
Figura 11 - Comparativos de abatimento do Traço 2	57
Figura 12 - Comparativos de abatimento do Traço 3	57
Figura 13 - Comparativos de abatimento do Traço 4	58
Figura 14 - Comparativos de resistência à compressão do Traço 1	62
Figura 15 - Comparativos de resistência à compressão do Traço 2	63
Figura 16 - Comparativos de resistência à compressão do Traço 3	64
Figura 17 - Comparativos de resistência à compressão do Traço 4	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

mm – milímetro

kg – quilograma

cm³ – centímetro cúbico

CP – cimento Portland

MPa – megapascal

g – gramas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	ÁREA E LIMITAÇÃO DO TEMA	8
3	JUSTIFICATIVA	9
4	OBJETIVOS	10
4.1	Objetivo geral	10
4.2	Objetivos específicos	10
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
5.1	Concreto	11
5.1.1	Histórico e definição	11
5.1.2	Classificação	12
5.1.3	Mistura, transporte e lançamento	14
5.1.4	Concreto fluido	14
5.1.5	Trabalhabilidade	15
5.1.5.1	Ensaio de caracterização da trabalhabilidade	16
5.1.6	Resistência do concreto	16
5.1.6.1	Resistência à compressão	17
5.1.7	Controle do concreto	17
5.1.7.1	Ensaio de consistência	18
5.1.7.2	Ensaio de resistência à compressão	18
5.2	Cimento Portland	20
5.2.1	Histórico	20
5.2.2	Definição e composição	21
5.2.3	Tipos de cimento Portland	21
5.2.4	Cimento Portland composto com fíler	22
5.2.5	Pozolanas	23
5.2.6	Hidratação do cimento Portland	24
5.2.7	Calor de hidratação e tempos de pega	24
5.3	Agregados	25
5.3.1	Brita	28

5.3.2	Areia	29
5.4	Água de amassamento	30
5.5	Aditivos para concreto	31
5.5.1	Histórico	31
5.5.2	Definição	31
5.5.3	Tipos de aditivos	32
5.5.4	Uso dos aditivos	32
5.5.4.1	Aditivos aceleradores de resistência e de pega	33
5.5.4.2	Aditivos retardadores de pega	34
5.5.4.3	Aditivos incorporadores de ar	34
5.5.4.4	Aditivos Redutores de água	35
5.5.5	Aditivos de manutenção de trabalhabilidade	37
5.5.5.1	Superplastificantes tipo II	38
5.5.5.2	Aditivo Mid-Range	38
6	METODOLOGIA	40
6.1	Considerações iniciais	40
6.2	Materiais utilizados	40
6.2.1	Cimento	40
6.2.2	Areia	41
6.2.3	Brita	42
6.2.4	Água	42
6.2.5	Adições	42
6.2.6	Aditivos	43
6.3	Dosagem do concreto	43
6.3.1	Execução dos traços de concreto	44
6.4	Ensaio	47
6.4.1	Consistência	47
6.4.2	Resistência à compressão	48
6.4.3	Tempo de pega	50
7	RESULTADOS E ANÁLISES	52
7.1	Abatimento do tronco de cone	52

7.1.1 Aditivo MC Techniflow 520 – Plastificante multifuncional Mid-Range	52
7.1.2 Aditivo Erca Fluxer RMX 738 – Mid-range	53
7.1.3 Eucon 4120 – Superplastificante Mid-Range	54
7.1.4 Comparação dos resultados	56
7.2 Resistência à compressão	58
7.2.1 Aditivo MCTechniflow 520 – Plastificante multifuncional Mid-Range	58
7.2.2 Aditivo Erca Fluxer RMX 738 – Mid-range	59
7.2.3 Eucon 4120 – Superplastificante Mid-Range	60
7.2.4 Comparação dos resultados	60
7.3 Tempo de pega	65
7.4 Curvas de dosagem	66
8 CONCLUSÃO	67

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, no Brasil, vinha sofrendo desaceleração, após um período de grande aquecimento. Como tentativa de amenizar este quadro, é necessária a busca por novas tecnologias em materiais e ferramentas, assim como melhor qualidade na mão de obra, tornando os processos mais eficientes e rentáveis.

O concreto, devido a sua versatilidade, durabilidade e economia, é o material de construção mais utilizado no país. Para modificação das suas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, está cada vez mais comum a utilização de aditivos químicos no preparo deste. Quanto maior o consumo de concreto, mais aditivo é consumido. A evolução da tecnologia contribui para a competitividade do mercado. As empresas do ramo de aditivos e as usinas de dosagem de concreto buscam atender cada vez mais às necessidades do cliente final, levando em conta o fator custo/benefício.

Para que a indústria da construção civil siga crescendo nesse segmento, é clara a necessidade de concretos de qualidade, tanto endurecidos quanto no estado fresco. Os aditivos de manutenção de trabalhabilidade permitem essa qualidade, em ambos os sentidos. Proporcionam um aumento no período de trabalhabilidade para que o transporte e a aplicação nas fôrmas sejam executados corretamente, controlando a pega para que esta não se torne excessivamente retardada.

2 ÁREA E LIMITAÇÃO DO TEMA

Realizado na área de materiais de construção, este trabalho tem como tema os aditivos de manutenção de trabalhabilidade para concreto, focando no desempenho destes na manutenção da trabalhabilidade e na alteração provocada na resistência à compressão, em concretos com diferentes traços, utilizando-se cimento CII-F 40 com adição de cinza mineral.

3 JUSTIFICATIVA

A utilização do concreto é indispensável para construções de prédios, tanto em concreto armado como em alvenarias estruturais, assim como para as demais obras e estilos construtivos. A qualidade exigida para este material está crescendo juntamente com a sua demanda. Há também a necessidade do uso de tecnologias para se alcançar as características requeridas nos projetos, que se mostram cada vez mais específicos e diferenciados. O desempenho do concreto depende dos materiais que compõem a mistura, ou seja, as pesquisas e tecnologias precisam ser voltadas a estes componentes.

Os aditivos químicos entram como elementos decisivos na dosagem do concreto. São responsáveis por reduzir ou aumentar o efeito de certas influências, conforme desejado. Para ampliar o período de transição entre o estado plástico e endurecido da mistura é comumente empregado o aditivo retardador de pega. Em contrapartida, vem crescendo o uso dos aditivos superplastificantes tipo II e dos multifuncionais Mid-Range, que estendem o período de trabalhabilidade do concreto sem afetar diretamente a pega. Chamados aditivos de manutenção de trabalhabilidade.

Estes mantenedores de trabalhabilidade são recomendados para uma ampla gama de concretos. Tornam-se cada vez mais interessantes, pois além de prolongar as atividades de concretagem controlando o processo de pega, contribuem para a diminuição da água de amassamento e para a qualidade final do concreto. A maioria dos profissionais da área tem conhecimento destes benefícios, mas nem todos possuem total confiança nesses. Isso ocorre devido à falta de informações técnicas, tanto de dosagem quanto de desempenho dos aditivos químicos.

Quanto maior o conhecimento sobre determinado material, melhores serão os resultados encontrados a partir de sua utilização. Há poucos estudos a respeito de aditivo superplastificante de manutenção de trabalhabilidade e Mid-Range, quanto ao seu comportamento e desempenho em relação às propriedades do concreto. Tendo em vista compreender melhor a atuação destes materiais, o presente trabalho torna-se importante para a evolução dos resultados a partir da utilização destes aditivos.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho de três diferentes aditivos superplastificantes Mid-Ranges, de manutenção de trabalhabilidade, aplicados no concreto.

4.2 Objetivos específicos

- Determinar o abatimento do concreto e verificar a manutenção da trabalhabilidade deste nos períodos de 15 minutos, 30 minutos, 45 minutos e 60 minutos, com o uso dos aditivos superplastificantes Mid-Range;
- Verificar a resistência do concreto em função da manutenção da sua trabalhabilidade, na idade de 28 dias;
- Analisar a interferência dos aditivos de manutenção de trabalhabilidade no tempo de pega da pasta de cimento Portland.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Concreto

5.1.1 Histórico e definição

Desde a Roma antiga ocorria a utilização de um concreto primitivo, obtido através da mistura de cal hidratada com argila pozolânica (ANDRADE; HELENE, 2007). Porém, há indícios de materiais muito mais antigos, que apresentavam características cimentantes. É o caso da mistura utilizada na construção das pirâmides do Egito, que apresentava um ligante, provavelmente de cal ou gesso, segundo Coutinho (1997, citado por FONSECA).

A descoberta do concreto de cimento Portland se deu no final do século XIX, e a sua utilização se intensificou no século XX. Com a evolução do concreto, os projetos e as estruturas revolucionaram-se, conseqüentemente associado ao desenvolvimento das civilizações. Depois da água, o concreto é o material mais consumido pelo homem (ANDRADE; HELENE, 2007).

Segundo a ABNT NBR 12655:2015, o concreto de cimento Portland é definido como:

material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

Para Tartuce e Giovannetti (1990), o concreto é a mistura de agregados miúdos e graúdos, cimento e água, que, se bem misturados, formam uma massa plástica que endurece após algumas horas e transforma-se em uma pedra artificial.

A larga utilização do concreto é decorrente de inúmeras razões. É um material que apresenta excelente desempenho em construções destinadas a receber contato direto com a água, pois se apresenta muito resistente a ela e não sofre grandes conseqüências. Além disso, há grande facilidade e variedade na execução de estruturas de concreto, podendo variar a forma e o tamanho. Porém, a grande explicativa para o uso extensivo desse material, é o seu baixo custo e disponibilidade

no canteiro, além de requerer menos energia para ser produzido (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), o presidente dos Estados Unidos J. W. Kelly em 1961, disse, em um de seus discursos, o seguinte:

Ninguém pensaria em usar madeira em uma barragem, aço em pavimentação ou asfalto em estruturas de edifícios, mas o concreto é usado para cada uma dessas e em muitas outras utilizações em lugar de outros materiais de construção. (...). Ele é usado para suportar, para vedar, para revestir e para preencher. Mais pessoas precisam conhecer melhor o concreto que outros materiais especializados.

5.1.2 Classificação

Segundo a ABNT NBR 8953: 2015, o concreto é classificado a partir de três especificações: quanto à sua massa específica, resistência à compressão e consistência. Sua classificação final deve seguir esta ordem.

O concreto, quanto à sua massa específica, é dividido em três classes: normal, leve e pesado. Considera-se um concreto normal aquele que apresenta massa específica seca entre 2.000kg/m^3 e 2.800kg/m^3 . Um concreto é definido como leve se possuir massa específica seca abaixo de 2.000kg/m^3 , e pesado se apresentar este índice acima de 2.800kg/m^3 (ABNT NBR 8953: 2015).

Quanto à resistência à compressão, o concreto é disposto em dois grupos, de acordo com a sua resistência característica à compressão (f_{ck}). (ABNT NBR 8953: 2015). No Quadro 1 estão apresentados estes grupos, que se referem aos concretos de massa específica seca normal.

Quadro 1 - Classes de resistência à compressão do concreto

Grupo I de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)	Grupo II de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: adaptada da NBR 8953 (ABNT, 2015)

A terceira e última classificação do concreto é quanto a sua consistência, que é medida pelo ensaio de abatimento, descrito na NBR NM 67. (ABNT NBR 8953: 2015). O Quadro 2 exibe as classes de consistência do concreto.

Quadro 2 - Classes de consistência do concreto

Classe	Abatimento em mm	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e elemento de fundação
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais com lançamento convencional
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeável
S220	$A \geq 220$	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

Fonte: adaptada da NBR 8953 (ABNT, 2015)

5.1.3 Mistura, transporte e lançamento

A ABNT NBR 7212:2012 apresenta alguns requisitos para o concreto que for dosado em central. A respeito da sua mistura, pode haver a mistura parcial na central e a complementação em obra. Esse processo consiste em acrescentar parte da água na central, e o restante na obra, imediatamente antes da descarga do caminhão, respeitando a quantidade de água prevista no traço. Conforme será apresentado no item 5.6.5, a adição suplementar de água não é admitida, porém a suplementação de aditivo sim.

O tempo entre o início da mistura e a entrega do concreto é denominado tempo de transporte. As especificações definidas pela ABNT NBR 7212:2012 fixam o tempo de transporte, para que o fim do adensamento do concreto na obra não ocorra após iniciada a pega do concreto já lançado. No caso do uso de caminhão betoneira, o tempo de transporte deve ser inferior a 90 minutos. Se utilizado veículo sem equipamento de agitação, o transporte deve ser efetuado em até 40 minutos, respeitando sempre a primeira especificação citada.

Para o tempo de início do lançamento e do adensamento do concreto, a ABNT NBR 7212:2012 exige que este seja de até 30 minutos após a chegada do caminhão na obra. Os procedimentos de lançamento e adensamento do concreto devem ser realizados conforme o tempo previsto pela mesma norma. Caso esse tempo seja ultrapassado, a empresa que presta o serviço fica livre de responsabilidades sobre o concreto aplicado. Quando utilizado caminhão betoneira, não podem ser ultrapassados os 150 minutos, e em caso de veículo sem agitação, o limite é de até 60 minutos.

5.1.4 Concreto fluido

A definição de concreto fluido está relacionada ao concreto que apresenta alta plasticidade. A adição dos aditivos superplastificantes é que permite esta característica ao concreto, e para evitar segregação durante os processos de lançamento e vibração, a mistura deve possuir granulometria contínua.

O concreto fluido tem utilizações variadas e costuma ser aplicado em peças especiais, esbeltas e pequenas, em estruturas pré-moldadas ou com alta densidade de armadura, em fachadas de concreto aparente e entre outras aplicações.

Dentre as vantagens do uso do concreto fluido destacam-se o fácil bombeamento, a homogeneidade da mistura e a menor necessidade de vibração, além da durabilidade e resistência.

5.1.5 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a propriedade determinante do esforço exigido para manipular o concreto recém-misturado, perdendo o mínimo possível de homogeneidade. (ASTM C 125,1993, citado por MEHTA; MONTEIRO, 1994). A manipulação do concreto engloba os processos de lançamento, adensamento e acabamento deste (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a trabalhabilidade do concreto é uma combinação de pelo menos duas propriedades: a fluidez e a coesão. A primeira determina a facilidade de mobilidade, já a segunda, relaciona-se com a resistência à exsudação ou segregação do concreto.

Já Neville (2016), diz que:

é trabalhável um concreto que pode ser adensado com facilidade, mas dizer simplesmente que a trabalhabilidade determina a facilidade de lançamento e a ausência de segregação é uma descrição muito pobre dessa propriedade essencial do concreto.

As formas de adensamento disponíveis interferem na trabalhabilidade necessária. Assim, a trabalhabilidade adequada para a massa de concreto convencional pode não ser suficiente para a massa utilizada em seções pequenas, de difícil acesso ou com armadura densa. Por isso, a trabalhabilidade precisa ser tratada como propriedade física essencial ao concreto, levando em conta o tipo de construção e as circunstâncias de adensamento disponíveis (NEVILLE, 2016).

As características do cimento, o teor de água da mistura, a forma e natureza dos agregados e o traço do concreto, influenciam na sua trabalhabilidade (MARTIN, 2005, citado por FRACALOSSO, 2011). O teor de adensamento, que consiste em eliminar o ar aprisionado e anular o atrito interno entre as partículas sólidas, interfere na trabalhabilidade do concreto (NEVILLE, 1997). O aumento de temperatura ambiente é outro fator que influi nessa propriedade do concreto.

O atrito interno entre as partículas pode ser modificado por vibração, pelo aumento do teor de água ou pelo acréscimo de aditivos adequados. Já a elevação da temperatura, normalmente, requer maior teor de água nos concretos. Como forma de

melhorar a trabalhabilidade, a adição de água é eficiente, porém dificilmente manterá a homogeneidade da mistura e ainda reduzirá a resistência mecânica do concreto (MARTIN, 2005, citado por FRACALLOSSI, 2011). A solução de utilizar os aditivos é considerada a mais adequada, tendo em vista que melhora a trabalhabilidade e algumas vezes diminui a relação água/cimento, reduzindo a porosidade do concreto.

Neville (2016) explica que:

Os aditivos embora nem sempre baratos, não representam necessariamente um custo adicional porque podem resultar economias, como, por exemplo, no custo do trabalho necessário para o adensamento, na possibilidade de redução do teor de cimento ou na melhoria da durabilidade sem outras providências.

5.1.5.1 Ensaio de caracterização da trabalhabilidade

Não existe um ensaio aceitável para determinação direta da trabalhabilidade do concreto. Porém, o ensaio de abatimento do tronco de cone mede a consistência do concreto. Esta propriedade, por sua vez, é a capacidade de fluir do concreto. É de caracterização mais pessoal do que de resultados científicos (NEVILLE, 2016).

Para Mehta e Monteiro (1994), o ensaio de abatimento é a maneira mais simples e conveniente de se controlar a produção do concreto, mantendo uniformes as misturas provenientes de diferentes betonadas.

No Brasil, a ABNT NBR NM 67:1998 é responsável pela determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, conhecido como *slump test*, e que será melhor detalhado no item 6.4.1 do presente trabalho.

5.1.6 Resistência do concreto

A definição da resistência de um material está relacionada com a sua capacidade de resistir à tensão sem ruptura, e geralmente associa-se esta ruptura ao aparecimento de fissuras. Porém, o concreto é diferente da prevalência dos materiais, pois comumente apresenta microfissuras antes mesmo de receber carregamento externo. A resistência do concreto está ligada à tensão necessária para fraturá-lo, e a sua fratura significa seu grau de ruptura, ou seja, que a tensão aplicada chegou ao seu máximo valor (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), no ensaio de tração ocorre a fratura do corpo de prova de concreto, que então é considerado rompido. Já no ensaio de

compressão, o corpo de prova é declarado rompido mesmo sem a presença de fratura externa visível, apenas com a fissuração interna já avançada, conceituando a impossibilidade daquele corpo suportar mais carga.

5.1.6.1 Resistência à compressão

Segundo Helene e Terzian (1993), a resistência à compressão do concreto é a propriedade que melhor o qualifica. Geralmente empregada no dimensionamento das estruturas e, por consequência, diretamente relacionado à segurança estrutural. Por isso, Mehta e Monteiro (1994) enfatizam que a resistência do concreto é a propriedade mais estimada pelos projetistas e pelo controle de qualidade.

Essa propriedade, devido a sua sensibilidade, pode variar. Ou seja, as condições de dosagem e preparo do concreto, que envolvem a trabalhabilidade e durabilidade, agregados, classe e tipo de cimento, relação água/cimento, uso de aditivos; juntamente com as condições de transporte, lançamento, adensamento e cura do mesmo, resultam na resistência à compressão real do concreto (HELENE; TERZIAN, 1993).

Como dito por Neville (2016), a resistência à compressão dá ideia de qualidade do concreto. E, para o controle dessa qualidade, costuma-se realizar ensaios com o concreto recém-saído da betoneira ou do caminhão-betoneira. Porém, Helene e Terzian (1993) explicam que a resistência obtida pelos ensaios, que é chamada de resistência potencial, é diferente da resistência real do concreto, que é adquirida juntamente com os procedimentos de execução.

5.1.7 Controle do concreto

A ABNT NBR 12655:2015 descreve os procedimentos necessários para ter-se o controle do concreto, no seu estado fresco e no seu estado endurecido. São normatizados os ensaios que devem ser realizados antes do lançamento do concreto, e que caracterizam a aceitação ou não deste produto, para emprego na determinada obra.

5.1.7.1 Ensaio de consistência

Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, normatizados pela ABNT NBR NM 67:1998, devem ser realizados no concreto antes de seu lançamento. Para o concreto usinado, deve-se realizar o ensaio a cada betonada, e o abatimento necessário para aceitação do concreto é aquele solicitado no momento da sua compra.

No caso do concreto preparado em obra, a ABNT NBR 12655:2015 cita as seguintes situações em que se deve verificar o abatimento do concreto:

- na primeira amassada do dia;
- ao reiniciar o preparo após interrupção de pelo menos 2 horas na concretagem;
- na troca dos operadores dos equipamentos;
- cada vez que forem moldados corpos de prova.

5.1.7.2 Ensaio de resistência à compressão

As resultantes dos ensaios de rompimento dos corpos de prova, realizados de acordo com a ABNT NBR 5739:2007, devem ser utilizadas para caracterizar a aceitação ou rejeição do lote de concreto (ABNT NBR 12655:2015).

Lotes de amostras de concreto para realização dos ensaios de resistência à compressão devem ser formados, respeitando os limites definidos pela ABNT NBR 12655:2015, ilustrados no Quadro 3.

Quadro 3 - Valores máximos para formação de lotes de concreto

Identificação (o mais exigente para cada caso)	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples
Volume de concreto	50 m ³	100 m ³
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	três dias de concretagem ^c	
a No caso de controle por amostragem total, cada betonada deve ser considerada um lote (6.2.3.1 da norma) b No caso de complemento de pilar, o concreto faz parte do volume do lote de lajes e vigas c Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.		

Fonte: adaptada da NBR 12655 (ABNT, 2015)

As amostras de concreto devem ser retiradas de forma aleatória durante a concretagem e moldadas no ato, sendo necessários dois corpos de prova para cada idade de rompimento. O valor adotado para resistência à compressão deve ser o maior encontrado.

