

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

CÂMPUS GOIÂNIA

DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS III

CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

VALTER JUNIOR SOARES FILHO

**DESEMPENHO DE CONCRETOS BOMBEÁVEIS CLASSE C 25 COM ADITIVOS
PLASTIFICANTE E SUPERPLASTIFICANTE**

GOIÂNIA

2019

VALTER JUNIOR SOARES FILHO

**DESEMPENHO DE CONCRETOS BOMBEÁVEIS CLASSE C 25 COM ADITIVOS
PLASTIFICANTE E SUPERPLASTIFICANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, Campus Goiânia, para fins de aprovação na disciplina de TCC-II.

Área de Concentração: Engenharia Civil/Materiais e Componentes da Construção.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius A da Silva Mendes.

GOIÂNIA

2019



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Valter Junior Soares Filho
Matrícula: 20152011 OS 0037
Título do Trabalho: Desempenho de comitês bombelários classe C 25 com aditivos plastificante e superplastificante.

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção 2 ou 3, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Belém _____ 12/02/2020
Local Data

Valter Junior Soares Filho
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

VALTER JUNIOR SOARES FILHO

**DESEMPENHO DE CONCRETOS BOMBEÁVEIS CLASSE C 25 COM ADITIVOS
PLASTIFICANTE E SUPERPLASTIFICANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, Campus Goiânia, para fins de aprovação na disciplina de TCC-II.

Área de Concentração: Engenharia Civil/Materiais e Componentes da Construção.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius A da Silva Mendes.

GOIÂNIA

2019

S676d Soares Filho, Valter Júnior

Desempenho de concretos bombeáveis classe C 25 com aditivos plastificante e superplastificante / Valter Júnior Soares Filho. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2019.
90 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius A. da Silva Mendes.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Coordenação de Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

1. Concreto. 2. Aditivo Polifuncional. 3. Cimento Portland. I. Mendes, Marcus Vinícius A. da Silva (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. III. Título.

CDD 624.1834

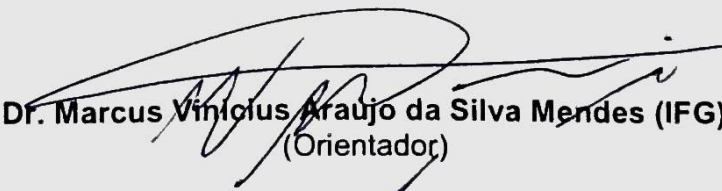
Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva Abreu CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

Valter Junior Soares Filho

**DESEMPENHO DE CONCRETOS BOMBEÁVEIS CLASSE C25 COM ADITIVOS
PLASTIFICANTES E SUPERPLASTIFICANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia
de Goiás, Campus Goiânia, como
parte dos requisitos necessários
para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil

Aprovado em 16 de Dezembro de 2019:



Dr. Marcus Vinicius Araujo da Silva Mendes (IFG)
(Orientador)



Msc. Humberto Rodrigues Mariano (IFG)



Esp. Wesley Pimenta de Menezes (IFG)

Goiânia, GO
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado fé para nunca desistir dos meus objetivos.

Agradeço a minha família, por ter me apoiado em toda a caminhada acadêmica, compreendendo os melhores e piores momentos, em especial minha irmã Thamara Basílio.

Aos meus amigos pelo companheirismo e por sempre estarem dispostos a me ajudar.

Agradeço a Professora Msc. Sandra Kurotusch por ter acreditado e confiado em mim, dando-me a oportunidade de desenvolver um trabalho que pudesse enriquecer meus conhecimentos.

Aos professores Dr. Paulo Francinete e Dra. Fernanda Posch por toda orientação visando o enriquecimento deste trabalho.

Agradeço ao Professor Orientador Dr. Marcus Vinícius Mendes por ter aceitado continuar esta orientação e por todo acréscimo técnico.

Agradeço a empresa Engemix por disponibilizar a carta traço e todos os insumos utilizados neste estudo.

A empresa Realmix Concretos pelo auxílio na parte experimental, disponibilizando-me gentilmente o Laboratório de Construção Civil, em especial ao Laboratorista Luiz pelo auxílio durante as dosagens.

Ao Grupo BASF S/A pela colaboração na doação dos aditivos.

Enfim, a todas as pessoas que participaram de algum modo para a execução deste trabalho.

RESUMO

Os aditivos polifuncionais são responsáveis por melhorar as características do concreto em seu estado fresco e endurecido, agindo de forma mútua em mais de uma função. As bases químicas que compõe esse tipo de aditivo tem o poder de catalisar essas propriedades de acordo com o teor utilizado nas suas dosagens. Além disso, são capazes de minimizar a quantidade de água utilizada na hidratação do cimento, influenciar no processo de hidratação das partículas de cimento, melhorar a trabalhabilidade da mistura, elevar a resistência mecânica e consequentemente ocasionar maior durabilidade a estrutura. Os grupos funcionais das moléculas dos aditivos conhecidos como lignosulfonatos geram cargas ao adsorverem na superfície da partícula do cimento ocasionando a repulsão eletrostática. Enquanto o grupo dos policarboxilato criam barreiras físicas causadas pelas cadeias longas dos polímeros, fenômeno conhecido como efeito estérico. Dessa forma torna-se necessário um estudo aprofundado sobre o desempenho técnico de duas bases químicas com atuações diferentes e posteriormente a análise de viabilidade econômica para produção desses concretos. Neste trabalho, investigou-se o desempenho técnico através da análise da trabalhabilidade e da resistência à compressão, em detrimento a Margem de Contribuição de Custo, exclusivamente dos insumos, objetivando eleger o aditivo que corresponde satisfatoriamente aos parâmetros pré-estabelecidos. A trabalhabilidade do concreto, mensurada por meio do abatimento de classe S100 e a resistência mecânica de classe C25 foram analisadas considerando dois traços diferentes com teores de aditivos e bases químicas distintas. Os resultados mostraram que ambos atingiram os critérios do traço base, porém, o aditivo polifuncional base policarboxilato apresentou melhor viabilidade técnica-financeira, com ganho expressivo de resistência à compressão (MPa) em relação ao custo em reais (R\$).

Palavras- Chave: Concreto, Aditivo Polifuncional, Lignosulfonato, Policarboxilato.

ABSTRACT

Polyfunctional additives are responsible for improving the characteristics of the concrete in its fresh and hardened state by acting mutually in more than one function. The chemical bases that make up this type of additive have the power to catalyze these properties according to the content used in their dosages. In addition, they are able to minimize the amount of water used in cement hydration, influence the process of cement particle hydration, improve the workability of the mixture, increase the mechanical strength and consequently increase the structure durability. The functional groups of the additive molecules known as lignosulfonates generate charges by adsorbing on the surface of the cement particle causing electrostatic repulsion. While the group of polycarboxylates create physical barriers caused by long chains of polymers, a phenomenon known as a steric effect. Thus, an in-depth study on the technical performance of two chemical bases with different performances is necessary, and subsequently the economic viability analysis for the production of these concretes. In this work, the technical performance was investigated through the analysis of workability and compressive strength, in detriment of the Cost Contribution Margin, exclusively of the inputs, aiming to choose the additive that satisfactorily corresponds to the pre-established parameters. The workability of concrete, measured by class S100 abatement and class C25 mechanical strength, were analyzed considering two different traits with different additive contents and chemical bases. The results showed that both met the base trait criteria, however, the polycarboxylate based polyfunctional additive presented better technical-financial viability, with expressive gain of compressive strength (MPa) in relation to the cost in reais (R \$).

Keywords: Concrete, Polyfunctional Additive, Lignosulfonate, Polycarboxylate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Órion Complex: prédio mais alto de Goiânia, com necessidade de soluções construtivas inovadoras	13
Figura 2.1 – Produção do concreto	19
Figura 2.2 - Fluxograma da produção de concreto em CDC.....	20
Figura 2.3 - Composição média de um concreto convencional.....	21
Figura 2.4 - Micrografias de dispersão do cimento em água.....	30
Figura 2.5 - Representação da ação do aditivo interagindo com o cimento e a água.....	31
Figura 2.6 - Representação da cadeia bipolar envolvendo o grão de cimento	32
Figura 2.7 – Estrutura química de uma molécula de lignosulfonato	36
Figura 2.8 – Processo eletrostático de dispersão de partículas.....	37
Figura 2.9 - Estrutura química de uma molécula de naftaleno.....	39
Figura 2.10 – Efeito estérico de molécula de um policarboxilato	40
Figura 2.11 – Representação de uma molécula de um policarboxilato	40
Figura 2.12 - Processo de exsudação em estrutura de concreto armado.	44
Figura 2.13 - Comparativo (a) Concreto com segregação, (b) Concreto sem segregação	45
Figura 3.1 - Fluxograma da Pesquisa	51
Figura 3.2 – Roteiro de atividades deste estudo	52
Figura 3.3 – (a) Slum Test sem a presença de aditivo (b) Slump Test com utilização de aditivo polifuncional.....	53
Figura 3.4 – Adensamento durante a moldagem dos corpos de prova	53
Figura 3.5 – Separação dos materiais para iniciar a mistura	55
Figura 3.6 – Pesagem de aditivo em balança de precisão	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição em massa dos diferentes tipos de Cimento Portland	25
Tabela 2.2 - Classe de Resistência de concretos estruturais.....	48
Tabela 2.3 - Classe de Consistência de concretos estruturais	48
Tabela 2.4 - Classificação de Massa Específica Seca	49
Tabela 3.1 – Caracterização do material agregado graúdo.....	58
Tabela 3.2 – Caracterização do material agregado miúdo (areia média)	60
Tabela 3.3 - Caracterização do material agregado miúdo (areia de brita).....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Tolerâncias admissíveis para ensaios em aditivos	34
Quadro 3.1 - Relação dos concretos para avaliação do desempenho do aditivo	54
Quadro 4.1 - Ensaio químicos, físicos e mecânicos do Cimento CII-F40.....	
Quadro 4.2 - Aditivos Polifuncionais utilizados neste estudo	
Quadro 4.3 - Carta traço em volume referente ao traço base	67
Quadro 4.4 - Definição em massa do traço referência	68
Quadro 4.5 - Resumo das atividades de dosagem do traço referência	68
Quadro 4.6 - Carta traço após alteração do fator a/c por incremento de água.....	69
Quadro 4.7 - Definição em massa do traço com aditivo lignosulfonato	69
Quadro 4.8 - Quantidade de dosagem do aditivo lignosulfonato recomendada pelo fabricante	70
Quadro 4.9 - Resumo das atividades de dosagem do traço com aditivo lignosulfonato	70
Quadro 4.10- Quantidade de dosagem do aditivo policarboxilato recomendada pelo fabricante	71
Quadro 4.11 - Resumo das atividades de dosagem do traço com aditivo policarboxilato	71
Quadro 4.12 - Resultados obtidos no ensaio de perda de consistência	73
Quadro 4.13 - Teor de ar incorporado e temperatura do concreto durante os ensaios	75
Quadro 4.14 - Valores individuais das resistências à compressão e média dos resultados	77
Quadro 4.15 - Comparativo de superioridade dos traços aditivados em relação ao traço referência	78
Quadro 4.16 - Comparativo de superioridade entre os traços aditivados – lignosulfonato x policarboxilato.....	80
Quadro 4.17 Custo por metro cúbico – Traço com lignosulfonato	81
Quadro 4.18 - Custo por metro cúbico – Traço com policarboxilato.....	82
Quadro 4.19 - Custo desempenho do traço com lignosulfonato.....	83
Quadro 4.20 - Custo desempenho do traço com policarboxilato	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Variação do abatimento nos três traços experimentados	72
Gráfico 4.2 - Comparativo de resultados do ensaio de perda de consistência.....	74
Gráfico 4.3 - Variação do abatimento durante teste de perda de consistência	74
Gráfico 4.4 - Resultados do teste de resistência à compressão – 3, 7 e 28 dias	79
Gráfico 4.5 - Superioridade de resistência à compressão dos traços aditivados em relação ao traço base	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo geral.....	16
1.2.2	Objetivos específicos	16
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	CONCRETO	18
2.2	PRODUÇÃO DO CONCRETO.....	19
2.2.1	Materiais constituintes do concreto.....	21
2.2.1.1	Cimento Portland.....	22
2.2.1.2	Agregados	26
2.2.1.3	Água de Amassamento	27
2.2.1.4	Adições minerais	28
2.3	ADITIVOS QUÍMICOS	29
2.3.1	Normatização	32
2.3.2	Uso de Aditivos.....	33
2.3.3	Controle de Qualidade	34
2.3.4	Aditivo Polifuncional – Bases Químicas	35
2.3.4.1	Lignosulfonato – LS	36
2.3.4.2	Naftaleno – NS	38
2.3.4.3	Policarboxilato - PL.....	40
2.4	PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO	42
2.4.1	Trabalhabilidade	42
2.4.2	Coesão, Exsudação e Segregação	44
2.4.3	Calor de Hidratação.....	46
2.5	PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO.....	47
2.5.1	Resistência à compressão.....	47
2.6	MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO DE CUSTO DO CONCRETO (MCC).....	50
3	MATERIAIS E MÉTODO.....	51
3.1	PRIMEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉCNICO DOS ADITIVOS	52
3.1.1	Seleção dos Parâmetros Iniciais	54
3.1.2	Materiais.....	55
3.1.3	Caracterização dos Materiais	56
3.1.3.1	Cimento Portland.....	56
3.1.3.2	Agregado Graúdo	57
3.1.3.3	Agregado Miúdo	59
3.1.3.4	Aditivo Polifuncional	61
3.1.4	Produção dos Concretos	62
3.1.4.1	Dosagem dos concretos.....	62
3.1.4.2	Mistura	62
3.1.5	Avaliação das propriedades no estado fresco	63
3.1.6	Avaliação das propriedades do concreto endurecido.....	64
3.2	SEGUNDA ETAPA: VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA	66
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
4.1	RESULTADOS OBTIDOS DURANTE AS DOSAGENS	67
4.2	DETERMINAÇÃO DO ABATIMENTO DO CONCRETO.....	72
4.3	DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CONSISTÊNCIA.....	73
4.4	DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE AR INCORPORADO.....	75
4.5	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NAS IDADES DE 3, 7 E 28 DIAS	76
4.6	DETERMINAÇÃO DA MARGEM DE CUSTO POR INSUMOS (MCC)	81