5.1.7.2.1 Tipos de controle da resistência do concreto

Baseado na ABNT NBR 12655:2015, a resistência do concreto pode ser controlada por amostragem total ou por amostragem parcial. O concreto deve ser aceito se a resistência das amostras atender às especificações do projeto estrutural.

Na amostragem total, todas as betonadas são amostradas e têm a resistência à compressão do seu concreto representadas por um exemplar. Assim, a resistência característica à compressão estimada para o concreto ($f_{ck,est}$) é dada, abaixo, pela equação 1:

$$f_{ck,est} = f_{c,betonada} \quad (1)$$

Já na amostragem parcial são retirados exemplares de diferentes betonadas, em que o número mínimo de exemplares é: igual a 6, para concretos de classe até C50; igual a 12 para concretos de classe acima de C50.

Em lotes com número de exemplares igual a 6 e inferior a 20, a resistência à compressão estimada é dada por:

$$f_{ck,est} = 2x \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m \quad (2)$$

onde

m é igual a $n/2$, despreza-se o valor mais alto de n , se for ímpar;

f_1, f_2, \dots, f_{m-1} são os valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

Já, para amostragens com número de exemplares igual ou acima de 20, tem-se que a resistência característica à compressão estimada para o concreto é dada por:

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65xS_d \quad (3)$$

sendo

$$S_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cm})^2} \quad (4)$$

onde

f_{cm} é a resistência média dos exemplares do lote, em megapascal;

S_d é o desvio padrão dessa amostra de n exemplares, em megapascal.

Em casos excepcionais, em que o número de amostrar for de 2 a 5 exemplares, a resistência característica à compressão estimada para o concreto é dada por:

$$f_{ck,est} = \psi_6 \cdot f_{cm} \quad (5)$$

onde

ψ_6 é dado pela Tabela 8 da NBR 12655:2015, apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 - Valores de ψ_6

Condição de preparo	Número de exemplares (n)										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥ 16
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02
Os valores de n entre 2 e 5 são empregados para os casos excepcionais (item 6.2.3.3 da norma)											

Fonte: adaptada da NBR 12655 (ABNT, 2015)

5.2 Cimento Portland

5.2.1 Histórico

O nome cimento Portland se deve a uma pedra existente na ilha de Portland, utilizada em construções. Em 1924, o inglês Joseph Aspdin patenteou um cimento artificial, que, após a pega, se parecia com esta pedra. O produto era obtido pela calcinação de um calcário argiloso (ABCP, 2002).

A partir de 1873 o cimento passou a ser aditivado. Misturavam-se gesso cru e cloreto de cálcio ao produto, a fim de regular seu tempo de pega. Mais tarde, na

Alemanha e na França, o cimento era acrescido de graxa de cal, que operava como plastificante e hidrofugante. Em 1910 começou a comercialização dos aditivos impermeabilizantes, aceleradores e retardadores (CORRÊA, 2010).

5.2.2 Definição e composição

Segundo a NBR 5732:1991, o cimento Portland comum é:

Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados.

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico, resultado da moagem da mistura homogênea formada por clínquer, gesso e adições. É constituído principalmente pelos quatro compostos descritos no Quadro 5. Apresenta propriedades adesivas e coesivas, sendo capaz de unir fragmentos de minerais, formando um compacto.

Quadro 5 - Compostos principais do cimento Portland

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviação
Silicato tricálcico	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF

Fonte: NEVILLE, 1997, p. 29

5.2.3 Tipos de cimento Portland

As adições, misturadas ao clínquer durante a moagem, permitem a fabricação de diferentes tipos de cimento Portland. Essas adições podem ser: gesso, escórias de alto-forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos (ABCP, 2002). Os principais tipos de cimento Portland estão exemplificados no Quadro 6.

Quadro 6 - Tipos de Cimento Portland

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição em massa (%)				Norma Brasileira
		Clínquer + Gesso	Escória granulada de alto-forno (E)	Material Pozolânico (Z)	Material Carbonático (F)	
Comum	CP I	100		-		NBR 5732
	CP II-S	99-95		1-5		
Composto	CP III-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP III-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP III-F	94-90	-	-	6-10	
Alto-forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733
Branco estrutural	CPB	100-75	-	-	0-25	NBR 12989
Branco n/ estrutural		74-50	-	-	26-50	

Fonte: adaptada da NBR 11578 (ABNT, 1997) e ABCP (2002)

5.2.4 Cimento Portland composto com fíler

Os fílers são considerados materiais carbonáticos e sua obtenção é possível através de minerais, como basalto e calcário. Segundo Neville (2016), o fíler é moído com aproximadamente a mesma finura do cimento Portland, e quando adicionado a ele, resulta em benefícios para as propriedades do concreto, tais como a trabalhabilidade, permeabilidade, exsudação, tendência à fissuração, entre outras.

O cimento Portland CP II-F atende à ABNT NBR 11578:1997. Tem adição de 6 a 10%, em massa, de fíler de calcário. É utilizado na produção de argamassas em geral e de concreto armado, não tendo restrições de uso.

5.2.5 Pozolanas

Pozolanas são materiais silicosos ou sílicoaluminosos que apresentam capacidade de reagir, na presença de água, com o hidróxido de cálcio, formando uma composição que possui propriedades cimentícias e ligantes. (ABNT NBR 12653:2015). São utilizadas na produção de cimentos, como o CP II-Z, que é o cimento Portland composto com pozolana, e o CP IV, denominado cimento Portland pozolânico.

Além de naturais, originárias de rochas vulcânicas e sedimentares, as pozolanas podem ser artificiais, resultado de processos industriais ou tratamento térmico (NBR 5736:1999). As pozolanas naturais mais comuns são: cinzas vulcânicas, terras diatomáceas calcinadas e argila calcinada; e as artificiais mais conhecidas são: cinza volante e escória de alto forno (NEVILLE, 1997).

A partir de sua origem, as pozolanas são divididas, segundo a NBR 12653:2015, nas seguintes classes:

- Classe N: pozolanas naturais e artificiais, como certos materiais vulcânicos, cherts silicosos, argilas calcinadas e terras diatomáceas;
- Classe C: cinzas volantes provenientes da queima de carvão mineral em usinas termoelétricas;
- Classe E: pozolanas que não estão englobadas nas Classes N e C.

Quando empregados na fabricação de concretos, os materiais pozolânicos, através da sua interação com o cimento Portland, proporcionam mais qualidade a este material. Segundo Bauer (2000, p. 59), as pozolanas melhoram a trabalhabilidade, diminuem o calor de hidratação, aumentam a impermeabilidade e a resistência ao ataque de sulfatos e diminuem o risco do surgimento de eflorescências no concreto. Porém, segundo a NBR 12653:2015, deve-se ter atenção para o lento desenvolvimento da resistência inicial e para o aumento da retração por secagem do concreto, quando forem utilizadas pozolanas.

5.2.6 Hidratação do cimento Portland

Mehta e Monteiro (2016) esclarecem que:

O cimento Portland anidro não aglomera areia e agregado graúdo; ele só adquire a propriedade adesiva quando misturado à água. Isto acontece porque a reação química do cimento com água, comumente chamada de hidratação do cimento, gera produtos que possuem características de pega e endurecimento.

As reações que tornam o cimento um agente ligante acontecem na pasta de água e cimento. Ou seja, na presença de água, os componentes do cimento formam produtos de hidratação que, com o transcorrer do tempo, dão origem a uma massa firme e resistente, que é a pasta de cimento endurecida (NEVILLE, 2016).

Dois mecanismos são propostos para a hidratação do cimento Portland: a hidratação por dissolução-precipitação e a hidratação no estado sólido. A primeira é dominante nos estágios iniciais de hidratação e a segunda nos estágios posteriores (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p.199-200).

5.2.7 Calor de hidratação e tempos de pega

As reações de hidratação do cimento Portland são exotérmicas, ou seja, liberam calor quando reagido com água. Os dados estudados de calor de hidratação podem ser empregados na caracterização da pega e do endurecimento do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 206). Alguns aditivos como, por exemplo, os redutores de água e os superplastificantes, podem modificar a hidratação do cimento, conseqüentemente retardando ou acelerando os tempos de pega.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a água que se encontra livre na mistura é responsável pela plasticidade da mesma. A perda progressiva dessa água, seja no processo de hidratação ou por simples evaporação, causa o enrijecimento da pasta, a pega e posteriormente o endurecimento da mesma. A ausência de consistência plástica da pasta de cimento é apontada como o seu enrijecimento, e pode ser associada com a perda de abatimento do concreto.

Já o fenômeno da pega está associado à solidificação da pasta. O início de pega caracteriza-se por tornar a pasta não trabalhável, ou seja, inicia-se a solidificação da mesma, resultando na dificuldade de lançamento e adensamento do concreto. Porém, a pasta de cimento não fica sólida de repente, existe um tempo para que ocorra a completa solidificação, denominado fim de pega (MEHTA; MONTEIRO, 1994,

p. 208). A seguir, a pasta continua elevando a sua resistência, processo denominado endurecimento (TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990, p. 35).

É importante compreender que as velocidades de pega e de endurecimento são independentes entre si. Exemplificando, os tempos de início de pega especificados são os mesmos para o cimento Portland comum e para o cimento de alta resistência inicial, mesmo que as velocidades de endurecimento sejam distintas (NEVILLE, 2016).

Os cimentos podem ser classificados a partir de seu tempo de início de pega, podendo esta ser: rápida, semirrápida ou normal. A pega rápida ocorre num período inferior a 30 minutos; já a pega normal, em mais de 60 minutos. Se o início de pega se der entre 30 e 60 minutos, esta é considerada semirrápida. O tempo para o fim de pega fica em torno de 5 a 10 horas, para cimentos normais (TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990).

A temperatura da água de amassamento e do ambiente de mistura são fatores que muito influenciam no processo de pega dos cimentos. Assim, se as temperaturas forem elevadas, a pega é acelerada; e se forem baixas as temperaturas, a pega sofre retardo (TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990).

A determinação do tempo de pega é normatizada pela ABNT NBR NM 65:2003, que será melhor detalhada no item 6.4.3 deste trabalho.

5.3 Agregados

A definição para os agregados, dada por Tartuce e Giovannetti (1990), é que estes são os materiais constituintes do “esqueleto” do concreto, e unidos pela pasta de cimento. São responsáveis por $\frac{3}{4}$ do volume do concreto (NEVILLE, 2016) e representam cerca de 80% do peso deste (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

O papel dos agregados na tecnologia do concreto é de lhe atribuir importantes características, como porosidade, absorção de água, granulometria, forma e textura dos grãos, resistência à compressão, módulo de elasticidade, dentre outras (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Segundo Bauer (2000), os agregados são classificados quanto à sua origem, às dimensões das partículas e quanto ao seu peso específico aparente. Podem ser de origem natural, como areias e cascalho, que já são encontrados na natureza de forma particulada; ou de origem industrializada, que necessitam de particulação

industrial, provenientes de rochas, escória de alto forno ou argilas. Para Mehta e Monteiro (1994, p. 240):

Em geral, os agregados para concreto são areia, pedregulho e pedra britada, procedentes de jazidas naturais, e são, portanto, designados como agregados naturais. Por outro lado, os materiais processados termicamente, tais como argila ou folhelho expandidos, que são usados para a produção de concreto leve, são chamados agregados artificiais. Agregados feitos de rejeitos industriais, por exemplo, escória de alto-forno e cinza volante, também pertencem a esta categoria.

A respeito das dimensões das partículas, os agregados são divididos em miúdos, como as areias, e graúdos, representados por cascalhos e britas. Definidos na ABNT NBR 7211:2009, os agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira de malha 4,75mm; e os graúdos são aqueles que apresentam grãos passantes na peneira de malha 75mm e que ficam retidos na peneira de malha 4,75mm. No Quadro 7, estão expressas as influências da granulometria dos agregados no concreto.

Quadro 7 - Influência dos gregados no concreto

Parâmetro de dosagem do concreto	Concreto fresco	Concreto endurecido	Para redução do custo
	Para uma boa trabalhabilidade	Para uma boa resistência	
Granulometria do agregado miúdo	de preferência fina	de preferência grossa	grossa
Relação graúdo/miúdo	a diminuir	a aumentar	a maior possível
Consumo de água	a aumentar até um certo ponto	a diminuir	a aumentar
Granulometria total	preferível contínua	preferível descontínua	a disponível
Dimensão máxima característica do agregado	de preferência média	de preferência pequena	a maior possível
Geometria do grão de agregado graúdo	de preferência esférica (pedregulho)	de preferência irregular (brita)	esférica (pedregulho)

Fonte: HELENE; TERZIAN (1993, p. 75)

A classificação referente ao peso específico aparente dos agregados divide-os em leves, médios e pesados, a partir da densidade do material constituinte das partículas (BAUER, 2000). No Quadro 8 estão relacionados alguns materiais e suas densidades aparentes, em g/cm³.

Quadro 8 - Materiais e suas densidades aparentes

Leves		Médios		Pesados	
vermiculita	0,3	calcário	1,4	barita	2,9
argila expandida	0,8	arenito	1,45	hematita	3,2
escória	1,0	cascalho	1,6	magnetita	3,3
granulada		granito	1,5		
		areia	1,5		
		basalto	1,5		
		escória	1,7		

Fonte: BAUER (2000, p. 64)

5.3.1 Brita

As britas são agregados graúdos originados a partir de rochas compactas existentes em jazidas, provenientes de processos industriais, como a cominuição ou a fragmentação (BAUER, 2000).

Dentre as rochas mais comumente exploradas para fabricação industrializada de agregados graúdos estão: granito, basalto, gnaiss, calcário, arenito, escória de alto forno e hematita. As características dessas rochas influem na qualidade dos agregados, em relação a sua resistência à compressão, resistência à abrasão e porosidade (BAUER, 2000).

No Quadro 9 é possível visualizar a divisão das britas, feita a partir de suas dimensões. Para a produção do concreto, as britas 0, 1 e 2 são as mais utilizadas, sendo que a última é empregada para concretos de maior resistência.

Quadro 9 - Classificação dos agregados graúdos quanto à sua dimensão

Pedra britada numerada	(NBR-7211/NBR-7225)		Comercial	
	Tamanho nominal			
	Malha da peneira (mm)			
Número	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
brita 0			4,8	9,5
brita 1	4,8	12,5	9,5	19,0
brita 2	12,5	25,0	19,0	38,0
brita 3	25,0	50,0	38,0	50,0
brita 4	50,0	76,0	50,0	76,0
brita 5	76,0	100,0		
			>76mm = pedra de mão	

Fonte: adaptada da NBR 7211 (ABNT, 2009) e da NBR 7225 (ABNT, 1993)

5.3.2 Areia

Do ponto de vista geológico, a areia é considerada um sedimento clástico inconsolidado, geralmente composto por quartzo. Porém, como material de construção, a areia é considerada agregado miúdo, e precisa ter grãos formados de material consistente, não necessariamente quartzoso (BAUER, 2000).

Empregadas no preparo de concreto e de argamassa, a maior parte das areias é de origem natural, provindas do leito de rios e de cavas. Também podem ser extraídas de praias e dunas, porém estas não são utilizadas no Brasil, devido serem muito finas e apresentarem alto teor de cloreto de sódio (BAUER, 2000).

Por causarem grande impacto ambiental durante sua extração, as areias naturais muitas vezes dão espaço às areias artificiais no preparo do concreto. Segundo Bauer (2000), estas podem ser obtidas no processo de britagem ou serem areia de escória. As areias estão basicamente divididas em três diferentes granulometrias, exemplificadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Granulometria das areias

Tipo de areia	Dimensão (mm)
fina	0,15 a 0,6
média	0,6 a 2,4
grossa	2,4 a 4,8

Fonte: adaptada NBR 7211 (ABNT, 2009)

Em relação ao agregado graúdo, a areia apresenta um efeito maior na trabalhabilidade do cimento, exigindo maior quantidade de água para chegar a trabalhabilidade desejada (TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990). Como as areias artificiais apresentam granulometria mais fina do que as naturais, elas exigem ainda mais água e cimento para alcançarem determinada trabalhabilidade, elevando custos.

5.4 Água de amassamento

Como dito anteriormente, no item 5.2.6, o endurecimento do concreto se deve à hidratação do aglomerante hidráulico, especificamente o cimento Portland. Sendo assim, a água torna-se fundamental para o processo. O acréscimo de água na mistura melhora a sua trabalhabilidade, contudo, em excesso causa diminuição da resistência à compressão do concreto.

As águas apontadas como potáveis são as mais adequadas para a fabricação do concreto, pois, segundo Neville (2016), as impurezas existentes na água podem interferir na pega do cimento, afetar a resistência do concreto ou ocasionarem manchamento na sua superfície.

Porém, em alguns casos o uso de água não tratada é necessário. Para este fim, a ABNT NBR 15900-1:2009, dividida em 11 partes, especifica os requisitos da água propícia ao amassamento do concreto. Encontram-se, nesta norma, os limites de substâncias nocivas que podem estar presentes na água, e também um fluxograma de ensaios que devem ser realizados para aceitar ou recusar determinada amostra de água.

5.5 Aditivos para concreto

5.5.1 Histórico

Tão antigo quanto o próprio cimento, o uso de aditivos em concretos já era adotado pelos incas e romanos. Segundo ABESC (2007), clara de ovo, sangue e outros ingredientes eram acrescentados às misturas para melhorar sua trabalhabilidade. No Brasil, em igrejas históricas e pontes, foi utilizado o óleo de baleia para plastificar a argamassa de assentamento das pedras. Mas, somente a partir da descoberta do cimento Portland é que se tornou efetivo o desenvolvimento dos aditivos.

5.5.2 Definição

Para Neville (2016), aditivo é um:

produto químico que, exceto em casos especiais, é adicionado à mistura de concreto em teores não maiores do que 5% em relação à massa de cimento durante a mistura ou durante uma mistura complementar antes do lançamento do concreto, com a finalidade de se obterem modificações específicas, ou modificações das propriedades normais do concreto.

Segundo a ABNT NBR 11768:1992, os aditivos têm por finalidade modificar as propriedades do concreto no estado fresco e/ou endurecido. Já Hartmann (2002, citado por FRACALOSSI, 2011) afirma que:

Hoje os aditivos já são parte integrante de concretos e argamassas e suas vantagens podem ser observadas em função dos inúmeros benefícios oferecidos por eles, entre os quais se podem citar maiores viabilidade e agilidade de execução pelo uso de concretos mais fluidos e capacidade de atender a classe de resistência e durabilidade maiores com viabilidade técnica e econômica.

Segundo Neville (2016), a capacidade que os aditivos têm de proporcionar consideráveis melhorias físicas e econômicas ao concreto é o motivo do grande crescimento da sua utilização. Já Mehta e Monteiro (1994), ressaltam a importância da familiarização dos engenheiros civis com as aplicações e limitações dos aditivos comumente empregados, tendo em vista que eles estão presentes em cerca de 70 a

80% de todo o concreto produzido em outros países. No Brasil, apenas 15% do concreto possui a incorporação de aditivos.

Porém, não se pode esquecer que os aditivos não são um remédio para a falta de qualidade dos materiais, para proporções inadequadas da mistura ou para falta de qualidade na mão de obra de transporte, lançamento e adensamento do concreto (NEVILLE, 2016).

5.5.3 Tipos de aditivos

Em relação à composição, os aditivos podem ser orgânicos ou inorgânicos. Porém, a sua principal característica é a natureza química. Geralmente são classificados quanto à sua função no concreto, e frequentemente apresentam mais de uma (NEVILLE, 2016).

Os aditivos podem ser amplamente divididos em dois tipos: aqueles que reagem instantaneamente, e aqueles que levam de minutos a horas para afetar o sistema água cimento após sua adição (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p.274).

A ABNT NBR 11768:2011, norma de aditivos químicos para concreto de cimento Portland válida no Brasil, faz a divisão dos aditivos segundo a função que eles exercem no concreto. A classificação dos aditivos conforme a norma citada é a seguinte:

- Aditivo plastificante (P);
- Aditivo retardador (R);
- Aditivo acelerador (A);
- Aditivo plastificante retardador (PR);
- Aditivo plastificante acelerador (PA);
- Aditivo incorporador de ar (IAR);
- Aditivo superplastificante (SP);
- Aditivo superplastificante retardador (SPR);
- Aditivo superplastificante acelerador (SPA).

5.5.4 Uso dos aditivos

Atuantes nas propriedades do concreto, os aditivos são responsáveis por modificar as características de hidratação do cimento. Melhoram a trabalhabilidade,

agem na retenção de água, reduzem a exsudação e a segregação, permitem a penetração do concreto em ferragens densas, aceleram ou retardam o tempo de pega, possibilitam a concretagem em temperaturas mais elevadas, diminuem a fissuração, proporcionam melhor acabamento e aspecto, amenizam as consequências de ataques químicos e de corrosão das armaduras, entre outras modificações (EFFTING, 2014).