5	CONCLUSÕES	85
6	SUGESTÃO PARA PRÓXIMOS TRABALHOS.....	87
7	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

O progresso da sociedade foi acelerado com avanços tecnológicos ao longo dos anos, contribuindo com a medicina, astronomia, mecânica e nas telecomunicações, entre outros setores. Na construção civil, uma dessas evoluções é observada na procura por novas tecnologias em relação ao desenvolvimento do concreto e ao aumento do consumo de cimento, consequentemente resultando em sua maior produção em obras e principalmente em centrais dosadoras.

A nova realidade arquitetônica dos edifícios e residências e a concorrência do mercado da construção e incorporação contribuem para o desenvolvimento técnico do concreto convencional para outros patamares. As construções necessitam cada vez mais de vãos maiores, espaço útil mais amplo, peças estruturais mais esbeltas, maiores número de vagas de garagem e a ocupação dos espaços gradativamente mais acelerados.

Figura 1.1 – Órion Complex: prédio mais alto de Goiânia, com necessidade de soluções construtivas inovadoras



Fonte: Órion Complex. Disponível em <www.orioncomplex.com.br> (2019)

Para atender a demanda das construções contemporâneas, o concreto passou por um período de incorporação de práticas tecnológicas as quais suas principais funções de resistência, trabalhabilidade e durabilidade foram lapidadas com a utilização de aditivos, visando aperfeiçoar suas propriedades no estado fresco e estado endurecido.

Historicamente, a mistura de aglomerantes pelo homem, com o objetivo de produzir matéria para sua utilização, se deu inicialmente com os agregados minerais desde a descoberta de matérias primas como o gesso e o calcário. O conhecimento e o aperfeiçoamento de novos métodos permitiram que lavas vulcânicas mescladas à cal e sintetizadas com argila pudessem dar início as primeiras propriedades do cimento Portland.

Segundo Neville (2016) na tentativa de melhorar seu desempenho e incorporar ar ao concreto, os romanos antigos utilizavam gordura, leite e sangue animal, para desempenhar função semelhante dos aditivos químicos atuais.

A demanda por concretos mais resistentes e duráveis requer tecnologia de produção que vise reduzir a quantidade de água na mistura, uma vez que a resistência do concreto é muito influenciada pela relação água-cimento (a/c). Desta forma, visando à produção de concretos de modo a garantir características específicas no estado fresco foi estimulada a produção de aditivos químicos que alterassem a estrutura da pasta.

O Comitê ACI 212 (1992) lista algumas finalidades importantes para os quais os aditivos são empregados, por exemplo, aumentar a plasticidade do concreto sem aumentar o teor de água, reduzir a exsudação e a segregação, retardar ou acelerar o tempo de pega, acelerar a velocidade de desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, retardar a taxa de evolução de calor e aumentar a durabilidade em condições específicas de exposição.

Atualmente os aditivos veem desempenhando um efeito catalisador na resistência mecânica e trabalhabilidade dos concretos usinados, pois consegue atingir altos níveis de qualidade, devido seu poder de homogeneizar os componentes da mistura. Apesar disso, os profissionais da construção civil possuem pouco conhecimento sobre as vantagens e limitações desses complementos químicos.

Para sua devida utilização e aplicação nas concretagens contemporâneas a NBR 11768 (ABNT, 2011) alerta que não deve ser observado apenas o aditivo químico e sim uma gama de fatores que interferem na consistência inicial e sua durabilidade ao longo do processo, como: seleção de qual material será utilizado, técnicas de dosagem, a situação climática do local a ser concretado (umidade, exposição solar, temperatura), as técnicas de

mistura, necessidade de bombeamento, os equipamentos utilizados, tipo de cimento escolhido, cuidados anteriores e posteriores a concretagem, as características principais no estado fresco, os processos de cura e por fim a garantia da manutenibilidade das propriedades em seu estado endurecido.

Portanto, este trabalho pretende destacar o desempenho dos aditivos polifuncionais verificando duas bases químicas distintas de sua composição, por meio de um traço de concreto bombeável. Além disso, evidenciar quais ganhos são benéficos as suas propriedades elementares e justificar sua utilização pelo mercado da construção civil em Goiânia e no Brasil analisando seu custo benefício.

1.1 JUSTIFICATIVA

A chegada dos aditivos químicos no Brasil foi vista com certa desconfiança no mercado da construção civil, principalmente, por possuírem inúmeras recomendações de uso e ter a utilização limitada a casos específicos. No momento atual, os aditivos figuram o quarto elemento da composição dos concretos, juntamente com a água, o cimento e os agregados, e não são mais um componente opcional nas centrais de dosagem de concreto (CDC).

Além disso, é essencial expor um estudo que evidencia a conduta dos aditivos como instrumento agregador para o mercado, que pode gerar benefícios técnicos e econômicos, bem como ampliar os conhecimentos do comportamento dos aditivos polifuncionais, que atualmente se consolidaram no cenário das principais obras do país.

Todas essas vantagens que culminam na boa qualidade do concreto exigem uma tecnologia mais avançada que só foi possível com a ciência dos aditivos. Daí surge à necessidade de comprovação através de estudos se os aditivos utilizados na construção civil atualmente conseguem elevar as propriedades básicas do concreto a um patamar que justifique sua utilização com eficiência técnica e também econômica.

Pretende-se, portanto, avaliar o desempenho de duas bases químicas distintas de aditivo polifuncional de um mesmo fabricante. Além disso, verificar seu comportamento em relação aos agregados, o cimento e sua trabalhabilidade perante um traço com a mesma resistência e trabalhabilidade. Comparando-os entre si e também com um traço referência sem utilização de aditivo.

Além de contribuir com este estudo em relação ao comportamento dos aditivos como um produto funcional para o mercado da construção civil, podendo propiciar benefícios técnicos e financeiros, outra razão deste trabalho é ampliar as informações disponíveis sobre o comportamento dos aditivos polifuncionais, principalmente por sua utilização em centrais dosadoras de concreto e relevância no mercado de materiais de construção e canteiros de obra.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho irá verificar o desempenho de duas bases químicas (lignosulfonato e policarboxilato) de um mesmo fabricante de aditivo polifuncional, analisando a variação do teor recomendado pela indústria e as propriedades físicas e mecânicas para concretos classe C25 de resistência e S100 de consistência. O traço escolhido como objeto de estudo apresenta características básicas que podem ser replicadas em outros traços utilizados na cidade de Goiânia.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral da pesquisa é investigar o desempenho técnico e a viabilidade econômica de duas bases químicas de aditivo polifuncional mais empregados em usinas de concreto em Goiânia.

1.2.2 Objetivos específicos

Portanto, os objetivos específicos são:

- Verificar a eficiência de duas bases químicas de aditivo polifuncional para propiciar o abatimento de $100 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ em concreto Classe C25 e S100, produzidos com cimento CII-F-32.
- Avaliar as propriedades mecânicas do concreto no estado endurecido, unicamente à resistência a compressão nas idades 3, 7, e 28 dias;
- Observar a perda de abatimento de cada base química analisada;
- Verificar a relação custo-benefício do uso dos aditivos polifuncionais através da margem de contribuição de custo (MCC), exclusivamente dos insumos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Buscando organizar a estrutura deste trabalho de conclusão de curso e apresentar seus componentes, dividiu-se esse estudo em cinco capítulos da seguinte forma.

O Capítulo 1 apresenta a introdução ao tema abordado juntamente com um breve resumo histórico, a justificativa apresentando os argumentos para início e execução desse estudo e seus objetivos gerais e específicos que serão desenvolvidos ao longo de todo o trabalho.

No Capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica que irá embasar por meio de autores e normas a interação entre o concreto, seus componentes e os aditivos, bem como dará subsídio para o desenvolvimento experimental deste trabalho.

Já no Capítulo 3, será delineado a metodologia deste estudo e os materiais que serão utilizados. Além disso, serão apresentados os parâmetros usados como critério avaliativo e os ensaios técnicos que irão propiciar os resultados finais.

O Capítulo 4 contará com o comparativo de resultados entre as duas bases de aditivos utilizadas neste trabalho, tanto técnico como econômico. As conclusões, discussões e possíveis sugestões para enriquecer este trabalho serão expostas no Capítulo 5 e 6.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados aspectos fundamentais do concreto de cimento Portland, bem como os materiais constituintes. Por fim, são expostas as principais características dos aditivos para concreto.