Os aditivos mais comuns se apresentam na forma líquida, devido a maior facilidade e rapidez durante a mistura do concreto. Há uma gama larga de produtos no mercado, que possuem as mais variadas funções. O modo de dosagem e utilização é indicado pelos fabricantes, podendo haver variações, oriundas do tipo de materiais empregados na fabricação do concreto.

5.5.4.1 Aditivos aceleradores de resistência e de pega

Para Neville (2016), a função dos aditivos aceleradores é apressar a evolução da resistência do concreto durante sua pega, e às vezes, coincidentemente, acelerar o processo de pega também.

Os aditivos aceleradores de pega são aqueles que diminuem o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto. Devem acelerar em, no mínimo, trinta minutos essa transição, se comparados ao concreto de referência e, necessitam ter, aos vinte e oito dias, no mínimo 80% da resistência do concreto referencial (ABNT NBR 11768, 2011).

Aceleradores podem ser empregados no caso do concreto ser aplicado em temperaturas baixas, na necessidade de rápida desforma, como é o caso dos pré-moldados, ou em serviços de reparação urgentes. A presença deste aditivo na mistura permite a antecipação do acabamento da superfície do concreto, assim como possibilita às estruturas entrarem em serviço num período mais curto de tempo, sendo vantajoso nestes aspectos (NEVILLE, 2016).

O cloreto de cálcio é o acelerador mais utilizado e influencia em propriedades do concreto, reduzindo o tempo de pega, aumentando a resistência à compressão e o calor de hidratação em 24 horas. Porém, a dosagem deste material deve ser controlada, pois causa corrosão das armaduras se utilizado em excesso (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Dessa forma, a ABNT NBR 12655:2015 limita o teor de cloreto, devido ao risco de corrosão.

5.5.4.2 Aditivos retardadores de pega

Os aditivos retardadores de pega aumentam o tempo de transição entre o estado plástico e endurecido do concreto. Após lançado, o concreto deve iniciar a pega somente 90 minutos depois (ABNT NBR 11768, 2011).

Em locais de clima quente, onde a temperatura ambiente é elevada, os aditivos retardadores são largamente empregados, uma vez que retardam a hidratação do cimento, permitindo que o concreto seja lançado e acabado adequadamente (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

De modo geral, para Neville (2016), os aditivos retardadores aumentam o tempo para transporte, lançamento e adensamento do concreto. O retardamento é proporcionado pelo açúcar, derivados dos carboidratos, sais de zinco e boratos solúveis, além de outros sais (NEVILLE, 2016).

5.5.4.3 Aditivos incorporadores de ar

Os aditivos incorporadores de ar aprisionam ar no concreto, pois a diminuição da tensão superficial da água permite a formação de bolhas de 0,1 a 0,8mm, que o enclausuram. A quantidade de finos presentes no concreto é decisiva para a eficiência do produto. Ou seja, quanto menor a presença de finos, mais ar é incorporado (FREITAS JR., 2017).

A presença de bolhas de ar proporciona ao concreto uma resistência aos ciclos de congelamento e descongelamento, uma vez que essas permitem a formação de cristais de gelo. Sendo então um produto muito utilizado em países de extremo frio (FREITAS JR., 2017).

A melhora da trabalhabilidade do concreto também é um dos efeitos promovidos pela incorporação de ar na mistura, principalmente nos traços que apresentam menor quantidade de cimento e materiais finos. Assim, é um material comumente utilizado na produção de concretos leves (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Apesar da gama de vantagens, a dosagem do aditivo incorporador de ar requer atenção e cuidado. Segundo Mehta e Monteiro (1994), a incorporação de ar faz com que as partículas de cimento tenham repulsa à água, ou seja, se tornem hidrófobas, causando um excesso de retardado da pega e conseqüentemente diminuindo a resistência mecânica do concreto.

5.5.4.4 Aditivos Redutores de água

Os aditivos redutores de água são subdivididos em plastificantes e superplastificantes, de acordo com o grau de redução de água viabilizado, que varia de 5% a 40%. Neville (2016), define-os através de sua função:

Conforme sua denominação, a função dos redutores de água é reduzir o teor de água da mistura, geralmente entre 5% e 10%, às vezes até 15%, em concretos com elevada trabalhabilidade. Assim, a finalidade de um redutor de água em um concreto é a redução da relação água/cimento, mantendo a trabalhabilidade desejada ou, como alternativa, aumentar a trabalhabilidade com uma mesma relação água/cimento.

Aumentar a trabalhabilidade do concreto mantendo constante o fator água/cimento é possível devido ao fato da superfície positiva do aditivo aderir aos grãos de cimento, deixando a carga negativa exposta, repelindo e espalhando os grãos de cimento (FREITAS JR., 2017).

Neville (2016) ainda atribui a baixa segregação e a boa fluidez do concreto como vantagens adquiridas pelo uso dos aditivos redutores de água, e indica sua utilização para concretos bombeados e lançados.

5.5.4.4.1 Aditivos plastificantes

Segundo a NBR 11768 (2011), um produto plastificante é:

aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite reduzir o conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, modifica a consistência do concreto, aumentando o abatimento e a fluidez; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente.

Muito utilizados no Brasil, os plastificantes reduzem a quantidade de água de amassamento e melhoram a trabalhabilidade do concreto, o que é bom para o seu adensamento e acabamento. Além disso, eles diminuem a perda de abatimento do concreto ao longo do tempo, possibilitando um melhor transporte da usina até a obra (ABESC, 2007).

5.5.4.4.2 Aditivos superplastificantes

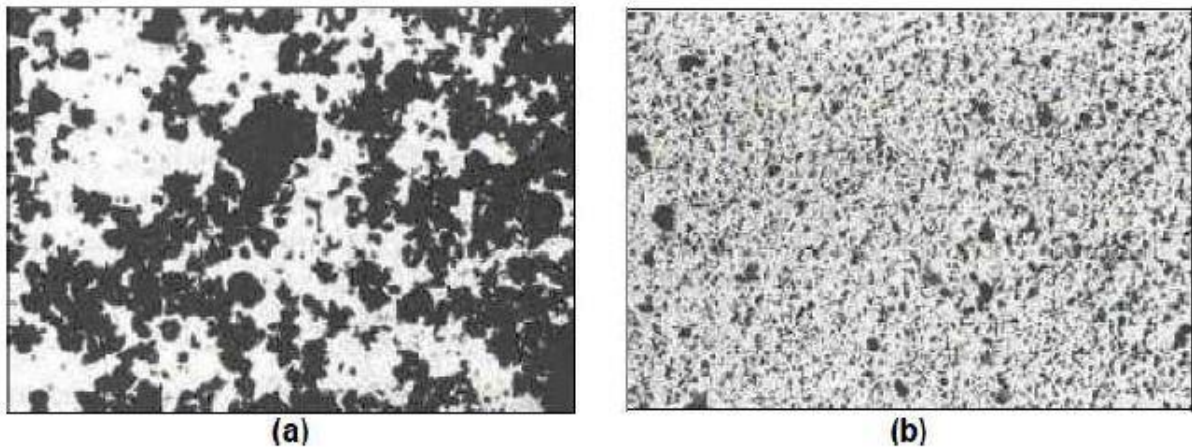
Apresentam as características dos aditivos plastificantes, porém de maneira realçada. Denominados aditivos redutores de água de alta eficiência, reduzem de três a quatro vezes mais água do que os redutores normais. (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Enquanto os produtos plastificantes conseguem proporcionar uma redução de até 15% no teor de água, os superplastificantes podem alcançar até 40% de diminuição.

A partir do seu desenvolvimento, nos anos 70, foi possível alcançar a dosagem de concretos com elevada resistência e alto desempenho, denominados CAD. (ABESC, 2007). Estes aditivos podem ser incorporados ao concreto sem causar retardamento do tempo de pega e excessiva exsudação, pelo contrário, é normal ocorrer à aceleração da pega e do endurecimento, graças a uma excelente dispersão das partículas de cimento na água, que faz a hidratação ocorrer mais rapidamente (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Os superplastificantes são polímeros hidrossolúveis alcançados sinteticamente, que formam longas moléculas orgânicas. Essas moléculas englobam as partículas de cimento e transformam-nas em cargas negativas, fazendo com que haja repulsão entre elas, levando à defloculação e à dispersão das partículas de cimento. A trabalhabilidade do concreto aumenta devido ao efeito dispersante do superplastificante, conseqüentemente cresce o seu abatimento (NEVILLE, 2016).

Na Figura 1 é possível observar a micrografia das partículas de cimento floculadas em uma suspensão de água-cimento, sem a presença de aditivo (a) e após a adição de um aditivo superplastificante (b), tornando a mistura mais homogênea e com os grãos mais dispersados (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Figura 1 - (a) floculação do sistema cimento-água (b) dispersão do sistema com a adição de um superplastificante



Fonte: MEHTA; MONTEIRO, 1994, p.283.

5.5.5 Aditivos de manutenção de trabalhabilidade

Os aditivos de manutenção de trabalhabilidade têm por característica manter a trabalhabilidade do concreto por mais tempo. Estes alcançam um bom desempenho se mantiverem a trabalhabilidade sem alterar o processo de pega, reduzindo o mínimo possível da resistência mecânica do concreto.

Para concretos dosados em central, um grande problema enfrentado pelas empresas é o produto chegar à obra de destino com o abatimento desejado pelo cliente, pois durante o transporte até o canteiro há alteração da sua consistência. Como solução comumente empregada, a mistura era acrescida de água. Nesse procedimento ocorria a melhora da trabalhabilidade, porém, havia perda de resistência mecânica também. A ABNT NBR 7212:2012 afirma que não é permitida a adição suplementar de água antes da descarga do concreto. Em contrapartida, a mesma norma especifica que pode haver a adição suplementar de aditivo antes da descarga, para se chegar à consistência requerida pelo consumidor.

Com o desenvolvimento dos aditivos de manutenção de trabalhabilidade, o caminhão-betoneira, que faz o transporte do concreto usinado, consegue chegar até a obra com o abatimento necessário, sem necessidade de acrescentar água a mistura e sem comprometer a resistência do concreto. Apesar do elevado custo, a qualidade proporcionada pelos mantenedores de trabalhabilidade é visível no concreto.

5.5.5.1 Superplastificantes tipo II

Os aditivos de manutenção de trabalhabilidade são classificados como superplastificantes tipo II. Segundo a NBR 11768:2011, o superplastificante tipo II é:

aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite uma elevadíssima redução no conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, aumenta consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente.

O efeito dos aditivos superplastificantes é limitado ao período em que se têm moléculas de aditivo suficientes para englobar as partículas de cimento. Ao final desse efeito, tem-se a perda da trabalhabilidade proporcionada pelo produto. Em função disso, é necessária a segunda, e em alguns casos, a terceira dosagem do superplastificante, podendo aumentar a exsudação e a segregação do concreto (NEVILLE, 2016). Essas características pertencem a primeira e a segunda geração de superplastificantes tipo II, que eram os lignosulfonados e melanina-formaldeído na primeira, e os naftalênicos na segunda. O período de eficiência do aditivo era de, no máximo, 45 minutos, o que obrigava a sua adição em obra em vez da usina (FREITAS JR., 2017).

Com a evolução das tecnologias em aditivos, os superplastificantes com longo período de eficiência foram desenvolvidos, para que fosse evitada a redosagem do produto imediatamente antes do lançamento do concreto (NEVILLE, 2016). Tem-se então, a terceira geração de superplastificantes tipo II. São os carboxilatos, que possuem eficiência por 1 hora e 30 minutos, e são chamados de hiperplastificantes (FREITAS JR., 2017).

Os carboxilatos possuem um mecanismo duplo de repulsão, que promove um largo poder de dispersão das partículas do cimento: as cargas negativas que envolvem as partículas de cimento, chamado de repulsão eletrostática; e grupos hidrofílicos laterais, denominados de estabilização estérica (FREITAS JR., 2017).

5.5.5.2 Aditivo Mid-Range

Os Mid-Ranges são uma nova classe de aditivos de redução de água, ainda pouco estudada. São multifuncionais, à base de policarboxilatos e/ou

lignossulfonatos, geralmente empregados em concretos com classe de consistência S100 e S160.

Sua excelente capacidade de dispersar as partículas de cimento melhora a trabalhabilidade dos concretos, reduzindo a quantidade de água de amassamento, e mantendo a mesma consistência e fluidez por um amplo tempo. Possibilitam sua adição na central de dosagem e permitem um ciclo de viagens, uma vez que têm como vantagem a baixa perda de abatimento do concreto.

6 METODOLOGIA

6.1 Considerações iniciais

A metodologia adotada para composição deste trabalho foi embasada em bibliografias e ensaios laboratoriais. Este método consistiu na produção de concreto fluido, utilizando-se de três diferentes marcas de aditivos de manutenção de trabalhabilidade, empregados na quantidade recomendada de acordo com os fabricantes.

Os ensaios laboratoriais foram realizados no intuito de analisar o desempenho de cada marca de aditivo em relação a sua função, que é manter a trabalhabilidade do concreto sem afetar significativamente o seu tempo de pega. Observando-se também, a influência dos aditivos na resistência à compressão do concreto.

Para que a avaliação dos aditivos quanto à alteração no tempo de pega fosse feita, realizou-se o ensaio de determinação do tempo de pega da pasta de cimento Portland, com e sem o uso destes. Para qualificá-los em relação a sua influência no tempo de trabalhabilidade do concreto, o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone foi realizado nos tempos de 15, 30, 45 e 60 minutos. Por fim, analisou-se a influência dos aditivos na resistência à compressão do concreto aos seus 28 dias, à medida que aumenta o tempo de abatimento.

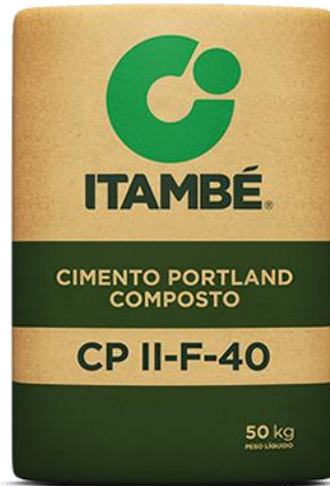
6.2 Materiais utilizados

Os agregados e ligantes empregados neste trabalho foram disponibilizados por uma central de concreto da cidade de Santa Cruz do Sul, os quais foram coletados diretamente do seu local de armazenamento. Para que pudessem ser utilizados na produção do concreto, a única interferência na condição natural em que os materiais se encontravam, foi a secagem destes em lonas plásticas, para retirada da umidade superficial.

6.2.1 Cimento

O cimento utilizado na produção do concreto foi o CP II-F-40 da Itambé, cimento Portland composto de fíler de calcário, ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Cimento do tipo CP II-F-40



Fonte: disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/produtos/cp-ii-f-40/>>. Acesso em 26 maio 2017

6.2.2 Areia

Como agregado miúdo foram utilizadas areia natural média e areia artificial grossa, com granulometria de 0,6mm a 4,8mm, ilustradas na Figura 3.

Figura 3 – (a) areia natural (b) areia industrial



Fonte: da autora, 2017.

6.2.3 Brita

Como agregado graúdo utilizou-se brita 0 e brita 1, com dimensões entre 9,5mm e 19mm, ilustradas na Figura 4.

Figura 4 – (a) brita 0 (b) brita 1



Fonte: da autora, 2017.

6.2.4 Água

A água que foi utilizada na produção do concreto está de acordo com o especificado no item 5.4.

6.2.5 Adições

Como adição no concreto, a cinza mineral de casca de arroz, ilustrada na Figura 5, foi empregada em quantidade especificada conforme uso em central de concreto.

Figura 5 - Cinza



Fonte: da autora, 2017.

6.2.6 Aditivos

Os aditivos de manutenção de trabalhabilidade que foram empregados no presente trabalho se enquadram como superplastificantes tipo II e Mid-Ranges, e as amostras foram disponibilizadas pelas marcas comparadas. Assim, os aditivos avaliados foram:

- MC TechniFlow 570 – MC Bauchemie;
- MC TechniFlow 520 – MC Bauchemie;
- Fluxer RMX 738 – Erca;
- Eucon 4120 – Viapol.

Suas respectivas fichas técnicas são apresentadas em anexo.

6.3 Dosagem do concreto

Para que se avaliasse o desempenho dos aditivos, foram dosados em quatro traços de concreto, variando o teor de agregado e consumo de aglomerantes (cimento + cinza). Esse procedimento é padronizado em todos os métodos experimentais para dosagem de concreto, de forma a se chegar em curvas que obedecem às Leis de Abrams, Lyse e Molinari/Bolomey, permitindo extrair qualquer resistência de concreto após suas determinações. Assim, o quantitativo de material utilizado nos quatro traços é exposto no Quadro 11.

Quadro 11 - Consumo de materiais para 70kg de concreto

Traço	Cimento (kg)	Pozolana (kg)	Areia Artificial (kg)	Areia Natural (kg)	Brita #1 (kg)	Brita #0 (kg)	Água* (L)	Aditivo (g)
T1	6,95	0,60	11,46	17,18	19,60	8,40	5,29	76,00
T2	7,87	0,68	11,04	16,55	19,60	8,40	5,35	86,00
T3	9,08	0,79	10,51	15,77	19,60	8,40	5,40	99,00
T4	10,73	0,93	9,80	14,70	19,60	8,40	5,46	117,00
*quantidade estimada								

Fonte: adaptada pela autora (2017).

Os percentuais de consumo de cada material obedeceram aos já empregados pela Central de Concreto que forneceu os insumos, sendo:

1. Substituição de 8% do teor total de aglomerante (cimento+pozolana) com Sílica da Casca de Arroz (SCA);
2. Emprego de mistura de areias no percentual 60/40 (Natural/Artificial);
3. Emprego de mistura de britas no percentual 70/30 (B#1/B#0);
4. Utilização de um teor de 1% do aditivo em estudo sobre o peso total de aglomerantes.

6.3.1 Execução dos traços de concreto

O primeiro aditivo testado, TechniFlow 570 da MC Bauchemie, foi descartado já no primeiro traço em que foi empregado. Houve uma reação do cimento CP II-F com o aditivo, ocasionando a exsudação do concreto assim que a mistura foi finalizada. Na Figura 6 é possível visualizar a reação acima descrita.

Figura 6 - Reação do cimento com o aditivo Techniflow 570



Fonte: da autora, 2017.

Para avaliar a eficiência dos demais aditivos, adotou-se para o concreto uma classe de *Slump* 160, ou seja, o abatimento foi medido entre 160mm e 210mm. Os aditivos tiveram sua dosagem fixada em 1% da quantidade de aglomerante (cimento + cinza) utilizado para cada traço de concreto, alterando-se então a quantidade da água empregada para ajuste do abatimento.

Sendo assim, a relação água/cimento dos traços variou conforme o aditivo que estava sendo utilizado. No Quadro 12, apresenta-se um resumo das dosagens de cimento e água utilizados para cada aditivo, bem como sua respectiva relação água/cimento.

Quadro 12 - Dosagem e relação A/C

ADITIVO 2 – MC TECHNIFLOW 520		
Traço	Aditivo	Relação A/C
T1	1%	0,625
T2	1%	0,589
T3	1%	0,506
T4	1%	0,468
ADITIVO 3 – FLUXER RMX 738		
Traço	Aditivo (g)	Relação A/C
T1	1%	0,833
T2	1%	0,702
T3	1%	0,547
T4	117,00	0,521
ADITIVO 4 – EUCON 4120		
Traço	Aditivo (g)	Relação A/C
T1	1%	0,804
T2	1%	0,708
T3	1%	0,598
T4	1%	0,503

Fonte: da autora, 2017.

Anterior a preparação das amostras de concreto, cada material foi separado e pesado individualmente, conforme as dosagens correspondentes de cada traço. A sequência executiva adotada foi:

1. Colocação das britas;
2. Colocação de aproximadamente 70% da água estimada para o traço;
3. Adição do cimento e da cinza;
4. Adição das areias;
5. Mistura de aproximadamente 2 minutos;
6. Acréscimo do aditivo;
7. Mistura de aproximadamente 3 minutos;
8. Colocação do restante da água e ajuste da mesma, se necessário;
9. Retirada do concreto para realização do ensaio de abatimento com tronco de cone, para obtenção do valor do *slump* inicial;

10. Caso o valor mínimo de *slump* (160mm) não tenha sido atingido, devolução do material para a betoneira e novo ajuste de água;
11. Moldagem de 2 corpos de prova;
12. Repetição dos itens 9 e 11, no decorrer de 15, 30, 45 e 60 minutos.

6.4 Ensaio

6.4.1 Consistência

A consistência do concreto é determinada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, conhecido como *slump test*. A ABNT NBR NM 67:1998 é responsável por normatizar e descrever este ensaio.

Dentre os materiais utilizados para realização deste procedimento estão: um molde metálico com formato de cone e dimensões padronizadas, com diâmetro da base inferior entre 198mm e 202mm, diâmetro da base superior de 98mm a 102mm e altura entre 298mm e 302mm; uma haste de aço, para compactação do concreto, de seção circular de diâmetro igual a 16mm e comprimento de 600mm; uma placa para apoio do molde, plana e metálica, com lados de no mínimo 500mm e espessura de 3mm ou mais (ABNT NBR NM 67:1998).