2.1 CONCRETO

Para Rodrigues e Freitas (2000) o concreto é um material composto por: agregados miúdos e graúdos, o cimento Portland como aglomerante, água e adições minerais ou aditivos químicos conforme sua necessidade. Para reconhecer as características da mistura, o concreto deve ser avaliado no estado fresco e endurecido, no qual, o concreto fresco acontece na fase da mistura até iniciar o processo de pega do cimento, depois é conhecido como concreto endurecido.

“O concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento” (BATTAGIN, 2009, p.15).

Neville (2016) ressalta que há diversos tipos de concreto, porém, o concreto bombeável merece destaque visto que esse meio de transporte exige o uso de misturas com propriedades especiais. A principal vantagem do concreto bombeado é seu lançamento em alturas que não seriam acessadas facilmente. Outra vantagem é a probabilidade pequena de segregação visto que possui maior teor de argamassa e trabalhabilidade.

Além de sua composição química e suas características fundamentais, Mehta e Monteiro (2008) reiteram que a fragilidade dos concretos convencionais é a zona de transição. Neville (2016) complementa que a micro fissuração da pasta de cimento hidratada que ocorre na região de ligação com os agregados é diferente daquela que ocorre na parte principal da pasta de cimento. Esse comportamento está vinculada à incapacidade das partículas de cimento em se acomodar de maneira adensada junto às partículas relativamente grandes dos agregados.

Mehta e Monteiro (2008) ressaltam que a relação entre a resistência mecânica à compressão e à tração é determinada por um efeito combinado de vários fatores das

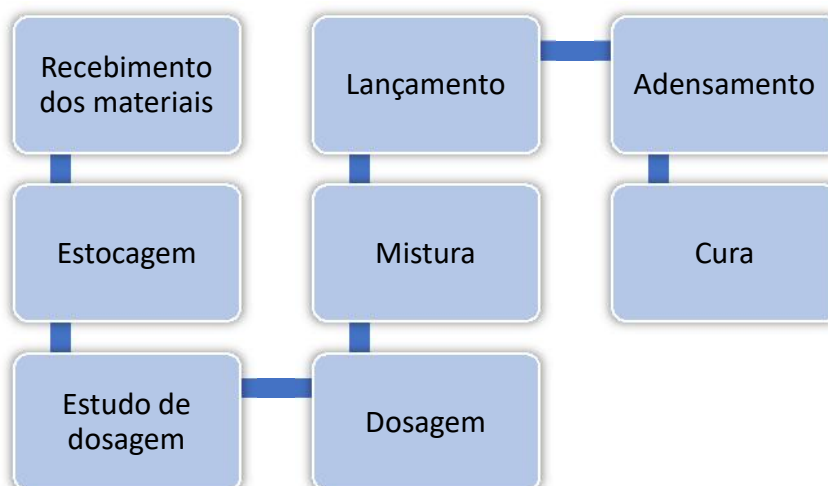
propriedades da matriz e da zona de transição na interface como: idade de cura, relação água/cimento, tipo de agregado, aditivos e adições.

Dessa forma, a combinação de aditivos químicos e adições minerais, como a sílica ativa são responsáveis por fortalecer a zona de transição entre a pasta de cimento e os agregados, tornando o concreto mais coeso, uniforme e homogêneo e com isso ressaltando as suas características como a trabalhabilidade e a porosidade, que garantem uma boa durabilidade a estrutura.

2.2 PRODUÇÃO DO CONCRETO

A produção do concreto envolve as etapas de estudo de dosagem, dosagem dos materiais, mistura, lançamento, adensamento e cura (Figura 2.1).

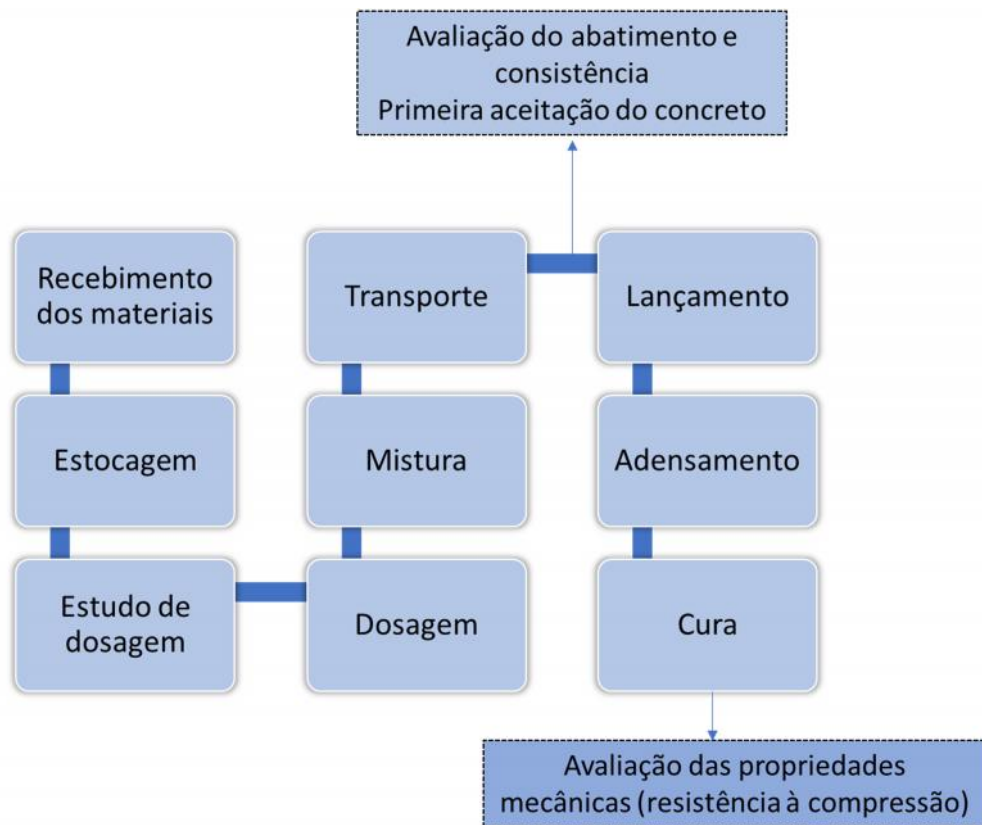
Figura 2.1 – Produção do concreto



Fonte: Autoria própria (2019)

Para os concretos dosados em central a NBR 7212 (ABNT, 2012) estabelece requisitos para sua produção e incluem as operações de recebimento e armazenamento dos materiais, dosagem, mistura, transporte, controle de qualidade, inspeção, incluindo os critérios de aceitação e rejeição do controle interno da central de concreto. Na Figura 2.2 é mostrado o fluxograma resumido do processo de produção de concreto em central dosadora.

Figura 2.2- Fluxograma da produção de concreto em CDC



Fonte: Autoria própria (2019)

Neville (2016) destaca que o grande sucesso do concreto dosado em central é o nível de controle tecnológico por suas condições industriais de produção, além de suprir a necessidade em casos de pouco espaço físico nas obras e atender pequenas quantidades de concreto ou lançamentos em intervalos de tempo.

A etapa inicial para produção do concreto dosado em central é a entrada dos componentes na usina. Inicialmente é feita a conferência do material por meio de vistoria visual e teste de aceitação da matéria-prima. Essa verificação é necessária para garantir a qualidade do material recebido e se suas propriedades atendem a necessidade da sua central dosadora.

Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015) a estocagem dos componentes é realizada logo em seguida respeitando alguns critérios como: cada agregado miúdo deve possuir o mínimo de duas baias, usar aspersores de água para resfriamento das britas, atentar-se para não contaminar os materiais e conferir a temperatura do cimento antes de realizar sua estocagem.

Segundo Helene e Terzian (1993) a etapa de dosagem possui como objetivo conhecer as características dos materiais utilizados e a interação entre eles. Com isso se dá início a caracterização dos materiais (cimento, areia, brita e aditivo) através de ensaios como: finura, granulometria e massa específica. Posteriormente é realizado o estudo teórico com a definição de parâmetros como a relação água/cimento e o consumo de cimento do traço e finalmente o estudo experimental ao qual é testada em menor escala a relação dos componentes para assim definição do traço efetivo.

Em seguida, inicia-se a mistura dos componentes do traço definitivo. Segundo Neville (2016) existem duas principais categorias de concreto pré-misturado: na primeira a mistura é feita na central e o concreto misturado é apenas transportado em caminhão betoneira (concreto misturado em central) e na segunda categoria os materiais são dosados em central, porém, misturados no caminhão betoneira (concreto misturado em trânsito). É nesta fase que o aditivo é incorporado à mistura, podendo ocorrer tanto na CDC, quanto na saída do caminhão betoneira, quanto 30 minutos anteriores ao lançamento do concreto no seu destino final.

Após a mistura, o caminhão betoneira que possui um volume aproximado de 8m^3 deixa a CDC e segue para seu destino. De acordo com NBR 7212 (ABNT, 2012) o período de tempo para transporte deve ser inferior a 90 minutos e seu lançamento e adensamento inferior a 150 minutos contado a partir da primeira adição de água.

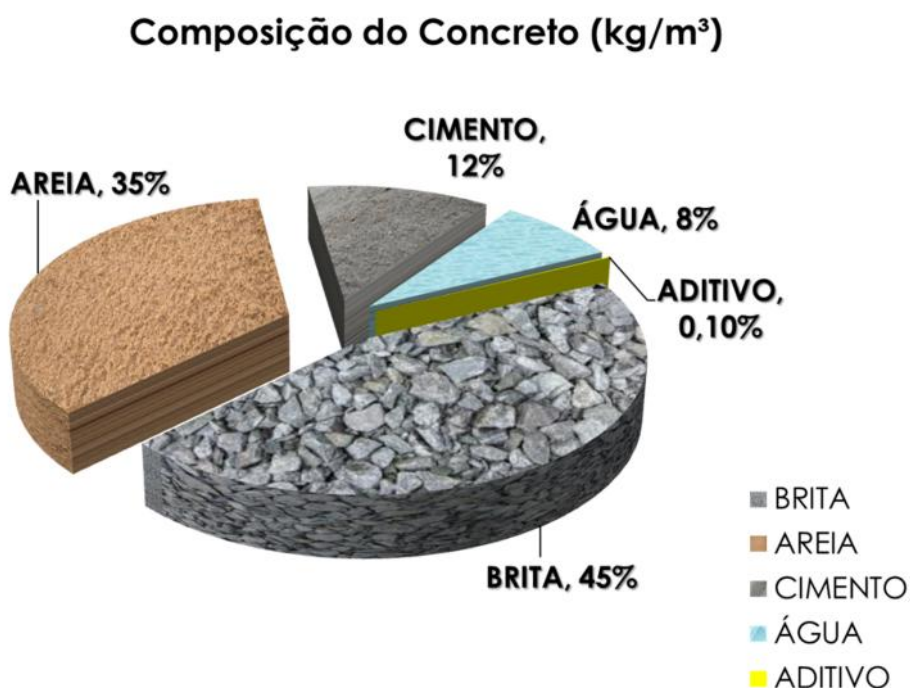
Depois de realizada todas essas etapas, os corpos de prova são avaliados pelos ensaios do estado fresco e os ensaios do estado endurecido, que serão explicitados em outros capítulos deste trabalho.