Previamente à prática do ensaio, o molde metálico foi umedecido, e então preenchido com três camadas iguais de concreto, compactadas com 25 golpes da haste, cada uma, sem penetrar na camada inferior. A última camada foi preenchida de maneira excessiva sobre a superfície, e em seguida nivelada com o auxílio da desempenadeira, após sua compactação. Então, retirou-se o molde na direção vertical, num intervalo de 5 a 10 segundos, e imediatamente mediu-se o abatimento do concreto. Este foi determinado, com auxílio de uma trena, pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova, como ilustra a Figura 7. O resultado do abatimento é determinado em milímetros e arredondado aos 5mm mais próximos, conforme a ABNT NBR NM 67:1998. O ensaio de abatimento pelo tronco de cone foi realizado no instante inicial após a mistura do concreto e aos 15, 30, 45 e 60 minutos transcorridos após o início. Mas antes, misturava-se o composto na betoneira, por 30 segundos, para garantir-lhe homogeneidade.

Figura 7 - Medição do abatimento do concreto



Fonte: da autora, 2017.

6.4.2 Resistência à compressão

Para avaliação da resistência à compressão do concreto, corpos de prova cilíndricos foram moldados e curados, seguindo as especificações da ABNT NBR 5738:2016. O molde de aço utilizado, com altura de 20cm e diâmetro de 10cm, juntamente com a sua base, devem formar um conjunto estanque.

O adensamento do concreto no molde foi feito com o auxílio de uma haste de aço, de diâmetro entre 14 e 18mm e comprimento entre 600 e 800mm. O procedimento adequado foi realizado através da análise do Quadro 13, que leva em consideração o número de camadas e de golpes que devem ser empregados para a moldagem do cilindro.

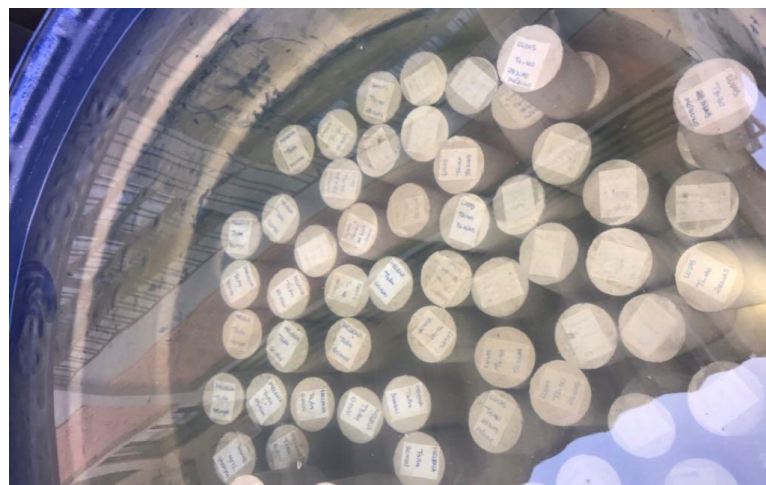
Quadro 13 - Número de camadas e golpes para moldagem de corpo de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-

Fonte: adaptada da NBR 5738 (ABNT, 2016)

Ou seja, a moldagem dos corpos de prova foi realizada com duas camadas de concreto, adensadas com 12 golpes cada uma, resultando em 10 amostras cilíndricas para cada traço de concreto, devidamente identificadas.

Após a moldagem, os corpos de prova foram colocados, de 24 a 48 horas, sobre uma superfície horizontal rígida, sem qualquer ação de perturbação. O processo de cura foi realizado, conforme a ABNT NBR 5738:2016. Os corpos de prova eram desmoldados e posteriormente armazenados em solução saturada de hidróxido de cálcio, até a realização do ensaio de compressão, como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Cura dos corpos de prova

Fonte: da autora, 2017.

Antes de ensaiar à compressão, as bases dos corpos de prova passaram por retificação, tornando-se planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo de prova, conforme a ABNT NBR 5738:2016. Além disso, placas de neoprene, dentro de moldes metálicos, foram utilizadas para distribuir melhor a carga aplicada sobre toda a área de concreto dos corpos de prova.

O ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, propriamente dito, é normatizado pela ABNT NBR 5739:2007 e foi realizado com o maquinário disponível no laboratório de estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, que é do modelo EMIC DL30000N, com capacidade de carga máxima de 200 toneladas. Foram rompidos aos 28 dias, dez corpos de prova para cada traço de concreto, totalizando 120 amostras de concreto. Os resultados dos ensaios de compressão são obtidos em megapascal e fornecidos diretamente pelo sistema da prensa.

6.4.3 Tempo de pega

A ABNT NBR NM 65:2003 normatiza a determinação do tempo de pega da pasta de cimento de consistência normal, que deve ser preparada e colocada nos moldes de acordo com a NBR NM 43:2003.

A pasta de consistência normal, sem dosagem de aditivo, foi preparada com a quantidade de água que foi suficiente para lhe dar a consistência padrão, iniciando com a recomendação da NBR NM 137:1997, de 130g. Posteriormente foram adicionadas mais 6g de água para que a consistência desejada fosse atingida. A quantidade de aglomerante utilizada foi a indicada na NBR NM 43:2003, de 500g, sendo 43g de cinza e 457g de cimento.

No preparo das pastas em que se utilizou os aditivos avaliados no presente trabalho, estes representaram 1% da massa de aglomerante, ou seja, 5g. Já a quantidade de água utilizada foi fixada em 150g, o que representa uma relação água/cimento de 30%.

Com auxílio do misturador, constituído de cuba e pá de aço inoxidável, os materiais passaram pela mistura mecânica. Em velocidade baixa, foram misturados por 30 segundos. Em seguida, em velocidade alta, misturados pelo mesmo tempo. Então, coberta por pano úmido, a pasta descansou por 1 minuto e 30 segundos. Finalizando o processo de preparo da pasta de cimento, o misturador foi ligado em velocidade alta por mais 1 minuto.

Imediatamente após o seu preparo, as pastas foram utilizadas para moldar os corpos de prova em moldes tronco-cônicos, de material não absorvente. Em duas camadas, adensadas por 30 golpes de soquete cada uma.

Para determinação do tempo de pega, colocaram-se os moldes preenchidos pela pasta no aparelho de Vicat (Figura 9), juntamente com a placa base.

Figura 9 - Aparelho de Vicat



Fonte: da autora, 2017.

Para realizar as medições, a agulha do aparelho descia até entrar em contato com a pasta e depois eram rapidamente soltas as partes móveis, permitindo que a agulha penetrasse verticalmente na pasta, sendo feita a leitura da escala no fim da penetração. As medições foram feitas a cada 30 minutos e, ao notar-se a proximidade do fim de pega, a cada 5 minutos.

7 RESULTADOS E ANÁLISES

7.1 Abatimento do tronco de cone

Como a classe de *Slump* 160 foi previamente definida, o valor inicial de abatimento do concreto precisava estar entre 160mm e 210mm. A partir disso, pode-se avaliar a manutenção de trabalhabilidade oferecida por cada aditivo, medida de 15 em 15 minutos, ao longo de 1 hora de ensaio, através do ensaio de abatimento do tronco de cone.

Levando em consideração o tempo de preparo do concreto em central de dosagem e o seu trajeto até o local em que será utilizado, a manutenção de trabalhabilidade desejada para os aditivos testados é adotada como perda máxima de 20 milímetros de abatimento nos primeiros 30 minutos após a medição do *slump* inicial.

Os resultados encontrados estão expressos conforme aditivo utilizado, para os quatro traços de concreto estipulados.

7.1.1 Aditivo MC Techniflow 520 – Plastificante multifuncional Mid-Range

Abaixo, no Quadro 14, estão expressos os valores de abatimento encontrados para os traços em que foi empregado o aditivo químico MC Techniflow 520, da marca MC Bauchemie.

Quadro 144 - Resultados de abatimento do aditivo Techniflow 520

Traço 1						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	160	145	135	100	90	25
Traço 2						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	200	185	185	180	175	15
Traço 3						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	205	190	180	180	180	25
Traço 4						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	210	205	195	195	180	15

Fonte: da autora, 2017.

Nota-se que, nos primeiros 30 minutos de ensaio, a variação do abatimento foi maior do que 20mm, nos Traços 1 e 3. Assim, não se pode caracterizar a total confiabilidade do aditivo avaliado em relação a manutenção de trabalhabilidade alcançada pelo mesmo.

A queda de abatimento total, ao fim dos 60 minutos de ensaio, se manteve equivalente para os Traços 1, 3 e 4, variando entre 25mm e 30mm de perda. Já o Traço 1 apresentou perda de 70mm do seu abatimento inicial.

7.1.2 Aditivo Erca Fluxer RMX 738 – Mid-range

Os resultados de abatimento encontrados para os concretos preparados com o aditivo da Erca, Fluxer RMX 738, estão expressos no Quadro 15, abaixo.

Quadro 155 - Resultados de abatimento do aditivo Fluxer RMX 738

Traço 1						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	170	165	160	150	115	10
Traço 2						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	185	170	165	145	145	20
Traço 3						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	185	180	165	135	135	20
Traço 4						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	210	200	190	180	180	20

Fonte: da autora, 2017.

Analisados os valores encontrados nos ensaios, a eficiência do aditivo é notável, pois, transcorridos 30 minutos iniciais, a perda de consistência não foi superior aos 20mm tolerados, em nenhum dos traços de concreto executados. Já, ao avaliar-se as perdas de abatimento nos 15 minutos finais de ensaio, os valores se mantêm estáveis, exceto no Traço 1, em que a queda do abatimento foi brusca.

7.1.3 Eucon 4120 – Superplastificante Mid-Range

Os concretos desenvolvidos com o uso do aditivo da Viapol, Eucon 4120, tem seus resultados expostos no Quadro 16.

Quadro 166 - Resultados de abatimento do aditivo Eucon 4120

Traço 1						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	190	180	175	175	150	15
Traço 2						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	195	190	190	170	160	5
Traço 3						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	200	195	190	185	165	10
Traço 4						
Tempo (min)	0	15	30	45	60	Varição nos primeiros 30 min
Slump (mm)	210	210	200	195	175	10

Fonte: da autora, 2017.

Constata-se que, em todos os traços de concreto, a manutenção de trabalhabilidade oferecida pelo aditivo nos primeiros 30 minutos foi garantida. Inclusive, nos Traços 1, 3 e 4, a perda de abatimento foi inferior a 20mm transcorridos 45 minutos do início do ensaio.

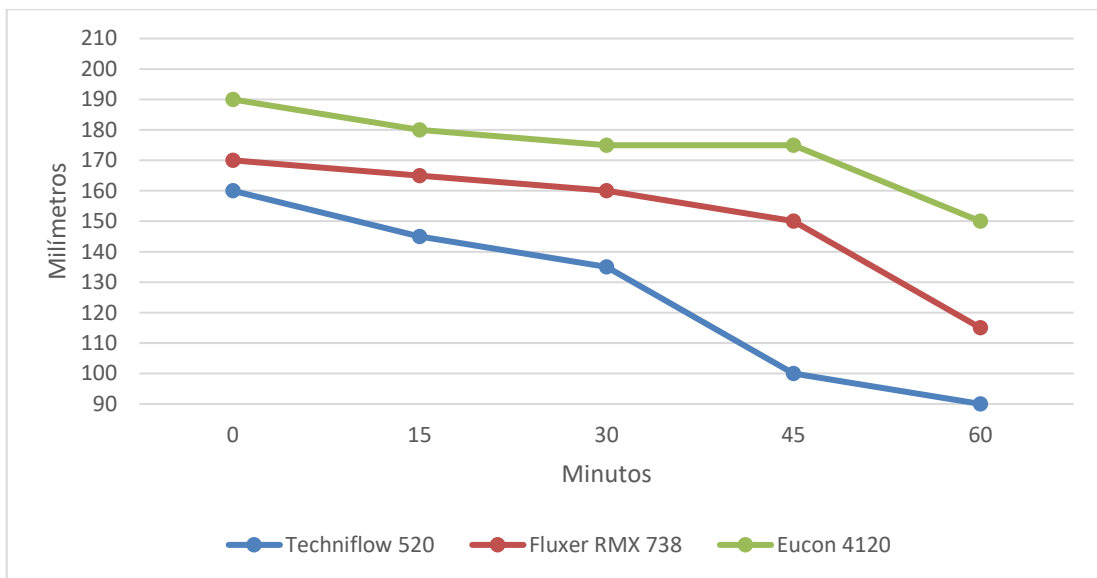
Ao passar dos 60 minutos, a perda de abatimento total se manteve entre 35mm e 40mm nos quatro traços desenvolvidos, ou seja, independentemente da quantidade de aglomerante utilizado na produção do concreto, o comportamento do aditivo se mantém.

7.1.4 Comparação dos resultados

Na Figura 10 é possível a visualização das curvas de manutenção de trabalhabilidade dos três aditivos utilizados, para o Traço 1.

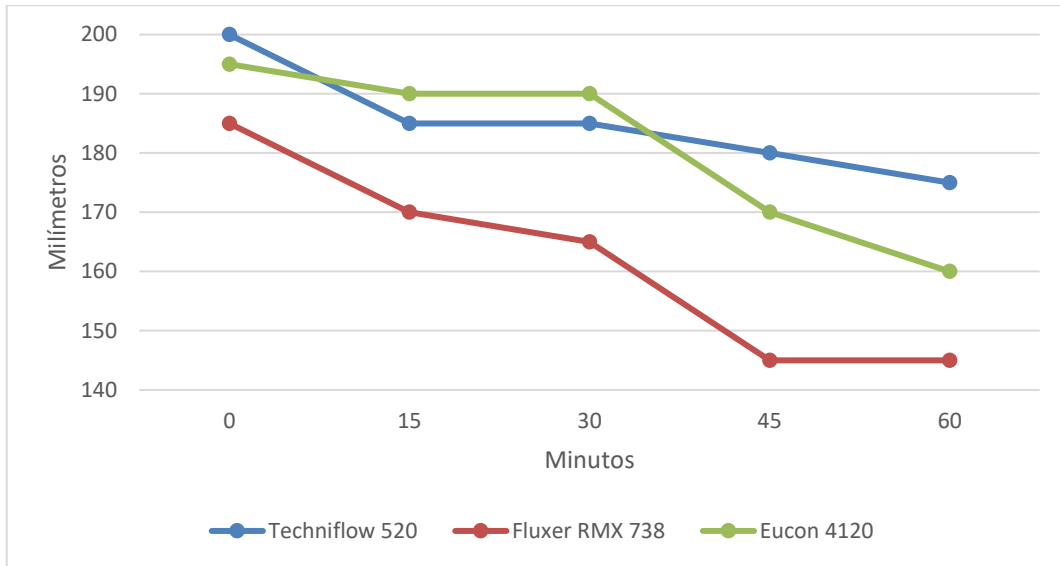
Para o Traço 1, o aditivo Fluxer RMX 738, da Erca, apresentou o melhor desempenho na manutenção da trabalhabilidade do concreto nos primeiros 30 minutos de ensaio, com perda de abatimento de 10mm. Já o aditivo da MC Bauchemie, o Techniflow 520, foi o único que ultrapassou o parâmetro máximo de 20mm como perda de abatimento em 30 minutos iniciais.

Figura 10 - Comparativos de abatimento do Traço 1



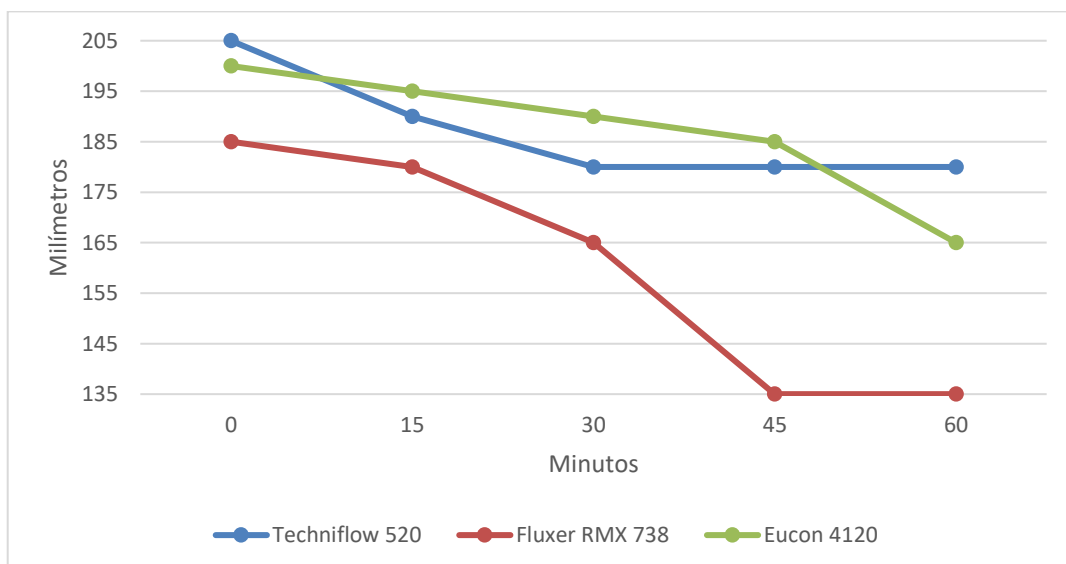
Fonte: da autora, 2017.

A comparação de resultados para o Traço 2 está ilustrada na Figura 11. Todos os aditivos alcançaram o desempenho esperado, porém, o aditivo Eucon 4120, da Viapol, apresentou a menor perda de abatimento nos 30 minutos iniciais, de apenas 5mm.

Figura 11 - Comparativos de abatimento do Traço 2

Fonte: da autora, 2017.

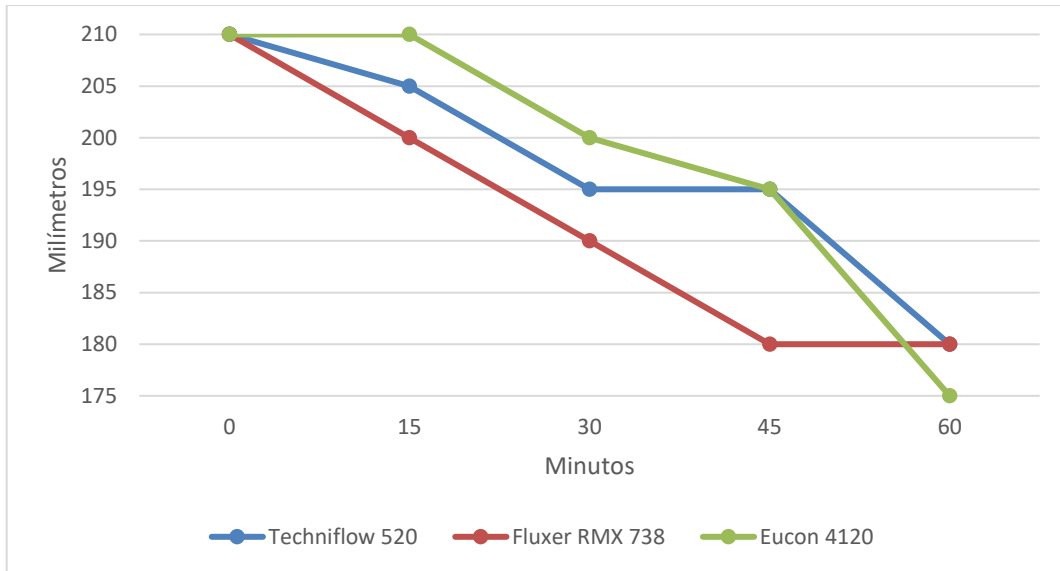
A Figura 12 caracteriza o desempenho dos aditivos no Traço 3. Assim, o melhor resultado obtido foi de 10mm de perda de abatimento nos primeiros 30 minutos, alcançado pelo aditivo da Viapol. Novamente, o único aditivo a ultrapassar o parâmetro máximo de perda de abatimento foi o da marca MC Bauchemie.

Figura 12 - Comparativos de abatimento do Traço 3

Fonte: da autora, 2017.

Na análise do Traço 4, todos os aditivos mantiveram a trabalhabilidade nos primeiros 30 minutos. A menor perda de abatimento foi caracterizada pelos 10mm alcançados pelo aditivo Eucon 4120, da Viapol, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Comparativos de abatimento do Traço 4



Fonte: da autora, 2017.

7.2 Resistência à compressão

Obtiveram-se resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova de concreto para idade de 28 dias. Adotou-se como resistência para cada classe de tempo, o maior valor de resistência entre os dois exemplares ensaiados.

7.2.1 Aditivo MCTechniflow 520 – Plastificante multifuncional Mid-Range

Abaixo, no Quadro 17, são apresentados os valores de resistência à compressão obtidos em cada traço de concreto, conforme o tempo de medição do abatimento, para o plastificante Mid-Range Techniflow 520.

Quadro 177 - Resistência à compressão aos 28 dias da marca MC Bauchemie

Traço 1		Traço 2		Traço 3		Traço 4	
Min	MPa	Min	MPa	Tempo	MPa	Min	MPa
0	29,5	0	35,8	0	46,3	0	52,9
15	31,7	15	34,1	15	43,5	15	54,9
30	32,2	30	34	30	43	30	53,4
45	29,7	45	36,5	45	43,4	45	55,3
60	31,5	60	29,4	60	44,6	60	55

Fonte: da autora, 2017.