2.2.1 Materiais constituintes do concreto

O concreto é um material constituído de cimento, água, agregado(s) miúdo (areia), agregado(s) graúdo (brita) e aditivo. O cimento misturado à água forma a pasta que fornece a rigidez e resistência do material. A pasta misturada ao agregado miúdo forma a argamassa. Ao unir o agregado graúdo a essa mistura tem-se o concreto simples. A incorporação de aditivos ao concreto simples lhe garante um desempenho superior em suas características. Inicialmente essa pasta, bem como o concreto, apresenta consistência fluida e é facilmente moldável. Após determinado tempo ela passa pelos processos de endurecimento e enrijecimento, tornando-se um corpo sólido e muito resistente (HELENE e TERZIAN, 1993).

A composição média de uma dosagem de concreto convencional é explicitada na figura XXX em quilogramas para cada metro cubico.

Figura 2.3- Composição média de um concreto convencional



Fonte: Autoria própria (2019)

Dessa forma é essencial que seja realizado um estudo individual de cada material presente no concreto para a definição do melhor traço a fim de encontrar a dosagem correta de seus elementos, sendo eles: cimento Portland, agregados, água para amassamento, adições e aditivos.

2.2.1.1 Cimento Portland

O cimento é um material cerâmico e sua composição química é resultado da combinação entre as matérias-primas calcárias e argila. Segundo o manual da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2012) o calcário é moído e então, misturado com a argila em corretas proporções e elevada temperatura. Essa mistura é submetida a um resfriamento forçado, para posteriormente ser submetido ao processo de moagem, formando então o clínquer. Após essa etapa, são incorporados ao clínquer escória de alto forno, gesso, fíler e materiais pozolânicos em diferentes proporções para atribuir características específicas para os diferentes tipos de Cimento Portland existentes e normatizados no mercado.

Neville e Brooks (2013) complementam que o cimento Portland é consequência da combinação de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro. A queima é feita em um forno rotativo onde a temperatura pode chegar a 1500°C em constante movimento. No final do processo os materiais são fundidos em forma de esfera com dimensões entre 3 e 25 mm de diâmetro (clínquer), as esferas são trituradas e misturadas com sulfato de cálcio a fim de evitar a pega imediata do cimento. Os principais componentes do cimento Portland são: Silicato tricalcico (C_3S), Silicato dicalcico (C_2S), Aluminato tricálcico (C_3A) e Ferroaluminato tetracalcico (C_4AF).

A hidratação do cimento quando misturado com água, forma uma pasta gelatinosa conhecida como gel. Esse gel é submetido a um processo de cristalização naturalmente, o que lhe garante elevada resistência mecânica após atingir seu estado sólido.

Para cada adição na fabricação do cimento, o mesmo adquire uma característica que será levada em conta na sua utilização no mercado. Por isso existem classificações pré-determinadas a fim de facilitar a escolha e caracterizar a função de cada um dos tipos de cimento Portland produzidos, conforme segue:

a) Cimento Portland comum (CP I): tem suas propriedades regidas pela NBR 5732 (ABNT, 1991) e é o cimento mais simples dentre os demais, não possui características que atendam às necessidades especiais, não devem ser usados em condições ambientais agressivas, possui aproximadamente 3% de gesso em sua composição com a finalidade de retardar o processo de pega. É classificado em CP I (sem adições) e CP I-S (com adições), e suas classes de resistência são de 25, 32 e 40 Mpa.

b) Cimento Portland composto (CP II): é um tipo de cimento modificado para atender situações que necessitam de um moderado calor de hidratação e em ambientes onde pode ocorrer ataque de sulfatos. Suas nomenclaturas definem os tipos de adições usadas CP II-E (6 a 34% de escoria de alto forno originada de resíduos de fabricação de ferro-gusa) possui baixo calor de hidratação, CP II-Z (6 a 14% de material pozolânico) utilizado em obras marítimas e CP II-F (6 a 10% de fíler) utilizado em ambientes agressivos conforme NBR 11578 (ABNT, 1991).

c) Cimento Portland de alto-forno (CP III): é considerado um cimento de uso geral, porém possui características que atribuem seu uso em condições onde se faz necessário baixo calor de hidratação, resistência a sulfatos e em misturas onde o agregado é reativo com álcalis. É permitida uma variação de 35 a 70% de adição de escória de alto forno em sua

mistura. Encontrado com as nomenclaturas que fazem referência a sua classe de resistência CP III-25, CPIII-32 e CPIII-40 segundo NBR 5735 (ABNT, 1991).

d) Cimento Portland Pozolânico (CP IV): amplamente utilizado por sua disponibilidade no mercado, possui uma adição de 15 a 50% de pozolana, fator que atribui maior durabilidade e baixa permeabilidade, podendo ser utilizado em situações de contato com água e ambientes agressivos. Sua classe de resistência define suas nomenclaturas sendo elas CP IV-25 e CP IV-32 de acordo com NBR 5736 (ABNT 1999).

e) Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI): este cimento é caracterizado pelo seu alto ganho de resistência inicial sendo amplamente utilizado em situações que exijam uma rápida desforma. Não possui adições em sua mistura e é constituído por um clínquer de moagem mais fina, a sigla ARI representa o ganho de resistência aos 7 dias de 34 MPa conforme NBR 5735 (ABNT, 1991).

Além dos tipos de cimento Portland acima citados são encontrados ainda: cimento Portland resistente aos sulfatos (RS), cimento Portland branco (CPB), cimento Portland de baixo calor de hidratação (BC) e cimento para poços petrolíferos (CPP). Dos tipos descritos os utilizados em maior escala no Brasil são, CPII, CP III, CP IV e CP V-ARI, conforme a região do país e sua necessidade específica (ABCP, 2012).

Na tabela 2.1 podem ser verificadas a composição em massa dos diferentes tipos de cimento Portland e suas especificações.

Tabela 2.1 - Composição em massa dos diferentes tipos de Cimento Portland

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + Gesso	Escória granulada de alto forno (sigla E)	Material Pozolânico (sigla Z)	Material Carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100				NBR 5732
	CP I-S	99-95		01 - 05		
Composto	CP II-E	94-56	06 - 34		0 - 10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76		06 - 14	0 - 10	
	CP II-F	94-90			06 - 10	
Alto-Forno	CP III	65-25	35 - 70		0 - 05	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45		15 - 50	0 - 05	NBR 5736

FONTE: Adaptada de ABCP, 2012.

Para Aitcin (1989, p.171 apud NEVILLE, 2016, p. 279) a compatibilidade entre os diversos tipos de cimento e os aditivos (plastificantes e superplastificantes), deve ser observada algumas características do composto cimentício como: quanto mais fino for o cimento maior será a dosagem de aditivo para obtenção de certa trabalhabilidade, atenção em relação ao teor elevado de C3A e sulfato de cálcio, pois estes, também são responsáveis por alterar o bom desempenho dos aditivos plastificantes.

Neville (2016) afirma que um valor único de dosagem, algumas vezes recomendado pelo fabricante do teor de aditivo é de pouco válido. Na busca de uma combinação ideal entre cimento e aditivos plastificantes e superplastificantes é mais fácil variar os aditivos enquanto em outros casos existe uma seleção de cimentos disponíveis que contribuirão para sua melhor utilização.

2.2.1.2 *Agregados*

Segundo Smith & Hashemi (2012) os agregados correspondem a cerca de aproximadamente 60 a 80% do volume do concreto. Apesar de possuírem baixo valor financeiro e não reagirem diretamente com água é definido na maioria das vezes como inertes. Além disso, servem para dar estabilidade e volume à massa, visando economia ou características especiais, como dureza e leveza.

O volume dos agregados presente no concreto influencia diretamente nas suas propriedades, tanto no estado fresco, como no estado endurecido, como: trabalhabilidade, retração por secagem, propriedades mecânicas e desgaste por abrasão ou erosão.

De acordo com a NBR 9935 (ABNT, 2011) agregado é todo material de formato granular que possua dimensões e características passíveis de serem incorporadas a argamassas e concretos, podendo ser de origem natural (pedra de rio, seixo rolado, pedra britada, pedregulho), quando extraídos diretamente da natureza, ou de origem artificial (vermiculita, argila expandida e escória de alto forno) tendo sua estrutura original alterada por algum processo químico ou físico-químico.

Segundo a classificação da NBR 7211 (ABNT, 2009) quanto a sua granulometria, os agregados miúdos e graúdos são classificados por uma separação feita pelos grãos de dimensão superior e inferior a 4,75mm. Sendo os agregados miúdos os grãos que passam pela peneira com abertura 4,75mm (>95%) e ficam retidos na peneira 0,075mm e o agregado graúdo são os grãos que passam pela peneira de 75 mm (>95%), ficam retidos na peneira 4,75 mm.

Os agregados possuem algumas propriedades próprias que colaboram para o bom desempenho da massa de concreto em sua totalidade. Sua resistência é medida através da resistência mecânica do mineral. A resistência mecânica, por exemplo, que é sua capacidade de resistir ao esmagamento e conseqüentemente a fissuração do grão, impacta na resistência final da massa de concreto. Outra característica importante é seu teor abrasivo, ou seja, os agregados possuem alta capacidade de resistência ao desgaste em sua superfície, parâmetro medido para garantir que durante seu carregamento, transporte, estocagem e utilização não haja fragmentação e perda de suas características naturais.

Quanto ao módulo de elasticidade do concreto, deve-se analisar qual mineral ideal para a utilização de acordo com sua escolha e finalidade, visto que cada agregado possui um módulo de elasticidade diferente.

2.2.1.3 *Água de Amassamento*

O uso de água na constituição do concreto é fundamental para garantir fluidez e compacidade a estrutura físico-química da matéria, porém, é necessário garantir sua potabilidade e assegurar que não haja impurezas que possam reagir com o composto do cimento. Mas se houver suspeita com relação à qualidade da água, devem ser feitos ensaios para verificar a influência das impurezas sobre o tempo de pega, a resistência mecânica e a estabilidade de volume, pois, além disso, as impurezas podem causar eflorescência e corrosão das armaduras (FURNAS, 1997).

Segundo Petrucci (1998), há quantidades aceitáveis de substâncias deletérias e que podem ser aceitas sem causar dano ou efeito ao concreto. Em relação ao pH, Petrucci (1998), afirma que para fins de segurança a água de amassamento deve apresentar um pH entre 6,0 e 8,0. Quanto ao teor de cloretos, a NBR 12655 (ABNT, 2015), estabelece teores máximos que variam de 0,05% a 0,40% de acordo com o tipo de concreto utilizado.

A relação da água com a plasticidade do concreto deve-se aos teores da relação a/c. Quanto maior a quantidade de água no concreto, maior sua tendência em não suportar o estado elástico e dirigir-se para um comportamento plástico. Essa conduta é vinculada à tensão limite de escoamento, que possui sua deformabilidade aumentada, enquanto sua viscosidade tende a diminuir.

Por outro lado, a presença de água em estruturas ou peças de concreto é o principal fator desencadeador de patologias nas construções. Diversas são as manifestações causadas por impurezas contidas na água e que podem desencadear reduções significativas na sua resistência e impermeabilidade. Além disso, podem fomentar o início de eflorescências, resultando na despassivação e conseqüentemente, corrosão das armaduras, caso não sejam realizados ensaios que detectam sua origem.

2.2.1.4 Adições minerais

Segundo a *American Society for Testing and Materials*, adição mineral é “qualquer material, que não seja água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras, usado como ingrediente do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente ou durante a mistura” (ASTM C125, 2001). Adicionados aos diferentes tipos de concretos, alteram as reações químicas dos seus componentes e consequentemente na hidratação do cimento.

Para Meththa e Monteiro (2014), a utilização de adições minerais beneficia o concreto na melhora da resistência à fissuração térmica devido ao calor de hidratação mais baixo, aumento das resistências e da impermeabilidade por refinamento dos poros, e como resultado da redução da alcalinidade, uma durabilidade maior a ataques químicos, tais como, águas sulfatadas e expansão álcali-agregado.

As adições minerais utilizadas normalmente são: pozolanas comuns; pozolanas altamente reativas; pozolanas pouco reativas e cimentantes.

Segundo Thomaz, É. (2015). Adições Minerais em Concreto. *Revista Técnica*, 18, a maior vantagem dessas adições é atuar na zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado graúdo, onde se verifica nos concretos comuns grande concentração de portlandita, repercutindo em considerável enfraquecimento da ligação. Visto que a fragilidade da ligação é justamente no cinturão de passagem considerado a fase de resistência limite do concreto, dessa forma, esses acréscimos minerais fortalecem a conexão dos elementos constituintes do concreto.

2.3 ADITIVOS QUÍMICOS

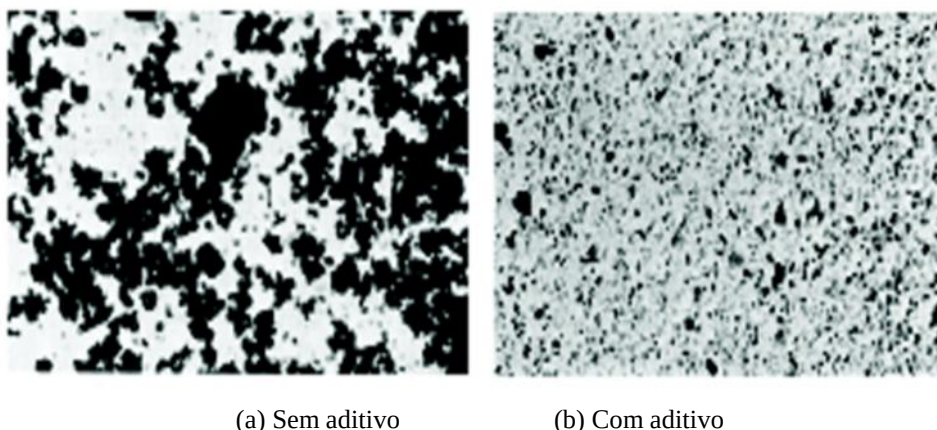
Os aditivos para concreto são produtos capazes de modificar o comportamento de concretos e argamassas e já foram utilizados mesmo antes da descoberta do cimento Portland, com outros tipos de aglomerantes. Alguns produtos naturais e de origem animal e vegetal eram incorporados à massa calcinada para modificar as características até então conhecidas. O uso de aditivos em concretos tem como finalidade modificar o comportamento do concreto no estado fresco e endurecido adequando concretos e argamassas às mais diversas exigências de projeto e necessidades de canteiro de obras.

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011), os aditivos servem para alterar as características do concreto quando adicionados em quantidades controladas, a fim de melhorar o desempenho. A NBR 12655 (ABNT, 2015), complementa que aditivo é um produto incorporado ao concreto em uma quantidade não maior que 5% de sua massa cimentícia e tem o propósito de alterar algumas de suas características no estado fresco ou endurecido. Porém, as boas práticas da engenharia e dosagem de materiais demonstram que a quantidade utilizada ideal é em torno de 1% da massa cimentícia.

Conforme o Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central do Instituto Brasileiro de Impermeabilização (2015) os aditivos químicos atuam frequentemente nas propriedades reológicas do concreto e alteram as reações de hidratação do cimento, com isso melhoram a trabalhabilidade, modificam a viscosidade, atuam na retenção de água, aceleram ou retardam o tempo de pega, controlam o desenvolvimento de resistências mecânicas, intensificam a resistência à ação do congelamento, diminuem a fissuração térmica, atenuam as consequências do ataque por sulfatos, reação álcali-agregado e corrosão de armadura.

Para Mehta e Monteiro (2014), o efeito da ação do aditivo, dispersando as partículas de cimento na água pode ser ilustrado nas figuras 2.3(a e b). Nota-se na Figura 2.3b que após a dispersão das partículas de cimento, a água pode transitar pela mistura e aumentar sua trabalhabilidade com maior facilidade.

Figura 2.4 - Micrografias de dispersão do cimento em água



Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

Ainda segundo o Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central do Instituto Brasileiro de Impermeabilização (2015), o desempenho do aditivo depende também de fatores como: o tipo, a marca, o lote, local de fabricação e consumo por m^3 de cimento, o tipo e o consumo por m^3 de adições quando houver, o consumo por m^3 de água observando seu padrão de qualidade de acordo com a NBR 15900 (ABNT, 2009) a forma, tipo (natural ou artificial), granulometria e proporções dos agregados, a presença de outros aditivos, o tempo e a sequência de mistura do concreto, a temperatura e umidade relativa do ar de acordo com cada ambiente, a temperatura dos materiais do concreto antes e após a mistura e por fim a consistência inicial do concreto (sem aditivo).

Aiticin e Baron (2016) em seu trabalho, “Os aditivos normalizados para concreto”, apresentaram uma definição mais abrangente e mais adequada aos benefícios que os aditivos trazem aos usuários:

Os aditivos fornecem ao formulador de concreto uma extensa gama de várias possibilidades de facilitar a aplicação dos concretos, de adaptar sua produção aos tempos frios ou aos tempos quentes, reduzir os custos de aplicação, melhorar as propriedades dos concretos endurecidos e mesmo proporcionar propriedades novas. São eles, por exemplo, que tornaram possível o conceito atual de altas performances. Eles contribuem para fazer da formulação uma ocupação onde a habilidade e a capacidade de responder necessidades dos responsáveis pela obra e dos empreendedores pode ser objeto de um progresso contínuo. AITICIN; BARON (1996, p. 87)

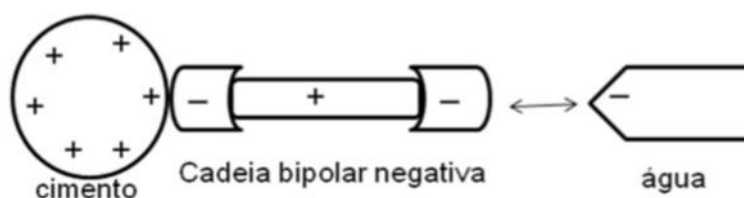
Para Neville e Brooks (2013), os aditivos que possuem finalidade de reduzir o consumo de água possuem agentes tensoativos, que diminuem a tensão superficial, facilitando ou dificultando a aderência na superfície de contato entre dois materiais. É o que ocorre entre as partículas de cimento que recebem cargas negativas do aditivo, repelindo essas

micropartículas e estabilizando a região, além de impedir a infiltração de bolhas de ar que geralmente se agrupam ao cimento. Dessa forma, as partículas se movem a fim de formarem um arranjo coeso e a água lubrifica a mistura aumentando sua trabalhabilidade.

A redução do consumo de água é ligada principalmente à composição química do cimento e com o tipo de agregado utilizado, por isso, torna-se importante o estudo do comportamento de aditivos através de dosagens experimentais antes da escolha do traço definitivo em diversas localidades a fim de se obter um maior conhecimento da interação total entre cimento, agregado e aditivo, visto que estes dois primeiro variam de acordo com a origem mineralógica de cada região e podem não apresentar um padrão de interação química com o aditivo utilizado.

Prior e Adamns (1960) afirmaram que os aditivos redutores de água são ricos em moléculas com carga eletrostática negativa em um formato de bastonete, em que suas extremidades são dotadas de polos negativos enquanto seu interior é preenchido por carregamento positivo. Ao entrar em contato com o grão de cimento, que possui elevado teor de cargas positivas devidas suas origens minerais, ocorre o fenômeno químico de atração energética das cargas positivas com as cargas negativas do aditivo redutor de água em apenas uma extremidade da cadeia.

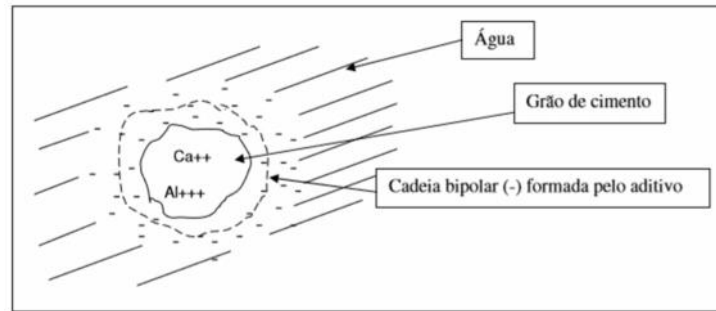
Figura 2.5 - Representação da ação do aditivo interagindo com o cimento e a água



Fonte: Prior e Adamns (1960)

A outra extremidade preenchida por carga negativa, ao solubilizar o aditivo na água, promove a repulsão do cimento em relação à água. Esse fenômeno evita a formação de grânulos avantajados, aumentando a plasticidade da mistura e catalisando seu grau de hidratação.

Figura 2.6 - Representação da cadeia bipolar envolvendo o grão de cimento



Fonte: Adamns e Prior (1960)

A ação dos agentes tensoativos pode ser observada nas Figuras 3.1 e 3.2, que representam a interação do aditivo com as partículas de cimento pelo polo negativo esquerdo e com a água pelo polo negativo direito. Com isso, justifica-se o aumento da plasticidade do concreto. Neville (1997) descreve a ação das cargas eletrostáticas presentes na mistura.

As cargas eletrostáticas dão origem a uma camada de moléculas de água orientadas que impedem que as partículas se aproximem muito umas das outras. Portanto, as partículas adquirem grande mobilidade e a água, livre da influência restritiva do sistema floculado, fica disponível para lubrificar mistura e aumenta a trabalhabilidade. NEVILLE (1997, p. 261)

Tecnicamente a relação entre as moléculas do aditivo e as partículas de cimento é chamada de adsorção química. Mehta e Monteiro (2008) complementam o processo de interação do sistema cimento-aditivo, da seguinte maneira:

Os aditivos químicos podem ser divididos em dois tipos. Algumas substâncias químicas começam a agir no sistema cimento-água instantaneamente, influenciando na tensão superficial da água e adsorvendo na superfície das partículas do cimento; outras se dissociam e afetam as reações químicas entre os compostos do cimento e a água, desde os primeiros minutos até várias horas após a sua adição. MEHTA; MONTEIRO (2008, p. 290).