Para o Traço 1, a variação entre a maior e a menor resistência encontradas é de 9,15%. Já as resistências do Traço 2 variam em até 24,15%. Os 3 e 4 apresentam as menores variações de resistência, de 7,67% e 4,54%, respectivamente. Porém, estas variações não ocorrem gradativamente ao longo das classes de tempo avaliadas, não sendo responsabilizadas pela manutenção de trabalhabilidade oferecida pelo aditivo.

7.2.2 Aditivo Erca Fluxer RMX 738 – Mid-range

No Quadro 18, são apresentados os valores de resistência à compressão obtidos em cada traço de concreto, conforme o tempo de medição do abatimento, para o Mid-Range Fluxer 738.

Quadro 18 - Resistência à compressão aos 28 dias da marca Erca

Traço 1		Traço 2		Traço 3		Traço 4	
Min	MPa	Min	MPa	Tempo	MPa	Min	MPa
0	20,4	0	27,2	0	45,2	0	55,9
15	21,1	15	27,1	15	45,4	15	54,9
30	20,9	30	27,2	30	45,9	30	56,9
45	21,1	45	27,8	45	46,5	45	57,4
60	20,3	60	27,8	60	43,9	60	54,2

Fonte: da autora, 2017.

Os valores de menor e maior resistências à compressão nos corpos de prova de concretos, produzidos com o aditivo da Erca, apresentaram pequenas variações

para os Traços 1, 2, 3 e 4. São elas, respectivamente, 3,94%, 2,58%, 5,92% e 5,9%. Analisou-se também, que estas variações não ocorrem de maneira gradual ao longo dos 60 minutos em que se mediu a manutenção de trabalhabilidade oferecida pelo produto.

7.2.3 Eucon 4120 – Superplastificante Mid-Range

Os valores de resistência à compressão obtidos para cada traço de concreto produzido com o superplastificante Mid-Range Eucon 4120, conforme o tempo de medição do *slump*, estão apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 - Resistência à compressão aos 28 dias da marca Viapol

Traço 1		Traço 2		Traço 3		Traço 4	
Min	MPa	Min	MPa	Tempo	MPa	Min	MPa
0	17,3	0	27,2	0	36,9	0	55,6
15	15,9	15	26	15	34,2	15	53,3
30	15,3	30	23,3	30	32,5	30	50,4
45	14,5	45	23,4	45	31,8	45	46,6
60	14,7	60	22,6	60	30,5	60	43,7

Fonte: da autora, 2017.

Os resultados encontrados para resistência à compressão do aditivo da marca Viapol tiveram variações máximas de 19,31%, 20,35%, 20,98% e 27,23%, para os Traços 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Nota-se que a queda de resistência se deu ao longo do tempo em que se media a manutenção de trabalhabilidade oferecida pelo produto, ou seja, quanto mais tempo de ação do produto, menor a resistência à compressão do concreto.

7.2.4 Comparação dos resultados

Ao avaliar-se cada traço e cada aditivo individualmente, nota-se que a resistência à compressão não variou significativamente ao longo do tempo devido a manutenção de trabalhabilidade propiciada ao concreto, exceto no emprego do aditivo Eucon 4120. Porém, devido às variações na relação água/cimento utilizadas para

alcançar o *slump* inicial em cada betonada, mesmos traços apresentaram resistências distintas. A variação da resistência em função do fator A/C encontra-se no Quadro 20.

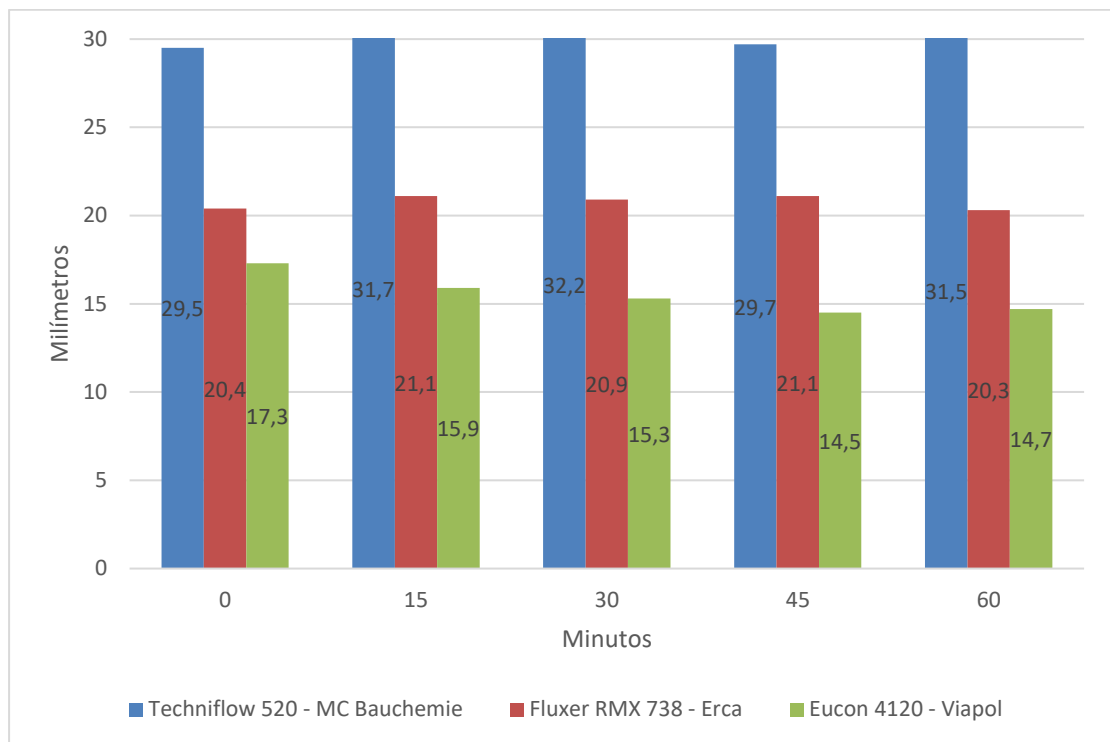
Quadro 18 - Comparativo de resistências e fatores água/cimento

TRAÇO 1						
Aditivo	Relação A/C	Resistência média à compressão (MPa)				
		0min	15min	30min	45min	60min
MC Techniflow 520	0,625	29,5	31,7	32,2	29,7	31,5
Erca Fluxer RMX 738	0,833	20,4	21,1	20,9	21,1	20,3
Eucon 4120	0,804	17,3	15,9	15,3	14,5	14,7
TRAÇO 2						
Aditivo	Relação A/C	Resistência média à compressão (MPa)				
		0min	15min	30min	45min	60min
MC Techniflow 520	0,589	35,8	34,1	34	36,5	29,4
Erca Fluxer RMX 738	0,702	27,2	27,1	27,2	27,8	27,8
Eucon 4120	0,708	27,2	26	23,3	23,4	22,6
TRAÇO 3						
Aditivo	Relação A/C	Resistência média à compressão (MPa)				
		0min	15min	30min	45min	60min
MC Techniflow 520	0,506	46,3	43,5	43	43,4	44,6
Erca Fluxer RMX 738	0,547	45,2	45,4	45,9	46,5	43,9
Eucon 4120	0,598	36,9	34,2	32,5	31,8	30,5
TRAÇO 4						
Aditivo	Relação A/C	Resistência média à compressão (MPa)				
		0min	15min	30min	45min	60min
MC Techniflow 520	0,468	52,9	54,9	53,4	55,3	55
Erca Fluxer RMX 738	0,521	55,9	54,9	56,9	57,4	54,2
Eucon 4120	0,503	55,6	53,3	50,4	46,6	43,7

Fonte: da autora, 2017.

Para o Traço 1, as maiores resistências à compressão foram alcançadas pelo concreto produzido com o aditivo Techniflow 520, seguido pelo concreto em que se empregou o Fluxer RMX738. Mesmo com relação água/cimento inferior à do concreto produzido com o aditivo da Erca, o material em que se empregou o Eucon 4120 apresentou as menores resistências, como mostra a Figura 14. Isso se deve à capacidade de mais quantidade de cimento reagir com água, possibilitada pelo Fluxer.

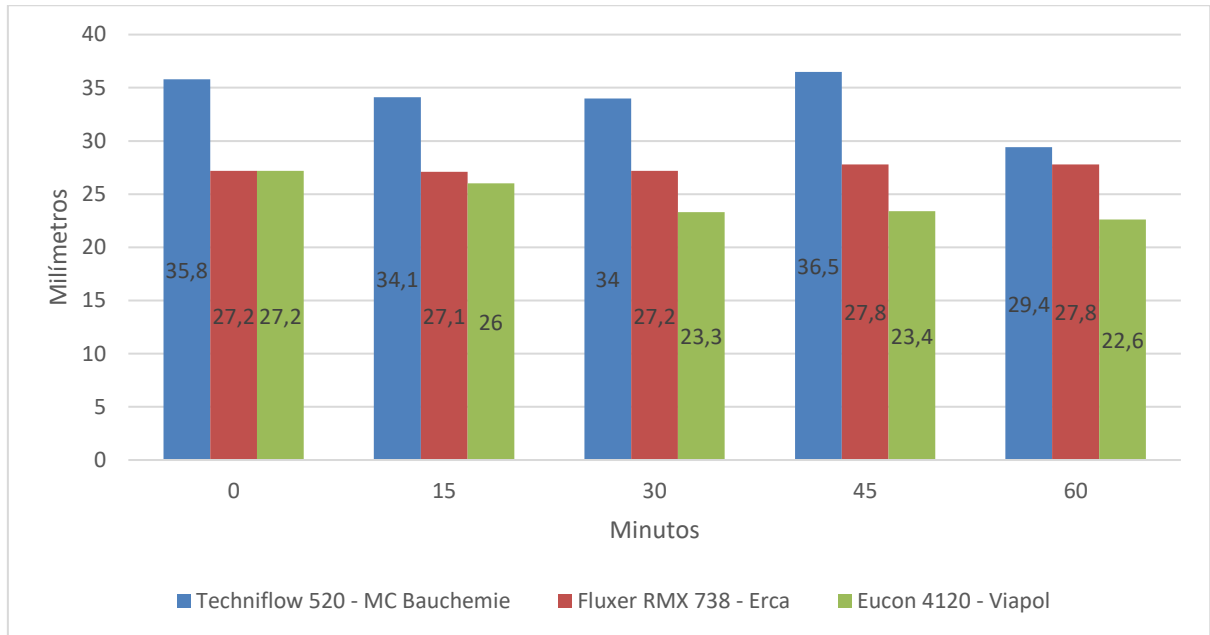
Figura 14 - Comparativos de resistência à compressão do Traço 1



Fonte: da autora, 2017.

Para o Traço 2, nos concretos em que se empregou os aditivos da Erca e da Viapol, os fatores A/C ficaram bem próximos, logo, as resistências obtidas também foram mais semelhantes. Porém, o valor de resistência mais baixo encontrado foi para um dos corpos de prova do Eucon 4120. A relação A/C do concreto produzido com o aditivo da MC Bauchemie foi inferior à dos demais, caracterizando também as maiores resistências à compressão para o Traço 2, ilustradas na Figura 15.

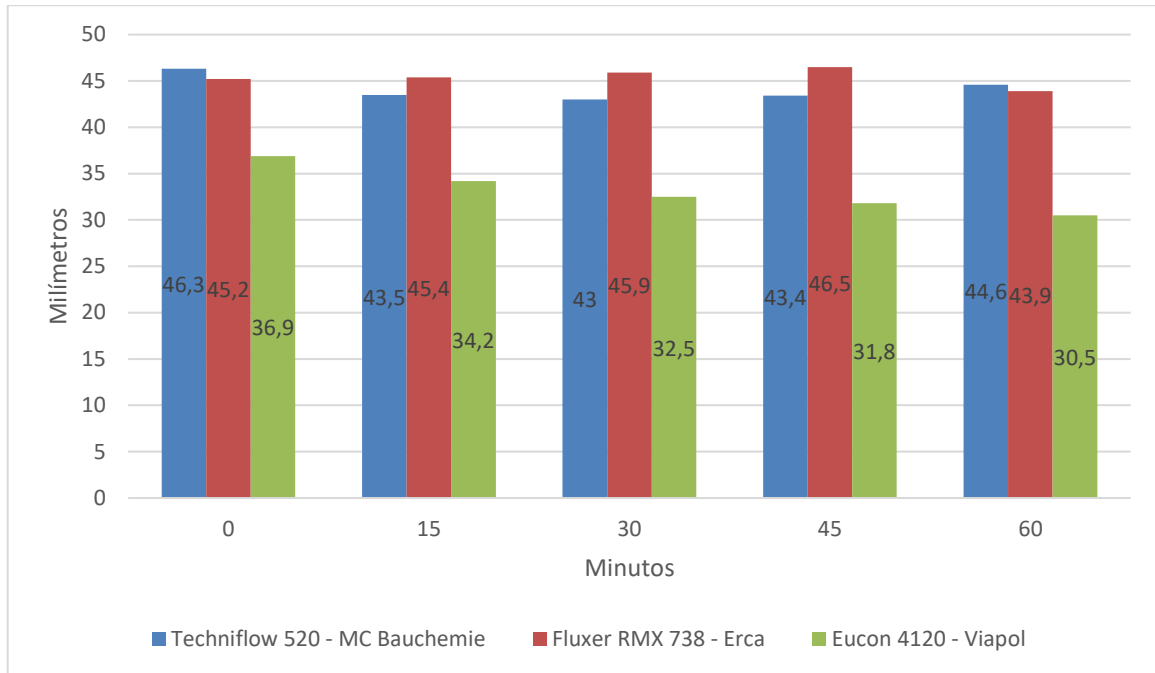
Figura 15 - Comparativos de resistência à compressão do Traço 2



Fonte: da autora, 2017.

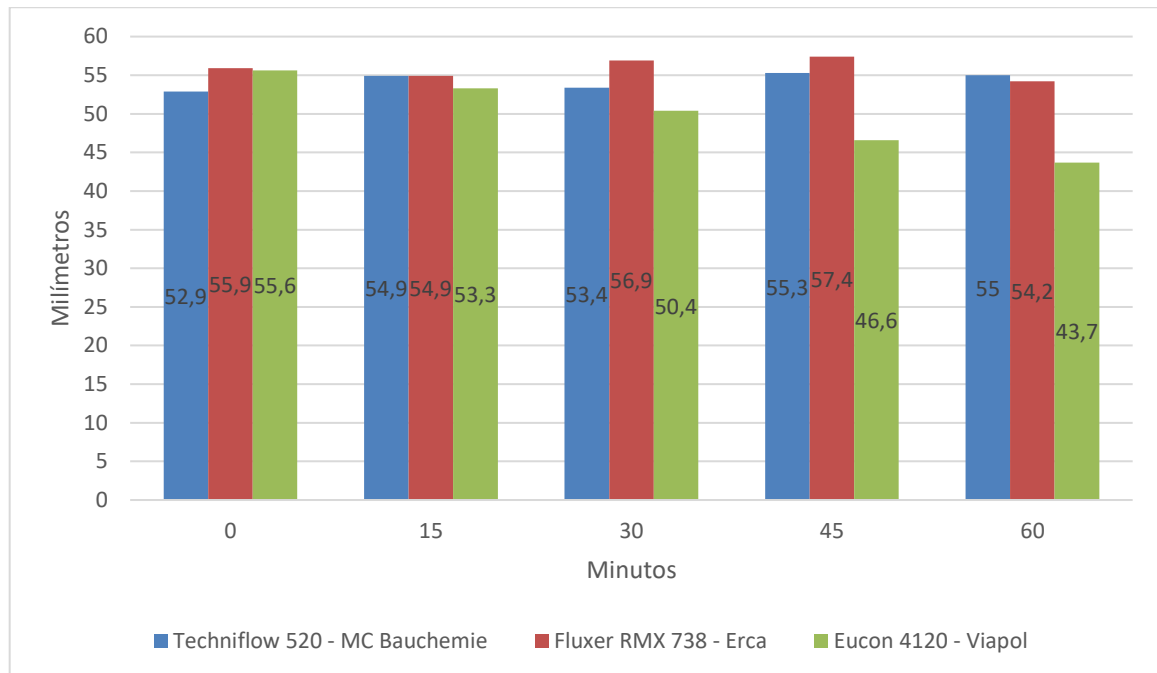
Na Figura 16 encontra-se o comparativo das resistências alcançadas para o Traço 3. Destacaram-se os aditivos da MC Bauchemie e da Erca, tendo em vista que as resistências de seus corpos de prova foram bem semelhantes e superiores à do concreto com uso do produto da Viapol. Enfatiza-se também o melhor desempenho em alguns corpos de prova do Fluxer RMX 738 em relação ao Techniflow 520, mesmo apresentando fator A/C superior. Já o concreto produzido com o aditivo Eucon 4120 teve o fator A/C acima dos demais, caracterizando baixas resistências aos seus corpos de prova.

Figura 16 - Comparativos de resistência à compressão do Traço 3



Fonte: da autora, 2017.

Para os concretos produzidos com o Traço 4, as relações água/cimento foram as mais semelhantes para os três aditivos testados, logo, os valores obtidos para resistência à compressão foram mais semelhantes. O aditivo da Viapol apresentou seu melhor resultado nesse traço, obtendo alta resistência inicial. Contudo, foi perdendo essa característica ao longo do período de medição do abatimento, apresentando novamente resistências inferiores aos demais produtos. Essas informações estão expostas na Figura 17.

Figura 17 - Comparativos de resistência à compressão do Traço 4

Fonte: da autora, 2017.

7.3 Tempo de pega

Os ensaios de tempo de pega das pastas de cimento CII-F 40 têm seus resultados expostos no Quadro 21.

Quadro 191 - Resultados do tempo de pega da pasta de cimento

Pasta de cimento	Início de pega	Fim de pega
Sem aditivo	2h	4h e 15min
Techniflow 520	5h	11h
Fluxer RMX 738	3h e 30min	9h e 45min
Eucon 4120	6h	10h e 15min

Fonte: da autora, 2017.

A pasta de cimento CII-F 40 normal, preparada sem o uso de aditivo, teve seu fim de pega após 4 horas e 15 minutos do seu preparo. Assim, sabe-se que houve retardo no tempo de pega da pasta de cimento ao utilizar-se os três aditivos avaliados neste trabalho.

Porém, durante a execução dos ensaios de concreto, avaliou-se também o comportamento dos corpos de prova que eram moldados. Ao serem desmoldados, após 24 horas de sua execução, as amostras apresentavam sua face externa endurecida, ou seja, o emprego dos aditivos não caracterizou retardo sobre o concreto, apenas sobre a pasta de cimento.

7.4 Curvas de dosagem

A partir dos resultados de resistência obtidos para cada aditivo, juntamente com o fator água/cimento utilizado em cada traço de concreto foi possível gerar curvas de consumo de cimento e de teor de agregado necessário para obter-se determinada resistência aos 28 dias, além de relacionar a resistência com o fator água/cimento.

As curvas geradas estão apresentadas em anexo.

8 CONCLUSÃO

O estudo de laboratório realizado neste trabalho avaliou o desempenho de três aditivos de manutenção de trabalhabilidade, dosados em 1% da massa de aglomerante utilizado, em quatro diferentes traços de concreto.

O aditivo MC Techniflow 520 obteve comportamento insatisfatório, nos Traços 1 e 3, para a perda de abatimento máxima nos primeiros 30 minutos de ensaio. Porém, em todos os traços, a sua relação água/cimento necessária para alcançar a classe de *Slump* 160 foi menor do que a dos demais produtos analisados. Quanto a resistência à compressão na idade de 28 dias, obtiveram-se resultados positivos, pois os valores estão entre os mais elevados em todos os traços, e não se alteraram devido a manutenção de trabalhabilidade oferecida pelo aditivo. Em relação ao tempo de pega da pasta de cimento, mesmo intitulado aditivo plastificante Mid-Range de pega normal, apresentou o maior retardo dentro os produtos testados. Contudo, os corpos de prova de concreto produzidos com este químico foram desmoldados após 24 horas e não apresentaram retardo.

O superplastificante Mid-Range Fluxer RMX 738 foi efetivo na manutenção de trabalhabilidade nos quatro traços de concreto produzidos. Nos resultados de resistência à compressão, o produto destacou-se nos traços 3 e 4, com valores equivalentes ou superiores dentre os demais produtos testados, mesmo que apresentasse relação água/cimento superior. Não houve perda gradativa de resistência ao longo do tempo de medição da trabalhabilidade. No ensaio de tempo de pega, a pasta de cimento elaborada com este produto apresentou o menor tempo de fim de pega dentre as pastas produzidas com as demais marcas de aditivos químicos. Mesmo assim, se comparada à pasta sem aditivo, sua pega é considerada retardada. Não se constatou retardo no concreto produzido com o produto avaliado.