2.3.1 Normatização

A NBR 11768 (ABNT, 2011) classifica os aditivos conforme sua função principal na mistura do concreto:

a) Aditivo plastificante (P): tem por finalidade aumentar o índice de consistência do concreto, por conseguinte aumentando a fluidez ou o abatimento, mantendo a quantidade de água de amassamento ou ainda reduzindo até 6% a quantidade da mesma. Essa categoria é subdividida pelas funções que cada aditivo plastificante como, retardador de pega (PR), acelerador de pega (PA), caso não possua uma característica secundaria mantém-se então como aditivo plastificante normal (PN).

b) Aditivo superplastificante tipo I (SPI): possui grande capacidade de redução de água sem influenciar a consistência, aumentando consideravelmente a fluidez ou abatimento do concreto, também possui características secundárias como a aceleração da pega (SPI-A), retardo da pega (SPI-R), ou comportar-se sem alteração de sua característica principal (SPI-N).

c) Aditivo superplastificante tipo II (SPII): sem alterar a consistência do concreto reduz grande quantidade de água (maior que SPI), aumentando consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto, possui como funções secundárias em alguns casos o retardo de pega (SPII-R), aceleração da pega (SPII-A) e também se encontra disponível em seu estado normal (SPII-N).

d) Aditivo Incorporador de Ar (IA): como o nome já define, serve para incorporar ar no interior do concreto fresco através de pequenas bolhas que se mantem no estado endurecido.

e) Aditivo acelerador de pega (AP): função principal retardar o processo de endurecimento do concreto, ideal para climas mais frios.

f) Aditivo acelerador de resistência (AR): aumenta o ganho de resistência do concreto nos primeiros dias, podendo influenciar ou não no tempo de pega.

g) Aditivo retardador de pega (RP): aumenta o processo de início da pega, e a passagem do concreto de plástico para endurecido.

Porém, ainda não há uma classificação normativa brasileira que abrange os aditivos conhecidos comercialmente como polifuncionais. Conforme os principais fabricantes de aditivos para a construção civil, seus produtos contempla as especificações da NBR 11768 como sendo Plastificantes e Superplastificantes.

2.3.2 Uso de Aditivos

A trabalhabilidade é uma das principais características do concreto, pois resguarda seu lançamento e adensamento em obra, sua consistência e conseqüentemente reflete na sua resistência e durabilidade.

Os autores Neville e Brooks (2013), afirmam que a água é um dos fatores de maior relevância para trabalhabilidade do concreto, pois age como lubrificante entre as partículas da pasta de cimento e dos agregados, deixando a mistura mais fluida. A relação

água/cimento e a relação agregado/cimento granulometria também são levadas em consideração e devem ser analisadas em conjunto, pois quanto maior for a relação a/c, mais fina será a granulometria necessária para uma maior trabalhabilidade.

Para Bauer (2000), além dos componentes do concreto, existem alguns fatores físicos que interferem em sua trabalhabilidade, como o tempo e a temperatura. O aumento da temperatura ambiente, geralmente demanda uma maior quantidade de água, enquanto o tempo em aberto do concreto favorecesse a perda de calor pelo meio.

Conforme cada situação e necessidade técnica específica, os aditivos são uma solução eficaz por melhorarem a trabalhabilidade e reduzirem a relação água/cimento. Em consequência, também reduzem o diâmetro dos poros, impedindo a entrada de umidade e agentes agressivos do meio, garantindo assim, um aumento de sua durabilidade.

De um modo geral, o uso de aditivos resulta em um ganho econômico ao seu produto final, representado pela redução de insumos utilizados, como a água e o cimento, redução no custo de adensamento e o aumento da durabilidade. São formas de conter despesas extras e tornar o traço mais viável e atrativo comercialmente, sem perder sua qualidade técnica. (NEVILLE, 1997, p.251).

2.3.3 Controle de Qualidade

A análise da qualidade dos aditivos polifuncionais (plastificante e superplastificante) é realizada com base em parâmetros químicos e físicos, como: pH, teor de sólidos, massa específica e teor de cloretos.

O controle de qualidade tem o objetivo de manter a padronização dos lotes fabricados e garantir que os requisitos mínimos estabelecidos por norma. Segundo a NBR 11768 (ABNT, 2011) as propriedades analisadas importantes a serem analisadas estão contidas no Quadro 2.1

Quadro 2.1 - Tolerâncias admissíveis para ensaios em aditivos

Ensaio Técnico		
pH		± 1
Teor de Sólidos	Líquidos	± 5%
	Não Líquidos	± 4%
Massa Específica		± 0,02g/cm ³
Teor de Cloretos		± 10%

Fonte: NBR 11768 (ABNT, 2011)

2.3.4 Aditivo Polifuncional – Bases Químicas

O aditivo polifuncional, também conhecido como *Mid-Range*, é um produto que começou a ser utilizado nos Estados Unidos e Europa aproximadamente há 30 anos, mas a ABNT ainda não tem uma classificação específica para o produto.

Os polifuncionais redutores de água com base de lignosulfonatos são considerados um dos aditivos mais utilizados nas centrais dosadoras de concreto, pois para um determinado abatimento, mesmo com elevadas dosagens, além de obter menor teor de água, não altera diretamente o tempo de pega (PRUDÊNCIO E WEIDMANN, 2007).

Esse tipo de aditivo possui mais de uma função química e age de forma híbrida na redução de água e como plastificante no concreto. A NBR 11768 (ABNT, 2011) abrange somente a classificação de aditivos plastificantes e superplastificantes que são capazes de reduzir a quantidade de água da mistura em até 40%.

Segundo alguns fabricantes, os aditivos *Mid-Range* atuam reduzindo acima de 30% a quantidade de água na mistura, dependendo do traço, das características dos agregados, do tipo de cimento e de outros fatores que interferem nas características do concreto.

A formulação química dos aditivos polifuncionais foi pensada como formar de unificar os efeitos do aditivo plastificante e do superplastificante. Enquanto os aditivos superplastificantes devem ser incorporados à mistura no momento da aplicação do concreto (no caminhão betoneira minutos antes de utilização) os aditivos plastificantes devem manter a plasticidade do concreto durante seu trajeto até o canteiro de obras. Daí surgiu a necessidade de se unificar as bases químicas de ambos os aditivos citados anteriormente com o objetivo de obter um aditivo com alta plasticidade e um bom tempo de manutenção da trabalhabilidade.

Apesar de não possuírem uma especificação nas normas brasileiras, principalmente na NBR 11768 (ABNT, 2011) sua classificação entre os fabricantes são definidos nas classes: Plastificantes (P) e Superplastificantes (SP), dependendo de sua base química de atuação.

Os aditivos utilizados na construção civil passaram por constante incremento de tecnologia e componentes novos em sua composição. Essas evoluções são denominadas na literatura como gerações e apresentam algumas divergências em sua divisão.

Para Helene e Hartmann (2002), as bases químicas, que são a matéria-prima dos aditivos plastificantes e superplastificantes, aos quais englobam os aditivos polifuncionais,

são classificados em 1º Geração – Lignosulfonatos, 2º Geração – Naftaleno e Melamina Sulfonato e 3º Geração – Policarboxilatos.

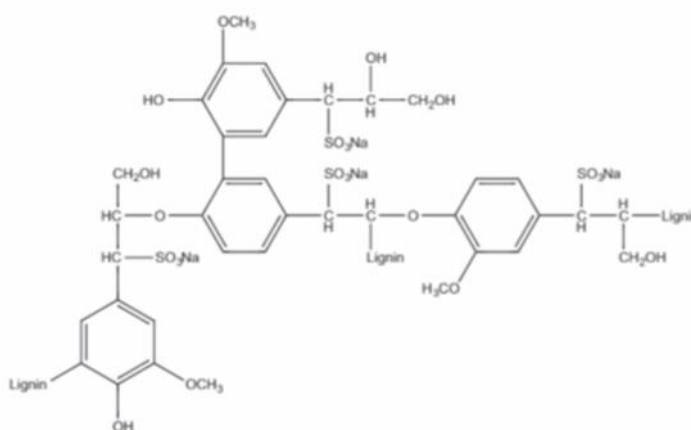
Nos próximos itens as três gerações dos aditivos serão abordadas com maior ênfase.

2.3.4.1 Lignosulfonato – LS

Segundo Hartmann (2002) os lignosulfonatos são conhecidos como aditivos plastificantes de primeira geração e utilizados como redutores de água normais e em alguns casos também como superplastificantes. O lignosulfonato é obtido a partir do rejeito do processo de extração da celulose da madeira.

Para Rixom e Mailvaganam (2001) a estrutura química do LS é descrita como um conjunto de macromoléculas polieletrólitas ramificadas aleatoriamente, contendo grupos funcionais, como ácido carboxílico, hidróxido fenólico, catecol, metóxi, ácido sulfônico e combinações entre eles, conforme a Figura 2.6.

Figura 2.7 – Estrutura química de uma molécula de lignosulfonato



Fonte: Aïtcin & Flatt (2016)

A análise química da estrutura molecular do lignosulfonato é bastante complexa e desorganizada. Além disso, por ser um composto natural, retirado diretamente da natureza, não há um controle de uniformidade em sua composição. Odler (1998) complementa que a massa molecular desse composto é relacionada ao processo de refinamento na fabricação de lignosulfonato, desse modo, esta característica indica o desempenho do aditivo e sua ação, interferindo diretamente na distância de repulsão das partículas de cimento. Ou seja, aditivos

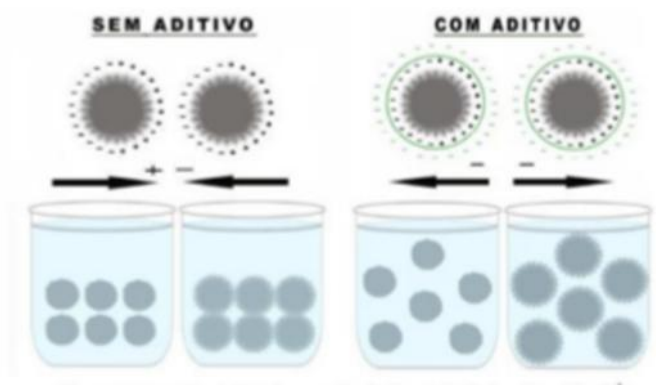
com menor massa molecular apresentam menor eficiência, por serem facilmente incorporados pelos hidratos formados no início do processo de hidratação.

O mecanismo de ação dos aditivos à base de lignosulfonatos é resultado da combinação entre a tensão superficial da água e a repulsão eletrostática estabelecida entre as partículas de cimento e água.

Segundo Corrêa (2010), essas características conferem ao produto ótima capacidade de dispersão dos grãos e aumento da plasticidade, favorecendo o processo de hidratação do cimento e a trabalhabilidade do concreto. Zhang et al. (2010) justificam o extenso uso dos lignosulfonatos ao seu relativo baixo custo e simplicidade de produção.

Outro fator ressaltado por Mehta e Monteiro (2008) e que chama atenção em sua estrutura molecular é a presença de grupos polares aniônicos, que quando interagem com o sistema água-cimento realizam a adsorção da cadeia polar dos lignosulfonatos na superfície da partícula de cimento, ocasionando um aglomerado de cargas negativas em seu entorno. Essa carga negativa causa um efeito repulsivo entre as partículas, Figura 2.7, fazendo com que elas se afastem, ocorrendo assim a defloculação do sistema por meio eletrostático, explica Fracalossi (2011).

Figura 2.8 – Processo eletrostático de dispersão de partículas



Fonte: Fracalossi (2011)

A influência do aditivo com base de lignosulfonato é baixa em alguns cimentos específicos, mas de forma geral, eles se apresentam eficientes na maioria dos tipos de cimento Portland. A eficiência de aditivos redutores de água depende do teor de cimento, do teor de água, do tipo do agregado, da presença de adições minerais ou aditivos incorporadores de ar e da temperatura. Portanto, é necessária a realização de testes experimentais, para definir o tipo e a quantidade ideal para cada situação. (Neville, 2016).

A principal função dos lignosulfonatos no concreto é o afastamento das partículas coloidais que estão em suspensão, gerando cargas negativas e causando um efeito de repulsão entre as moléculas. Mehta e Monteiro (2014) explicam que “camadas de moléculas de água dipolares circundam as partículas hidrófilas de cimento, e como resultado, evitam a sua floculação e um sistema com boa dispersão é obtido”.

Os aditivos a base de lignosulfonato são capazes de elevar as características do concreto no estado fresco e em seu estado endurecido. A trabalhabilidade apresenta boa manutenção de suas características, podendo variar conforme os tipos de aditivos presentes no mercado.

Mehta e Monteiro (2014) exemplificaram os benefícios alcançados pelo uso de aditivos a base de lignosulfonato, partindo de um concreto referência sem aditivo e outro utilizando o aditivo químico. Foi observado o aumento da fluidez, o aumento da resistência à compressão e a redução do consumo de cimento. Em todas as análises, o objetivo foi alcançado, sem comprometer outras propriedades do concreto.

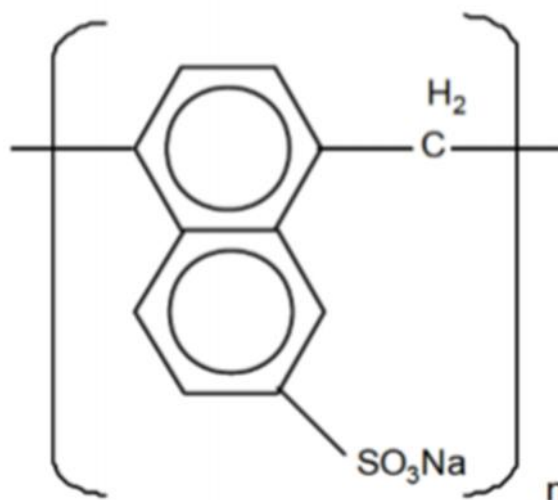
Já Aïtcin e Flatt (2016) afirmam que a eficácia dos aditivos a base de lignosulfonato é limitada, pois apresentam uma limitada capacidade de redução de água em concretos (entre 8 % e 10 %). Por esta razão, embora os lignosulfonatos sejam os aditivos redutores de água mais utilizados comercialmente, dificilmente serão capazes de contemplar sistemas de alto desempenho, como concretos de alta resistência.

A grande demanda da utilização de aditivos polifuncionais com base de lignosulfonatos em centrais dosadoras de concreto deve-se a alta dosagem de aditivos para um determinado abatimento, de forma que não haja consequências para o tempo de pega.

2.3.4.2 Naftaleno – NS

Aditivos a base de naftaleno, são classificados como segunda geração e formados por cadeias medianas de compostos orgânicos que se ionizam em contato com a água, causando repulsão eletrostática. Seu desenvolvimento ocorreu por volta dos anos 1950 no Japão e deste então, apresenta um bom comportamento com a maior parte dos cimentos e incorporam pouco ar ao concreto. Martin (2005) ressalta que sua dosagem em excesso pode desenvolver um retardamento de pega elevado.

Figura 2.9 - Estrutura química de uma molécula de naftaleno



Fonte: Martin (2005)

A temperatura é um fator importante quando utilizado aditivos a base de naftaleno, além disso, o consumo de cimento e as variações na formulação da matéria prima podem influenciar no seu bom desempenho.

Em média, o tempo de manutenção do abatimento dos aditivos polifuncionais com Naftaleno é de 40 minutos, por isso, é indicado que sua dosagem seja realizada no tempo de aplicação e com mistura prevista de aproximadamente cerca de 10 minutos, Martin (2005).

Essas características específicas de uso e operação são explicadas na falta de sucesso desse produto nas centrais dosadoras de concreto, pois, abre margem para possíveis erros técnicos como: dosagem em excesso, falta de controle na aplicação do produto e falta de fiscalização no tempo de mistura.

Neville (1997, p. 267) explica que:

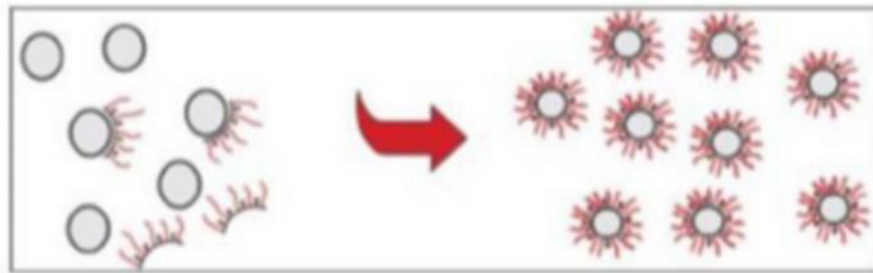
Como a atuação do superplastificante tem duração limitada, pode ser vantajoso adicionar o aditivo em duas ou mesmo três operações. Essa adição repetida, ou redosagem, é possível quando se usam caminhões agitadores para entrega de concreto na obra. Se a trabalhabilidade deve ser restaurada depois da mistura inicial, a quantidade de superplastificante deve ser suficiente para atuação tanto sobre as partículas, de cimento como sobre os produtos de hidratação.

2.3.4.3 Policarboxilato - PL

Conhecidos como a terceira geração dos aditivos com funções plastificantes, o mecanismo de ação dos policarboxilatos atua principalmente por repulsão estérica. Segundo Hartman (2002) a composição química desse princípio ativo é composta por moléculas longas, mais robustas e com um grande número de ramificações e que contribuem para dispersão das partículas de cimento. Quanto maior foi a cadeia, maior a fluidez do composto.

Para Mehta e Monteiro (2008) o efeito estérico está relacionado com o afastamento das partículas de cimento até o ponto em que não se tem o raio de ação das forças de Van der Waals.

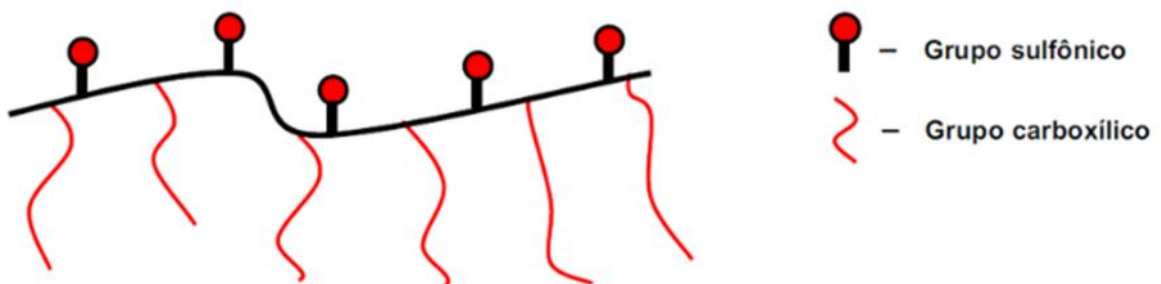
Figura 2.10 – Efeito estérico de molécula de um policarboxilato



Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

Aïtcin e Flatt (2016) complementa que os aditivos à base de policarboxilato são nomeados como “comb-shaped superplasticizers” por possuírem sua estrutura formada por uma cadeia principal constituída por grupos sulfônicos, denominada de “espinha dorsal” (backbone) e constituída por grupos carboxílicos e cadeias laterais não iônicas, formadas por poliésteres, atreladas à cadeia principal (backbone).

Figura 2.11 – Representação de uma molécula de um policarboxilato



Fonte: Hartmann (2002)

Essa classe de aditivo propicia considerável aumento no abatimento do concreto, reduzindo a quantidade de água e tornando possível a utilização de concretos fluidos ou auto adensáveis. A redução de água possibilita o emprego de concretos mais resistentes e duráveis, defende Hartmann (2002).

Mehta e Monteiro (2014) complementam que a estrutura química deste tipo de aditivo permite, por meio da repulsão dos ésteres, a criação de pequenas barreiras entre os corpúsculos de cimento retidos da espinha dorsal (backbone) na superfície da partícula. Uma vez que o efeito de repulsão dos ésteres é mais eficaz que a repulsão eletrostática, há grande influência no aumento slump, ainda com dosagens consideradas inferiores aos aditivos plastificantes a base de lignosulfonato ou naftalenos.

Os policarboxilatos tem capacidade de manter a trabalhabilidade da mistura até que suas longas cadeias poliméricas sejam aprisionadas e cobertas pelos produtos de hidratação do cimento. O tempo de ação estabelece um intervalo entre 45 e 90 minutos, com isso tem-se um tempo maior para o transporte e aplicação do concreto (MELO et al., 2009, ISAIA, 2011).

Para Aïtcin e Flatt (2016) o sucesso na utilização dos policarboxilatos reside no fato de eles oferecerem uma larga versatilidade na composição de suas estruturas moleculares. Uma vez que a estrutura molecular afeta diretamente o desempenho dos aditivos dispersantes, a ampla possibilidade de adequação das cadeias possibilita a produção produtos específicos para situações específicas. Ainda, para os autores, os principais fatores determinantes da performance dos policarboxilatos são devidos ao: comprimento da cadeia principal, natureza química da cadeia principal (acrílica, meta-acrílica, maleica, etc), comprimento das cadeias laterais, natureza das cadeias laterais (PEG, óxidos de polipropileno, etc), distribuição das cadeias laterais ao longo da cadeia principal (uniforme, randômica), densidade de carga aniônica, acoplamento entre a origem da cadeia principal e os elementos das cadeias laterais (éster, éter, amida, etc).

Por outro lado, Martin (2015) acredita que como as estruturas químicas são complexas, esse tipo de produto é harmonizável com um número restrito de outras matérias-primas, e caso não sejam bem formulados possuem tendência a incorporar uma grande quantidade de ar.

2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

O concreto é considerado fresco até o início da pega do aglomerante, o cimento. Nessa condição, as partículas de agregado (areia e brita) não estão em contato umas com as outras, mas separadas por uma camada de pasta de cimento (cimento e água). A pasta de cimento é composta por cimento, água, aditivos, adições finas (sílica, metacaulim, e outros) e ar (aprisionado ou incorporado).

Para Helene (2007), o concreto fresco compreende o intervalo que se inicia durante a mistura, passando pelo transporte, lançamento e finaliza com o seu adensamento. Todo esse processo pode durar de 1 hora até 5 horas. Durante seu estado fresco inicial o concreto passa por alterações de volume e temperatura como: ascensão da água para a superfície, assentamento dos agregados graúdos, evaporação progressiva e exsudação.

O concreto fresco deve se constituir numa massa homogênea, sem segregação dos componentes, nem exsudação e ainda deve atender aos requisitos de trabalhabilidade para seu lançamento e adensamento. Desta forma, o controle de qualidade do concreto deve prever ensaios que visem verificar essas características.

2.4.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade pode ser definida como a maior ou menor facilidade de se adensar, ou de se moldar. Porém, Neville (2016) afirma que é uma definição muito vaga se tratando da trabalhabilidade. Para eles os meios disponíveis de adensamento, apiloamento ou vibração, devem essencialmente eliminar o ar aprisionado no concreto até a obtenção da configuração mais densa possível para determinada mistura. Esse processo depende da lubrificação propiciada pela pasta de cimento, do atrito interno entre os grãos e do atrito externo.