Nos testes com o aditivo Eucon 4120 o desempenho da manutenção de trabalhabilidade foi ainda mais notável, pois os concretos produzidos com ele apresentaram a menor perda de abatimento nos primeiros 30 minutos em três, dos quatro traços elaborados. Além disso, três traços continuaram com a perda de *slump* abaixo de 20mm por mais 15 minutos, ou seja, o produto obteve resultado satisfatório por até 45 minutos após o preparo do concreto. Em contrapartida, os resultados dos ensaios de resistência à compressão não apresentaram um bom comportamento, estando entre os menores valores encontrados, em todos os traços desenvolvidos, já

que os fatores água/cimento necessários para alcançar a classe de abatimento requerida foram elevados, se comparados aos demais. Notou-se perda de resistência à medida em que era mantida a trabalhabilidade do concreto. Na pasta de cimento produzida com este aditivo, não diferente da pasta elaborada com os aditivos avaliados anteriormente, houve retardo no tempo de pega. Porém, nos corpos de prova de concreto, este retardo não foi constatado.

Para dar continuidade aos estudos a respeito dos aditivos de manutenção de trabalhabilidade, são recomendados alguns temas para futuros trabalho, que podem ser feitos com outras marcas de aditivos, outros teores de adição de pozolanas, ou com valores variáveis de dosagem do aditivo.

REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Guia básico de utilização do cimento Portland*. 7.ed. São Paulo, 2002. 28 f.

ABESC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL – *Manual do concreto dosado em central*. São Paulo, 2007. 36 f.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5732: Cimento Portland comum*. Rio de Janeiro, 1991.

_____. *NBR 5736: Cimento Portland pozolânico*. Rio de Janeiro, 1999.

_____. *NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2016.

_____. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. *NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NBR 11578: Cimento Portland composto – Especificação*. Rio de Janeiro, 1997.

_____. *NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2011.

_____. *NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. *NBR 15900: Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos*. Rio de Janeiro, 2009.

_____. *NBR NM 43: Determinação da pasta de consistência normal*. Rio de Janeiro, 2003.

_____. *NBR NM 65: Determinação do tempo de pega*. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. *NBR NM 137: Argamassa e concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland*. Rio de Janeiro, 1997.

ANDRADE, T.; HELENE, P. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 905 – 944.

BAUER, L. A. F. *Materiais de construção*. 5.ed. Rio de Janeiro. LTC, 2000.

CORRÊA, Augusto Cesar Abduche. *Estudo do desempenho dos aditivos plastificantes e polifuncionais em concretos de cimento Portland tipo CP-III-40*. 2010. 149p. Dissertação (Programa de pós-graduação em Engenharia Civil – Mestrado) --- Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2010.

EFFTING, Carmeane. *Aditivos*, 2014. Apresentação de slides (Disciplina de Materiais de Construção II) – Universidade Federal do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2014.

FONSECA, Gustavo Celso. *Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica*. 2010. 106 f. Dissertação (Departamento de Engenharia – Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FRACALOSSI, Romulo Augusto Rigon. *Aditivos à base de policarboxilatos: influência nos tempos de pega e na manutenção do abatimento em pastas de cimento Portland*. 2011. 70 f. Trabalho de diplomação (Departamento de Engenharia Civil – Graduação) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FREITAS JR., José de Almeida. *Aditivos e adições minerais para concreto*, 2017. Apresentação de slides – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

GRACE & CO., Novas Tecnologias em Aditivos para concretos com classe de consistência S100 e S160. *56º Congresso Brasileiro de Concreto*. Natal: IBRACON. 27 f., 13. Outubro. 2014. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/eventos/56cbc/Rogério_venancio.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2017.

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

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

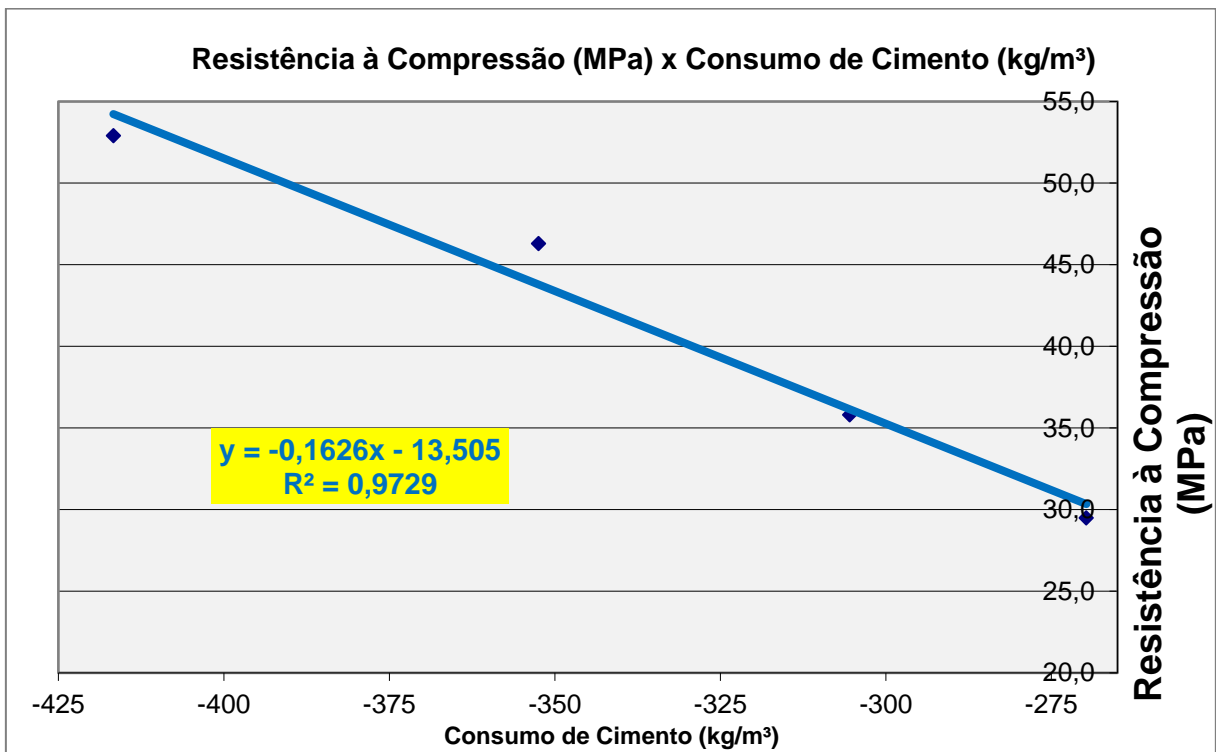
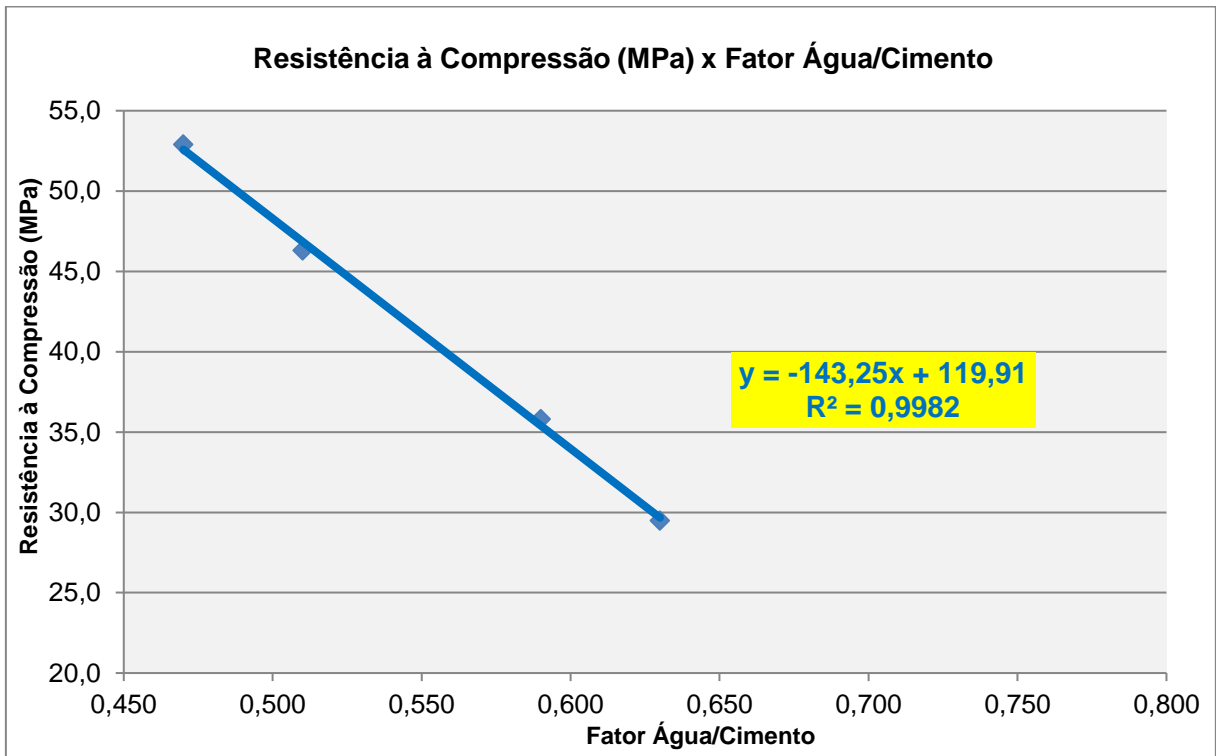
NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. 5.ed. São Paulo: Bookman, 2016.

SCHMIDT, Holger. Tendências da tecnologia dos aditivos para concreto. *58º Congresso Brasileiro de Concreto*. Natal: IBRACON. 75 f., 13. Outubro. 2016. Disponível em: <<http://ibracon.org.br/eventos/58cbc/Palestras/HolgerSchimidt.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 201

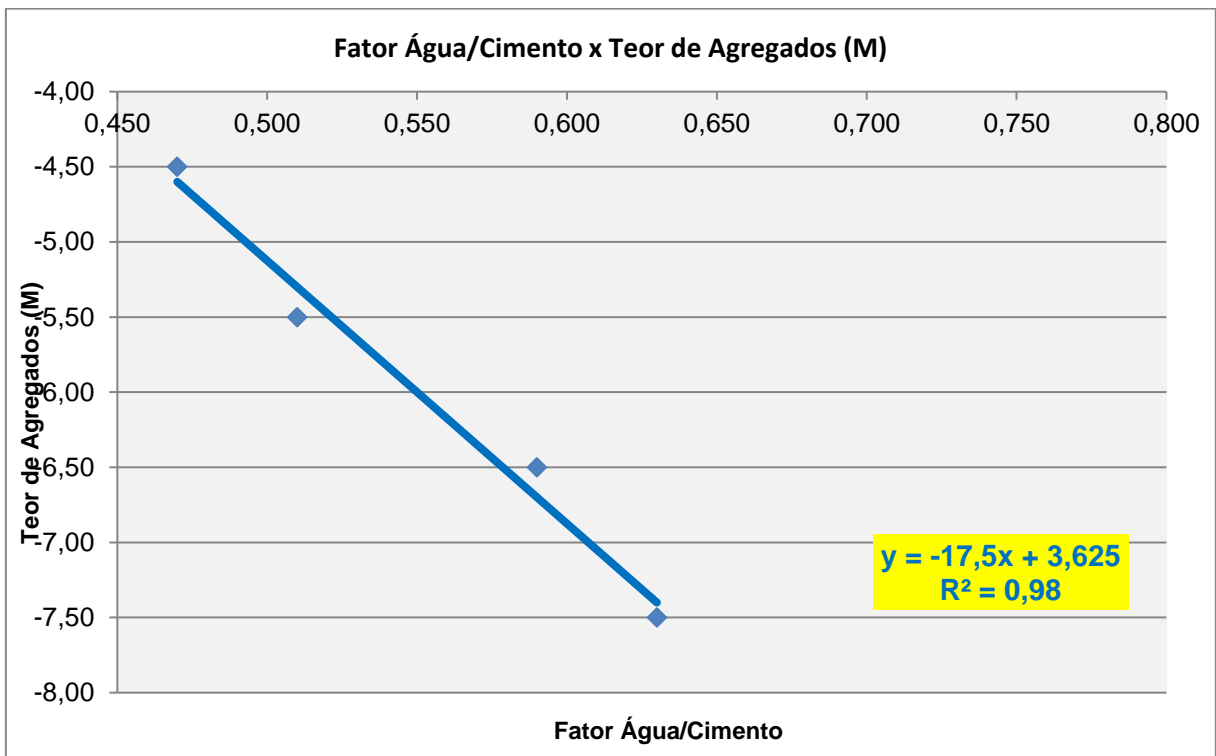
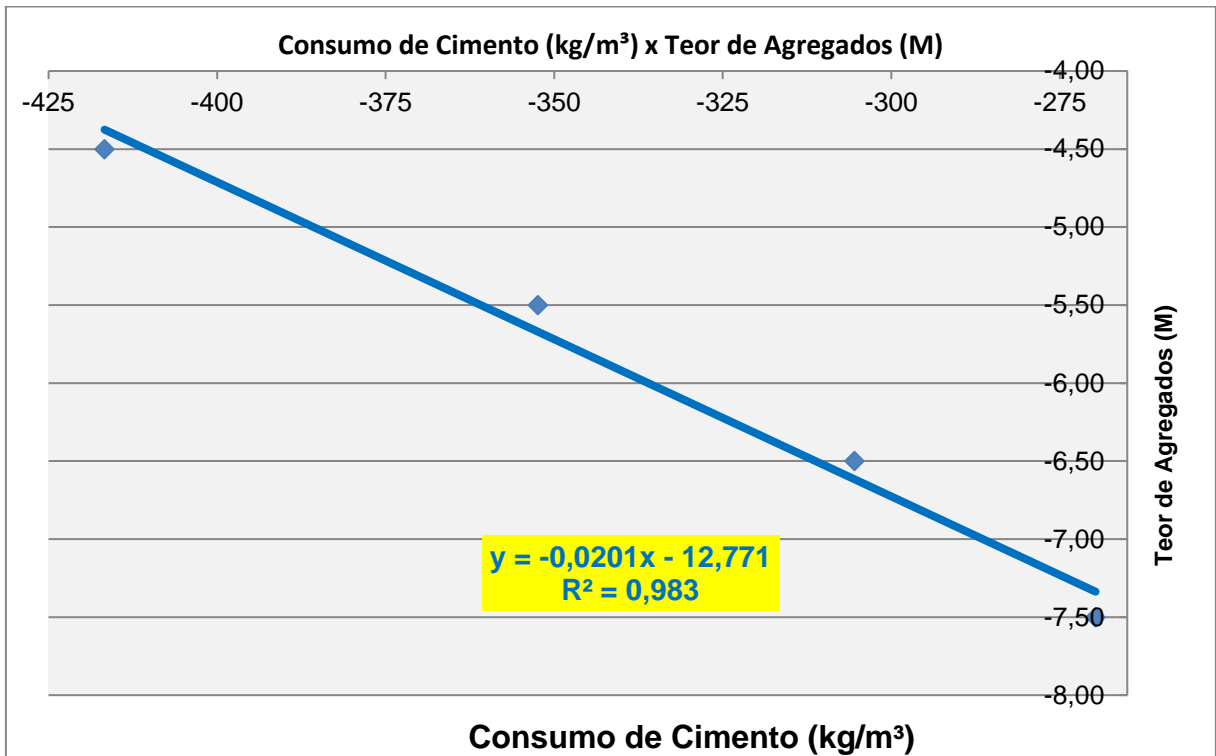
TARTUCE, R.; GIOVANNETTI, E. *Princípios básicos sobre Concreto de Cimento Portland*. São Paulo: Pini: IBRACON, 1990.

ANEXOS

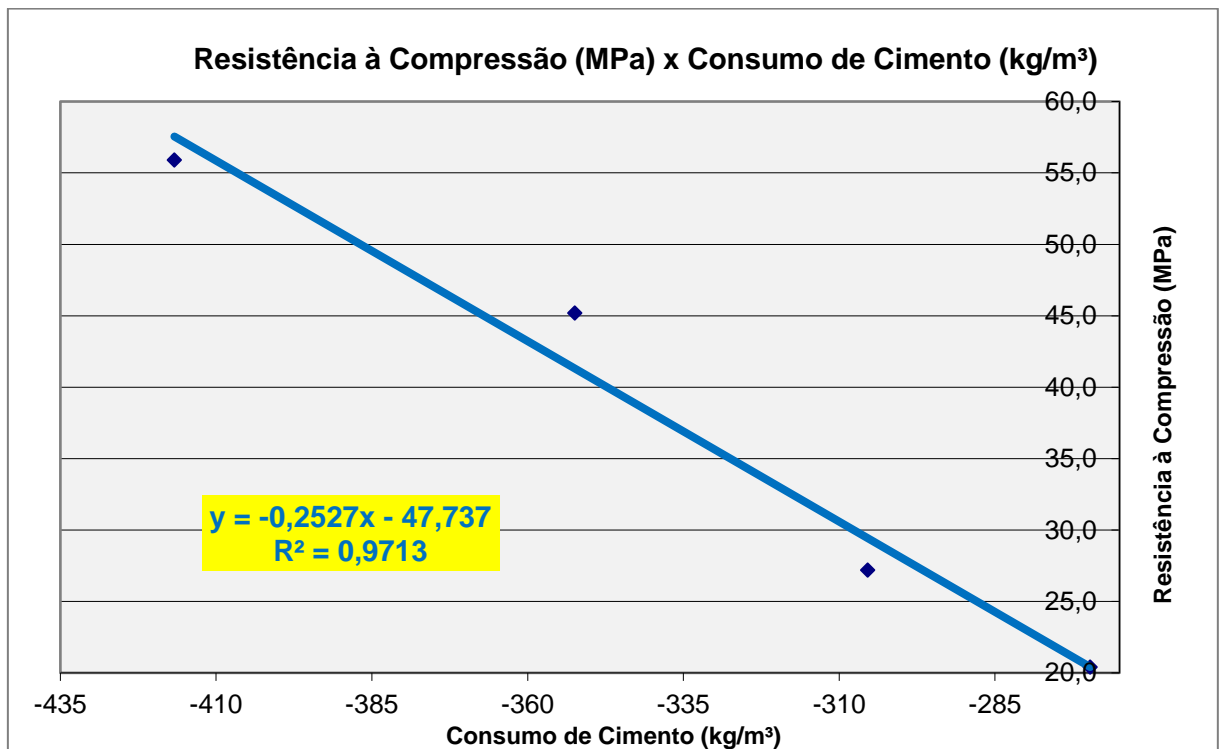
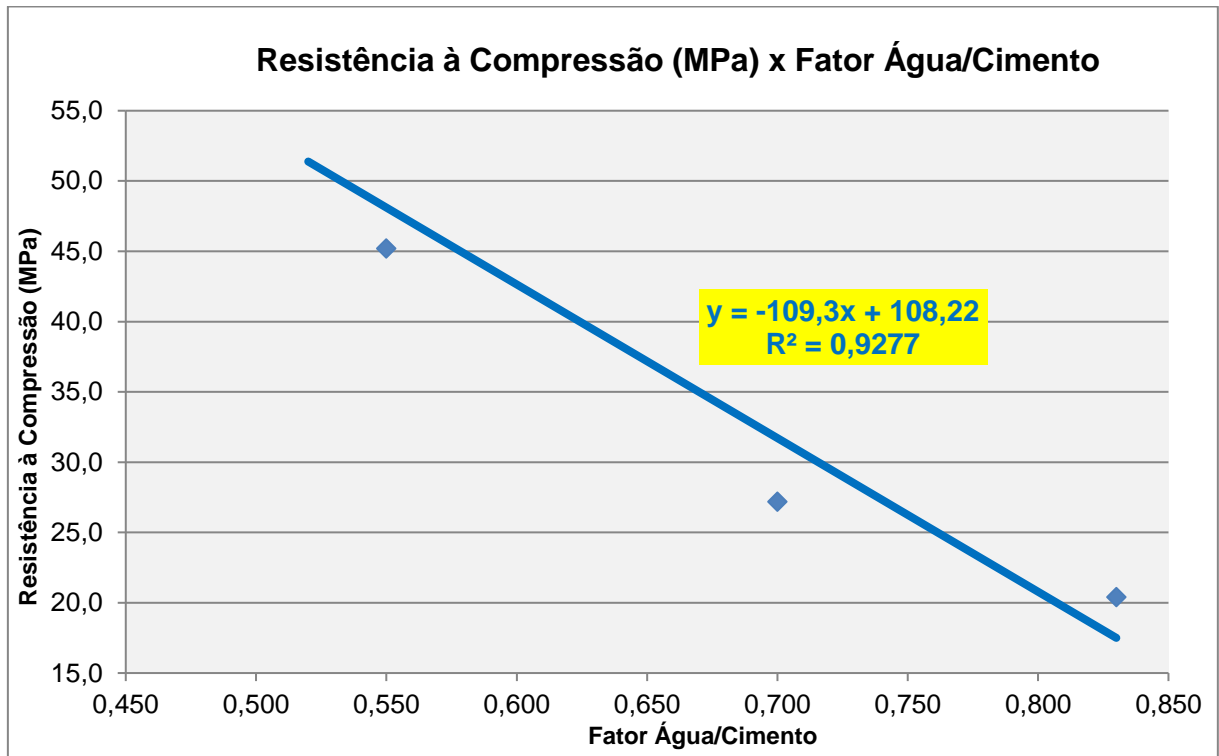
ANEXO A – Curvas do aditivo Techniflow 520



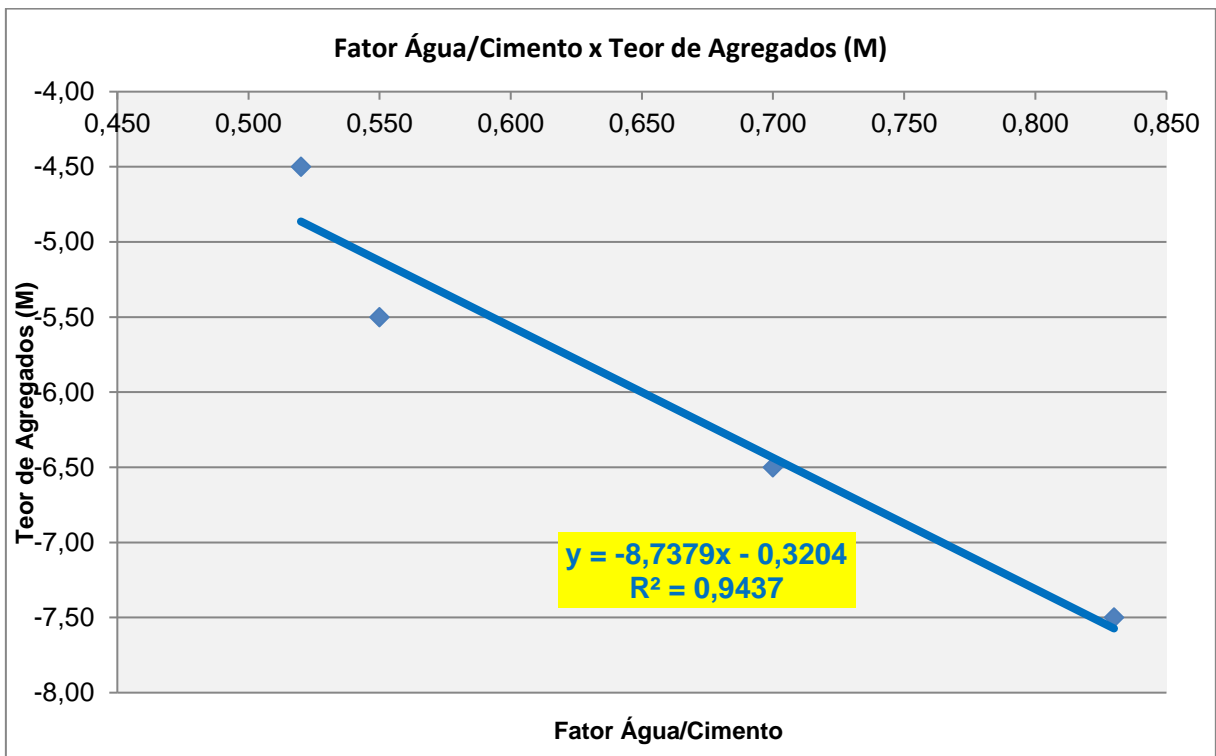
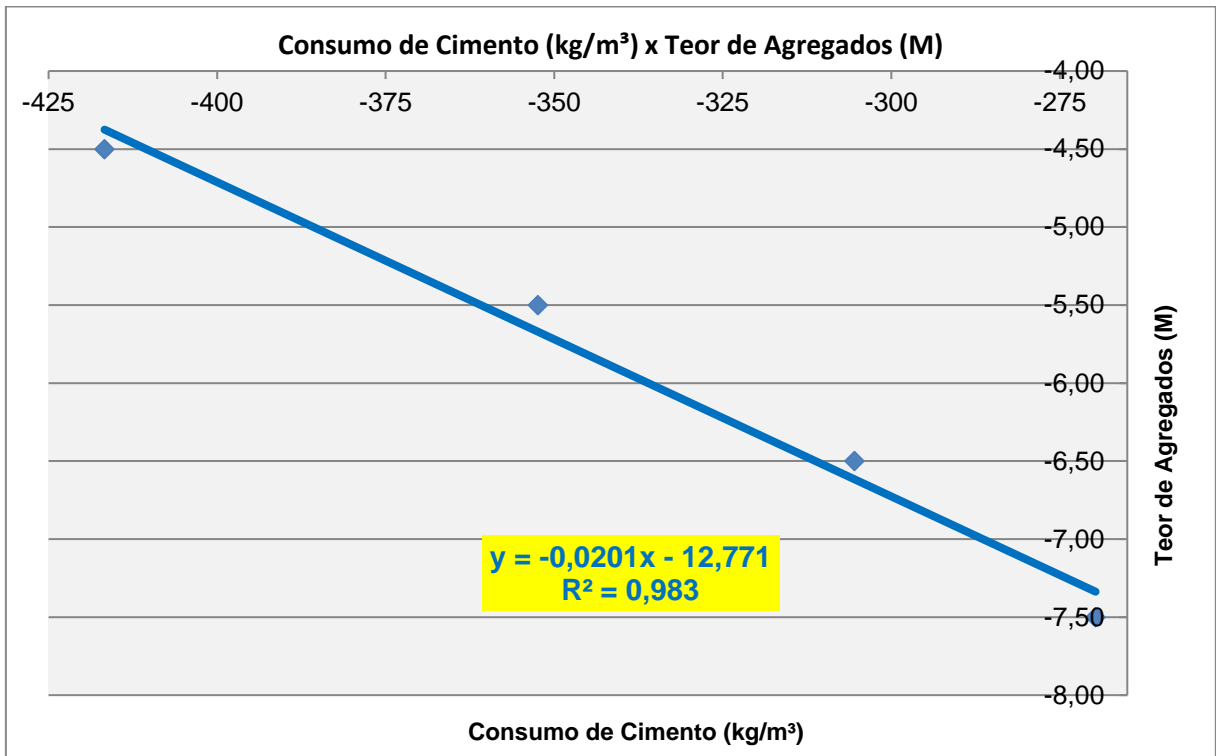
ANEXO B - Curvas do aditivo Techniflow 520



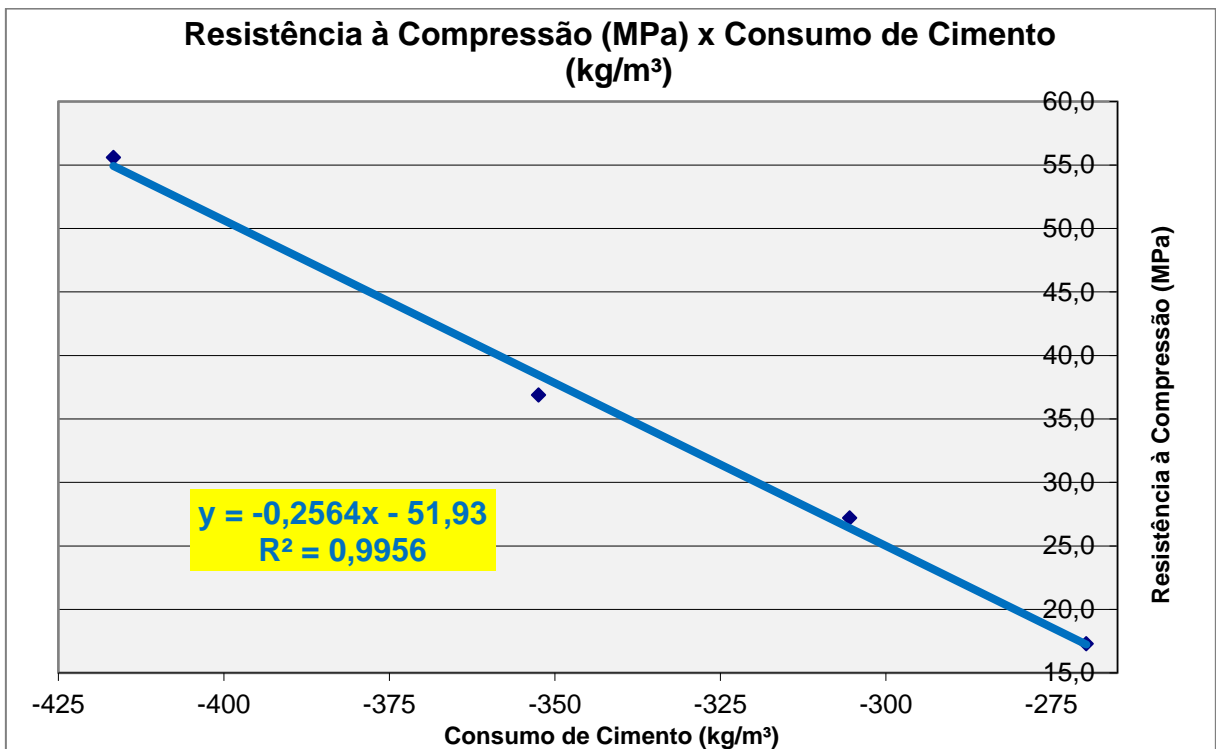
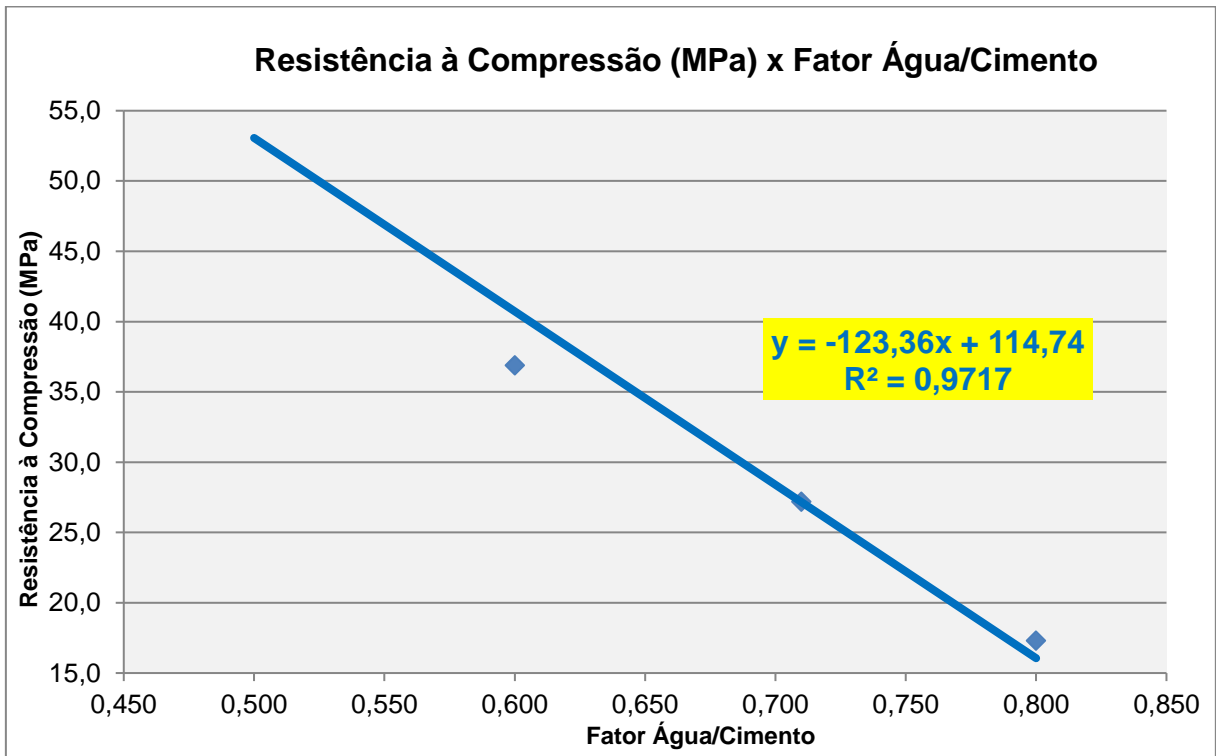
ANEXO C - Curvas do aditivo Fluxer RMX 738



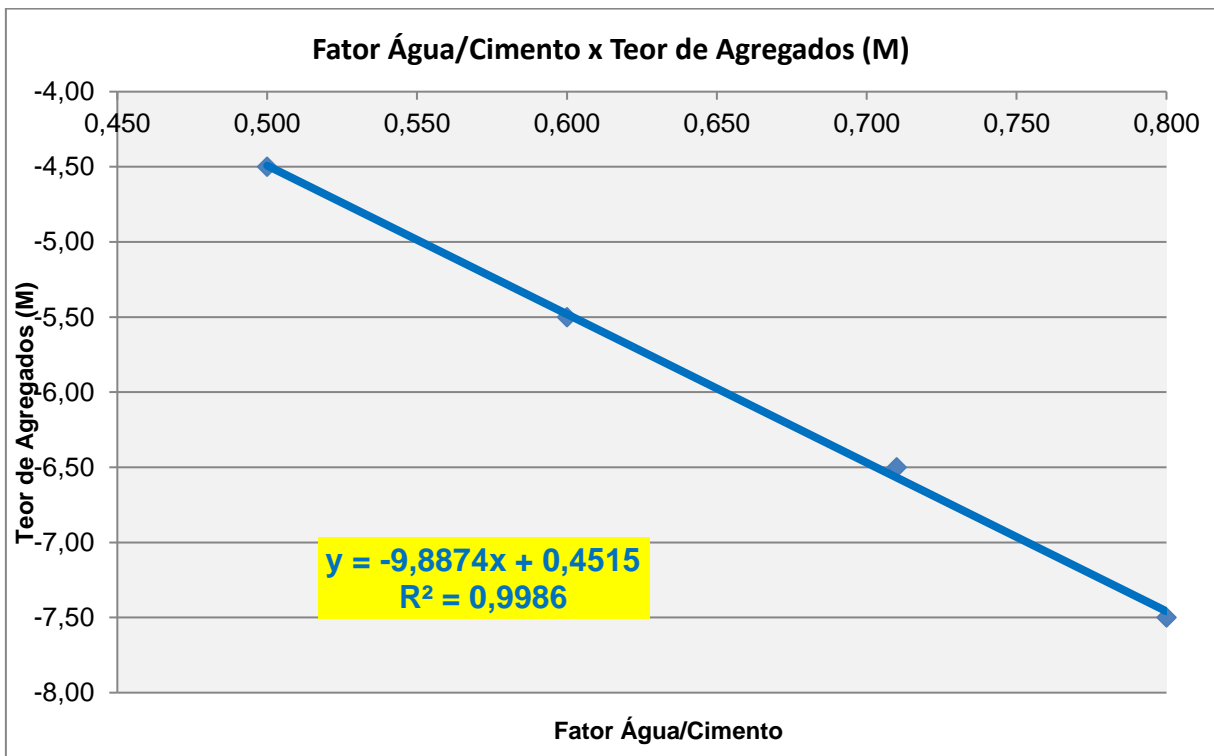
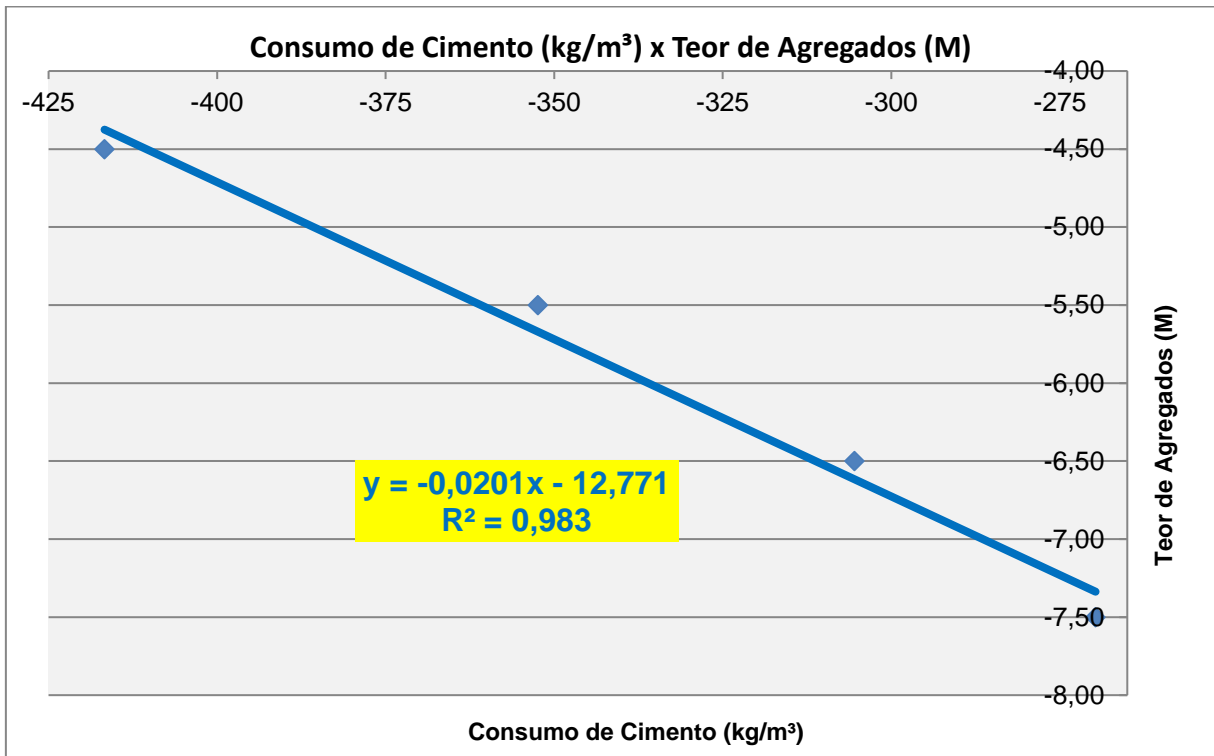
ANEXO D - Curvas do aditivo Fluxer RMX 738



ANEXO E - Curvas do aditivo Eucon 4120



ANEXO F - Curvas do aditivo Eucon 4120





MC-TechniFlow 520

Aditivo plastificante mid-range de pega normal

Propriedades

- Pode ser utilizado como plastificante ou superplastificante dependendo da dosagem
- Reduz a tensão superficial da água de mistura
- Boa dispersão das partículas de cimento
- Melhoria a trabalhabilidade
- Ganho de tempo devido a facilidade da aplicação do concreto
- Melhora o adensamento junto a armadura
- Não provoca retardo no tempo de pega
- Permite ótimas formulações de concreto

Áreas de aplicação

- Concreto usinado ou dosado na obra
- Concreto bombeável
- Concreto protendido

Aplicação

Método de atuação

MC-TechniFlow 520 é uma nova geração de plastificante / superplastificantes para produção de concreto que une as características de robustez dos aditivos clássicos com a melhores propriedades de dispersão dos plastificantes / superplastificantes de tecnologia de última geração. Como consequência, além de suas vantagens técnicas também visa otimizar seu custo benefício.

Concretos produzidos com MC-TechniFlow 520 possuem uma pasta de cimento mais densa e homogênea, bem como uma redução da permeabilidade.

Através da possibilidade de redução do volume de água da mistura, mantendo-se a mesma consistência e consumo de cimento, obtêm-se uma mistura com um fator água/cimento menor e portanto com maiores resistências e menos capilaridades.

Caso o volume de água não seja reduzido, obtêm-se uma melhora da trabalhabilidade do concreto, o que reduzirá a necessidade de adensamento.

MC-TechniFlow 520 também pode ser utilizado em conjunto com aditivos plastificantes / superplastificantes, incorporadores de ar e retardadores.

Mistura

MC-TechniFlow 520 deve ser adicionado no início do processo de mistura ou também junto com a água da mistura. É necessária a utilização de equipamento de dosagem adequado.

Os tempos de mistura e as especificações com respeito a produção, trabalhabilidade e cura também devem ser observados.

Recomendamos que testes preliminares sejam executados antes da utilização em grande escala.



Dados Técnicos – MC-TechniFlow 520

Característica	Unidade	Valor	Observações
Densidade	g/cm ³	1,08	
Dosagem	%	0,2 a 2,0	sobre o peso do cimento

Características – MC-TechniFlow 520

Tipo de produto	Plastificante mid-range de pega normal		
Estado	Líquido		
Cor	Marrom		
Armazenagem	Armazenar os tambores em local seco, coberto e arejado. Para entregas a granel o produto deve ser mantido dentro dos reservatórios instalados em local previamente definido.		
Validade	12 meses a partir da data de fabricação		
Embalagens	Tambor de 220 kg, peso líquido Granel		
Descarte	Para a preservação do meio ambiente, favor esvaziar completamente as embalagens		

Nota: As informações contidas nesta ficha técnica estão baseadas em nossa experiência e no melhor do nosso conhecimento, porém devem ser ajustadas a cada projeto, aplicação e principalmente às condições locais. Nossos dados se referem a práticas aceitas na engenharia que devem ser considerados durante a aplicação. Não nos responsabilizamos por aplicações erradas. Recomendações verbais diferentes das contidas aqui, não são válidas sem a confirmação por escrito da MC-Bauchemie.

Edição 03/2013. Esta ficha técnica substitui a anterior. Caso seja necessária atualização, uma nova edição pode ser impressa em substituição a esta.

Linha Midrange

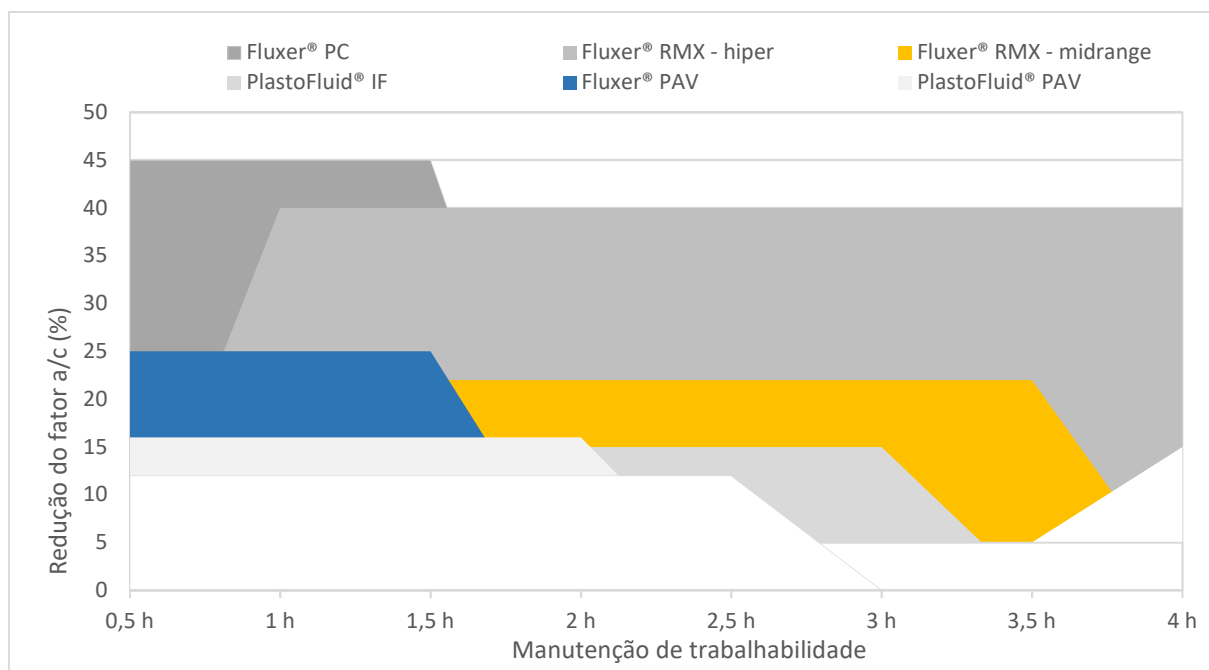
Superplastificantes

Especificação:

A linha Midrange visa proporcionar maiores resistências e manutenção de trabalhabilidade para as aplicações especiais do concreto usinado. São aditivos híbridos à base de policarboxilatos, retardadores e outras matérias primas secundárias.

Os aditivos dessa linha estão inseridos na família FLUXER®. São classificados pela ABNT NBR 11768 como sendo SP-I e pela ASTM C 494 como tipos F e G.

1





Benefícios:

As linhas RMX e PAV apresentam as seguintes vantagens em relação aos plastificantes:

Linha RMX

- Bom potencial de corte de água;
- Incremento na resistência final;
- Redução de cimento;
- Considerável melhoria na manutenção da trabalhabilidade.

2

Linha PAV

- Alto potencial de corte de água;
- Alta resistência inicial;
- Baixo nível de retardo de pega;
- Considerável redução do consumo de cimento;
- Maior flexibilidade na dosagem do aditivo;
- Redução do ar incorporado na mistura.

BOLETIM TÉCNICO

Elaborado em: 31/07/2012
Versão: 01



Campo de Aplicação:

Linha RMX

- Concreto para pisos industriais (*);
- Concreto para sistema de paredes modulares (*);
- Concreto bombeável aplicado em altas temperaturas (verão).

(*) aplicável aos produtos de menor retardo de pega da Linha RMX – comparar resultados a seguir.

Linha PAV

- Concreto para pisos industriais;
- Concreto para sistema de paredes modulares;
- Concreto autoadensável (CAA);
- Concreto pré-moldado;
- Concreto bombeável aplicado em baixas temperaturas (inverno).

Descrição dos Produtos:

Produto	Tipo	Características	Aspecto líquido	Dosagem sugerida (*)	Densidade (g / cm ³)	Qtd por IBC e bombona
Fluxer RMX 379	SP-I R	Redução de cerca de 15% de água e boa manutenção de trabalhabilidade Especialmente desenvolvido para cimentos com maior conteúdo de adições	Marrom	0,5 a 1,0%	1,080 a 1,120	1.050 kg e 210 kg
Fluxer RMX 638	SP-I R	Redução de cerca de 15% de água e boa resistência inicial	Castanho claro a escuro	0,5 a 1,0%	1,090 a 1,130	1.050 kg e 210 kg
Fluxer RMX 669	SP-I R	Redução de cerca de 15% de água Indicado para concretos com alto conteúdo de areia artificial e/ou agregados lamelares	Castanho claro a escuro	0,5 a 1,0%	1,080 a 1,120	1.050 kg e 210 kg
Fluxer RMX 738	SP-I R	Redução de cerca de 20% de água e alta manutenção	Castanho claro a escuro	0,5 a 0,9%	1,100 a 1,140	1.100 kg e 220 kg
Fluxer RMX 739	SP-I R	Redução de cerca de 15% de água, alta manutenção e alta resistência final	Turvo	0,5 a 0,9%	1,110 a 1,150	1.100 kg e 220 kg
Fluxer PAV 378	SP-I R	Redução de até 15% de água e alta resistência inicial	Turvo	0,5 a 0,9%	1,080 a 1,120	1.050 kg e 210 kg
	SP-II R	Redução de até 25% de água, boa resistência inicial e boa manutenção.		1,0 a 1,4%		

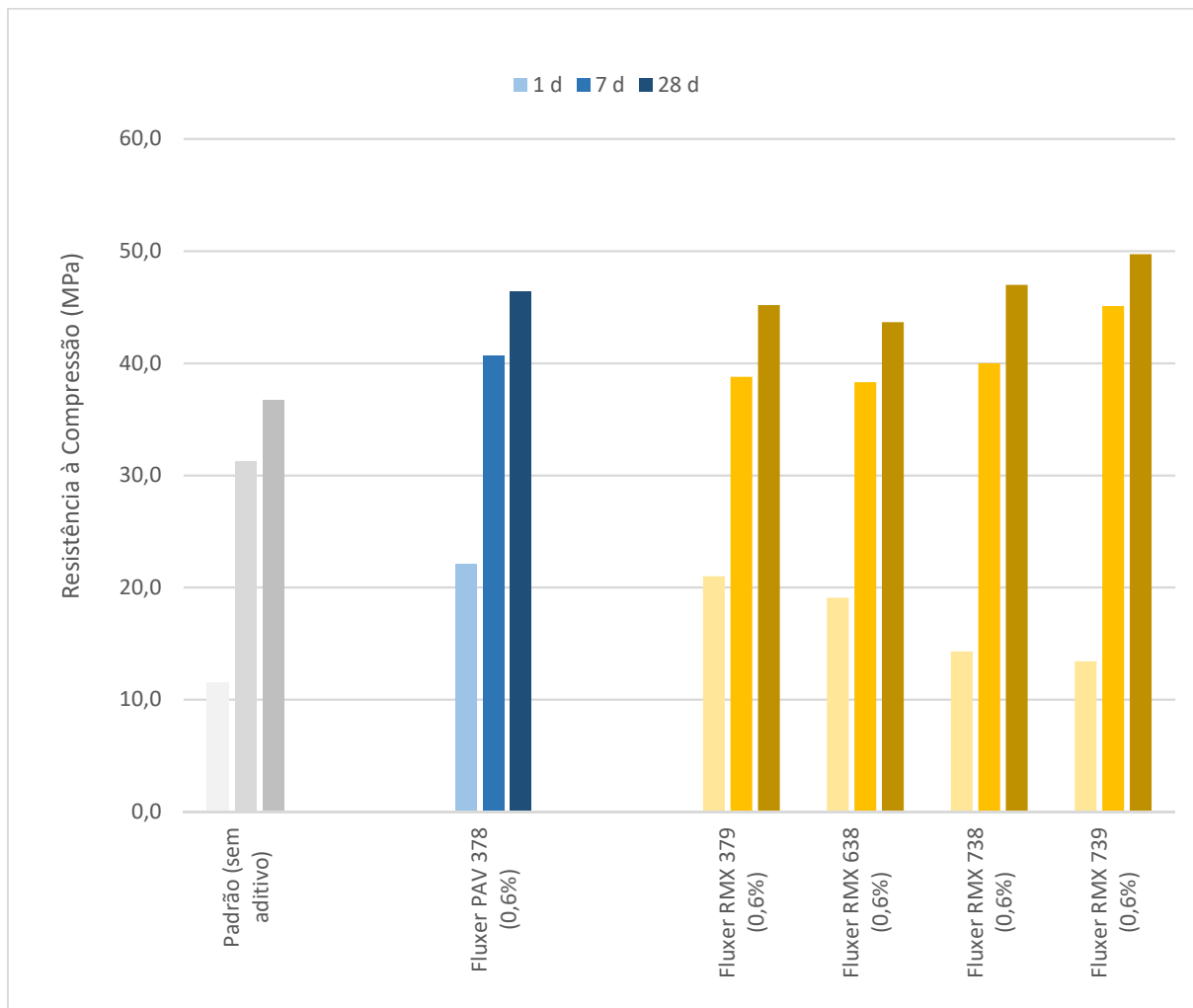
(*) Dosagem sobre o peso do cimento. O teor ideal de aditivo depende de testes em laboratório e/ou campo. O percentual ideal varia de acordo com o tipo de cimento, presença de adições, características dos agregados, tipo do equipamento de mistura, etc. Em caso de uso fora da faixa sugerida, recomendamos consultar nosso suporte técnico.

Informações Técnicas:

Os testes a seguir foram realizados em condições ideais de laboratório.

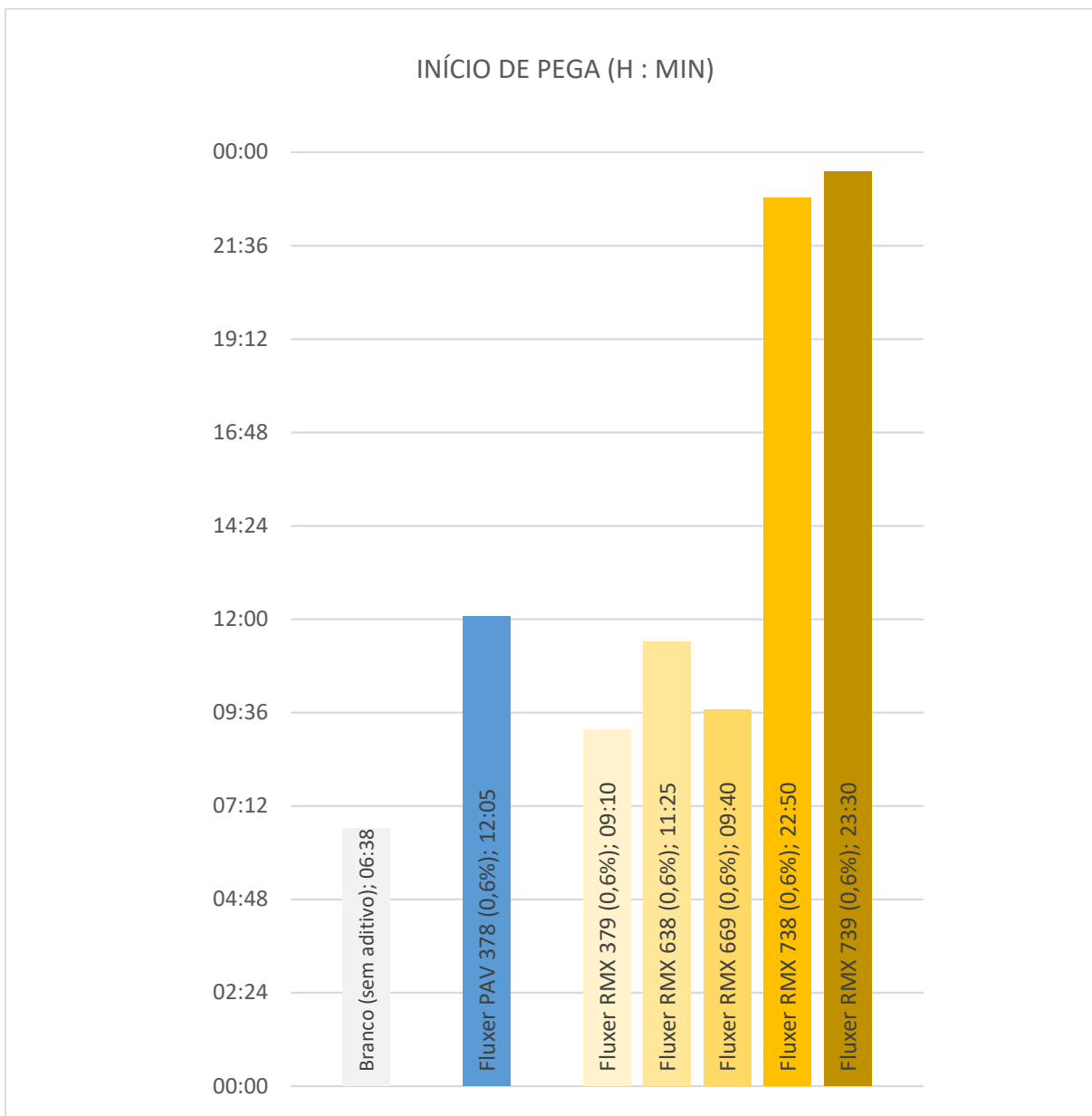
Dosagem para traço slump 12 +/- 2 cm

1: 1,65; 1,10; 2,15; 0,92 CP II F 40; a. natural; a. artificial; brita 1; brita 0
Água 175 ± 15 L



Dosagem para Ensaio de Tempo de Pega – Agulha de Proctor – NM 9

CP II F 40.....	318 kg
Areias natural e artificial (60/40)	758 kg
Britas 0 e 1 (25/75).....	845 kg
Água.....	175 L



BOLETIM TÉCNICO

Elaborado em: 31/07/2012
Versão: 01



Recomendações de uso:

- Os aditivos devem preferencialmente ser adicionados à mistura após cerca de 2/3 da água total de amassamento, para facilitar dispersão na mistura e evitar absorção pelos materiais secos;
- Todos os aditivos da linha Midrange são compatíveis com as demais linhas de aditivo Erca. Entretanto, no caso de utilizar mais de um aditivo na mistura, recomenda-se que a dosagem seja realizada em separado;

Estocagem e Validade:

- Estocagem deve ser realizada preferencialmente em local coberto, ventilado e seco;
- IBC e bombona: validade de 9 meses a partir da data de fabricação;
- Granel: a validade depende das condições periódicas de limpeza do tanque. Consultar departamento técnico Erca.

7

Segurança: evitar contato direto com os olhos e pele. Manuseio com uso de EPI. Maiores informações consultar FISPQ.

www.ercagroup.com.br

Centro de Atendimento ao Cliente:

vendas@br-ercagroup.com

As informações contidas neste documento são baseadas em nosso conhecimento atual e as consideramos adequadas. Todavia, como as condições e modos de utilização dos nossos produtos estão além do nosso controle, as informações aqui descritas não isentam o usuário final de verificar se os produtos ERCA são seguros, eficazes e plenamente satisfatórios para o uso a que serão destinados. A ERCA não reconhece nenhuma garantia, explícita ou implícita, com exceção da conformidade em relação à Especificação Técnica do produto no momento da expedição. Nos casos em que esta conformidade venha a ser contestada, a ERCA se reserva o direito de realizar as análises necessárias antes de proceder com a substituição do produto. A ERCA se isenta de qualquer responsabilidade por danos ou consequências relacionadas ao uso deste produto, cuja adequação deve ser testada previamente pelo Cliente.

ERCA BRASIL

Av. Caetano de Abreu, 55 – B. Encosta do Sol - CEP 13255-830 - Itatiba/ SP - Tel.: (11) 4894-8910 – Fax: (11) 4894-8903
www.ercagroup.com.br

Eucon® 4120

Aditivo superplastificante Mid-Range de pega normal para concreto de cimento Portland

1. Descrição

Eucon® 4120

É um aditivo líquido, de pega normal, composto por lignossulfonatos e resinas sintéticas especiais, especialmente desenvolvido para a fabricação de concretos de cimento Portland com os mais distintos tipos de cimento que dispomos no Brasil.

Eucon® 4120 reduz até 20% de água, dependendo das características do traço executado e as dosagens utilizadas.

Sua dosagem pode ser ajustada para atender os mais rigorosos requisitos de fluidez, manutenção da trabalhabilidade e redução do consumo de cimento.

2. Características técnicas do Produto

Característica	Eucon® 4120
Base química	Lignossulfonatos e Policarboxilatos
Aspecto	Líquido
Cor	Castanho escuro
Massa específica	~1,140 g/cm ³
pH	~4,5
Teor de cloretos	Não contém adição de cloretos

Normas

O Eucon® 4120 atende aos requisitos da NBR 11.768/2011, "Aditivos químicos para concreto de cimento Portland –Tipo SP-I N.

3. Vantagens

- Alta resistência mecânica inicial e altíssima resistência final;
- Alta redução da água de amassamento;
- Alta manutenção de trabalhabilidade;
- Redução da permeabilidade;
- Aumento da durabilidade;
- Melhora das propriedades mecânicas do concreto.

4. Utilização

O Eucon® 4120 permite produzir concretos com a fluidez necessária para os mais diversos requisitos e concretos com o consumo de cimento reduzido, seu melhor benefício é obtido quando utilizado em:

- Concreto usinado;
- Concreto bombeado;
- Pisos industriais;
- Concreto protendido;
- Forma deslizante.

Para outras utilizações de uso consulte o Departamento Técnico (sac@viapol.com.br).

5. Instruções de Utilização

Eucon® 4120 deve ser dosado diretamente na mistura úmida. Evitar adicionar a mistura seca.

Dosagem:

Eucon® 4120 deve ser utilizado nas dosagens de 0,2 a 1,2% em relação ao peso do cimento. Estas dosagens são orientativas, sendo imprescindível a realização de testes laboratoriais e/ou de campo. A dosagem ótima de Eucon® 4120 pode variar de acordo com o tipo de cimento, relação a/c, temperatura ambiente, resistência inicial requerida, tempo de pega, etc.

Dosagens elevadas podem causar retardo excessivo, por isso é imprescindível os testes prévios.

Compatibilidade:

Eucon® 4120 é compatível com os aditivos para concreto e argamassa da Viapol, para a compatibilidade com outros produtos consulte o departamento técnico da Viapol.

6. Consumo

O consumo do aditivo dar-se-á de acordo com os resultados dos testes prévios de dosagem executados em laboratório e validação no campo.

7. Embalagem

Está disponível nas seguintes embalagens:

- Granel;
- Tambor de 200 L / 228 kg;
- Contêineres de 1000 L / 1140 kg;

8. Validade/Estocagem

O produto tem validade de 12 meses, a partir da data de fabricação, desde que armazenado em local coberto, seco, ventilado e nas embalagens originais e intactas. A temperatura máxima para armazenagem é de 35°C.

9. Empilhamento

Não empilhar.

10. Recomendações de segurança

Antes de iniciar os trabalhos consultar a FISPQ dos produtos.

Utilize luvas de borracha látex ou PVC, óculos e sapato de segurança.

Em caso de contato com a pele, lavar a região com água e sabão neutro.

No caso de contato com os olhos, lavar com água potável em abundância por no mínimo 15 minutos e procurar orientação médica.

Eventual irritação da pele, olhos ou ingestão do produto, procurar orientação médica, informando sobre o tipo de produto.

Em caso de ingestão, não induza o vômito e procure auxílio médico imediatamente.

11. Cuidados ambientais

Não descarte o produto ou embalagem no meu ambiente. Realizar o descarte em local apropriado e regulamentado de acordo com legislação vigente do meio ambiente local. Não reutilize as embalagens.

Para maiores detalhes, consultar a Ficha de segurança (FISPQ) do produto: Eucon 4120.

Nota: As informações contidas nesta ficha são baseadas em nosso conhecimento para a sua ajuda e orientação. Salientamos que o desempenho dos nossos produtos depende das condições de preparo de superfície, aplicação e estocagem, que não estão sob nossos cuidados. O rendimento prático depende da técnica de aplicação, das condições do equipamento e da superfície a ser revestida. Não assumimos assim, qualquer responsabilidade relativa ao rendimento e ao desempenho de qualquer natureza em decorrência do uso indevido do produto. Para mais esclarecimentos consultar nosso departamento técnico.

A Viapol reserva-se o direito de mudar as especificações ou informações contidas neste folheto sem prévio aviso.