Tendo em vista que o concreto fresco tem uma importância temporária, mas fundamental, a resistência do mesmo em determinadas dosagens é muito influenciada pelo nível do adensamento, pois a presença de 5% de vazios reduz a resistência na ordem de 30% e mesmo 2% de vazios pode resultar em perdas de até 10%. É de fundamental importância que a sua consistência seja adequada para que possa ser transportado, lançado, adensado e acabado com facilidade, sem segregação (NEVILLE, 2016).

Para os autores Neville e Brooks (2013) a execução do adensamento interfere diretamente a qualidade do concreto no final de seu ciclo de cura. Como essa propriedade está vinculada ao concreto em seu estado fresco, destaca-se a relevância que a trabalhabilidade possui para assegurar que o concreto chegue até seu destino, possa ser facilmente bombeado, aplicado, adensado e com o acabamento necessário dentro dos parâmetros de qualidade.

Enquanto para Mehta & Monteiro (2014) a trabalhabilidade é uma propriedade do concreto composta de pelo menos dois componentes: a fluidez, que representa a facilidade de mobilidade do concreto fresco e a coesão que retrata a resistência à exsudação e a segregação. Esses mesmos autores, descrevem a trabalhabilidade como um medidor de umidade do concreto, pois a quantidade de água presente em sua composição, dentro dos limites aceitáveis, pode elevar ou diminuir seu desempenho.

Bauer (2000) completa que o tempo e a temperatura são outros fatores que influenciam na trabalhabilidade. Enquanto a rigidez do concreto é afetada pela perda de trabalhabilidade ou perda de abatimento em função do tempo, a temperatura elevada em uma mistura pode prejudicar sua trabalhabilidade.

Segundo a NBR 7212 (ABNT, 2012) o concreto deve se manter homogêneo até sua aplicação, contabilizado um intervalo máximo 90 minutos de seu transporte e de até 30 minutos após a chegada do caminhão betoneira na obra. Ao atender esses prazos evita-se perda da trabalhabilidade e manutenção da relação água/cimento.

Entretanto, o aumento da relação água/cimento contribui para diminuição da resistência do concreto e para isso é necessário à utilização dos aditivos polifuncionais superplastificantes, que simultaneamente conseguem reduzir a quantidade de água, plastificar a mistura e atingir a resistência ideal. Segundo Neville e Brooks (2016) o objetivo dos aditivos redutores de água é possibilitar uma redução do fator a/c enquanto a trabalhabilidade é mantida. Além disso, a dispersão causada nas partículas de cimento pelos componentes com função plástica (melamina, naftaleno e lignossulfonatos) do aditivo polifuncional, amplia a área superficial disponível para sua hidratação e com isso há um aumento considerável na resistência do concreto.

Por isso, os aditivos polifuncionais, principalmente os superplastificantes, ganharam o mercado das construções verticais ao conseguir reduzir a quantidade de água da mistura ao mesmo tempo em que eleva sua resistência à compressão e consegue uma trabalhabilidade suficiente para bombear o concreto em alturas elevadas.

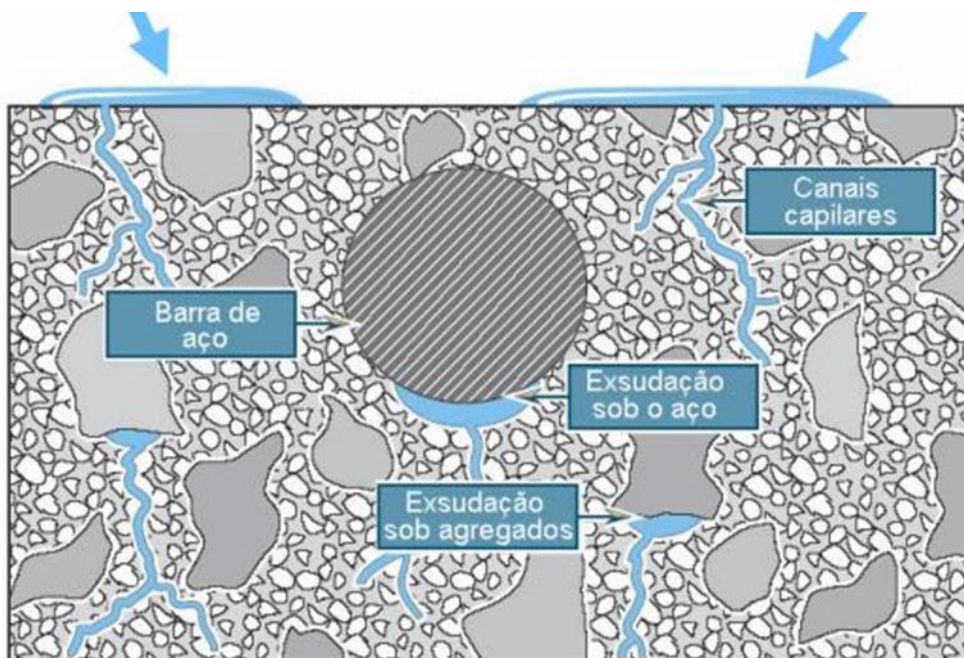
2.4.2 Coesão, Exsudação e Segregação

A coesão é a capacidade de manter uma mistura homogênea. No concreto fresco, ela possui relação direta com a trabalhabilidade, principalmente por sua relação com a quantidade de finos na mistura e a proporção e granulometria dos agregados.

Para Neville e Brooks (2016), quando transporte, manuseio do concreto no canteiro de obras, lançamento de alturas consideráveis, necessidade de bombeamento e outros fatores que envolvam movimentação excessiva da mistura forem presentes, deve-se usar misturas com maior valor de coesão.

A falta de coesão aumenta a permeabilidade, o que reduz a aderência entre a pasta de cimento e os agregados e favorece a ocorrência de processos como a exsudação. A exsudação é uma forma de segregação da pasta de cimento, em que uma parcela da água da mistura tende a ascender até a superfície do concreto. Esse fenômeno ocorre antes do início da pega, e pode prejudicar a uniformidade, a resistência e a durabilidade dos concretos (Bauer, 2000). Na figura 2.11 é mostrada a ação da exsudação em uma estrutura de concreto armado.

Figura 2.12 - Processo de exsudação em estrutura de concreto armado.



Fonte: Silica Fume Association (2011)

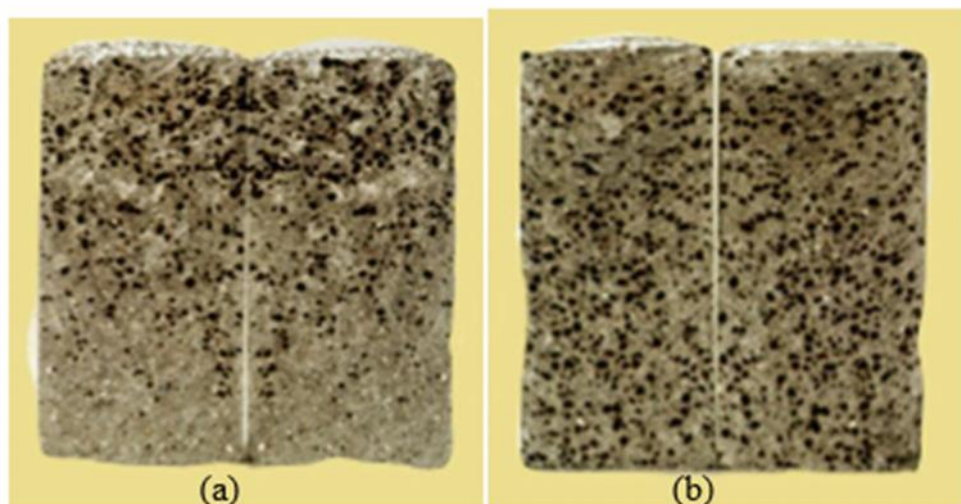
De acordo com a observação de Schiessl e Schmidt (1990, p. 24 apud NEVILLE, 2016, p. 218) a adição de cinza volante ou de sílica ativa à argamassa reduz significativamente a exsudação. ACI 212 (1994, p. 31 apud NEVILLE, 2016, p. 218) também

ressaltam que os superplastificantes, em geral, diminuem a exsudação, principalmente nos casos de abatimentos menores, como o estudado nesse trabalho, pois consegue evitar a fuga da água para sua superfície através da intensificação da hidratação do cimento catalisado pela dispersão de suas micropartículas.

Além disso, outros fatores como erros de dosagem, falha de lançamento ou de adensamento, excesso de água ou aditivos plastificantes e homogeneização inadequada podem afetar a coesão do concreto.

A segregação, por sua vez, é o fracionamento dos componentes de uma mistura heterogênea perdendo sua uniformidade (Figura 2.12). Para Bauer (2000) as principais causas de segregação são: diferença entre a dimensão das partículas e a diferença de massa específica dos materiais, necessitando assim de um controle na escolha dos componentes da mistura.

Figura 2.13 - Comparativo (a) Concreto com segregação, (b) Concreto sem segregação



Fonte : Grabois, 2012.

Um problema análogo a este é o uso abusivo do vibrador durante o espalhamento do concreto nas formas, devido ao alto nível de energia empregado pelo equipamento elevando a incidência de segregação.

2.4.3 Calor de Hidratação

O calor gerado pelas reações exotérmicas de hidratação do cimento é denominado calor de hidratação e é a principal fonte de variação volumétrica do concreto. Para Neville (2016) muitas variáveis podem influenciar o processo desde a composição dos materiais do concreto à execução da concretagem.

Algumas medidas para minimizar o efeito do calor de hidratação do concreto são: uso de cimentos compostos, com baixo calor de hidratação (CP III e IV), aditivos plastificantes e retardadores de pega, armaduras específicas com função de limitar ou impedir a fissuração, substituição de parte da água de amassamento por gelo ou nitrogênio líquido, resfriamento dos agregados graúdos, uso de serpentinas embutidas no concreto para circular água gelada e reduzir o tamanho e volume das camadas de concreto.

2.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

O concreto é considerado um maciço a partir da pega e constantemente está em desenvolvimento. Empregado na execução de estrutura, este material fica sujeito as mais diversas alterações físicas, químicas e mecânicas, dependendo das condições de exposição na etapa de serviço.

Para Helene (2007), a classificação como concreto endurecido inicia-se na hidratação do cimento e conseqüentemente seu endurecimento, estendendo-se por toda vida útil do compósito.

Bauer (2000) adota o tempo de fim de pega como critério inicial para definir o concreto endurecido. O processo de solidificação é constante e as propriedades adquiridas variam em função do tempo, condições ambientais, químicas, mecânicas e físicas. No período de sua cura, os eventos citados anteriormente irão de forma lenta e gradual alterando suas condições finais e atribuindo qualidades e defeitos em sua estrutura.

Dentre as principais propriedades do concreto no estado endurecido, destaca-se a resistência à compressão.

2.5.1 Resistência à compressão

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) a definição de concreto estrutural é “o termo que se refere ao espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural”. Dentro dessa mesma classificação, os elementos de concreto podem ser subdivididos em três categorias: concreto simples estrutural (não possui qualquer tipo de armadura ou quantidade inferior ao mínimo exigido); concreto armado (comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura) e concreto protendido (parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos de protensão para impedir ou limitar a fissuração da estrutura).

Complementando a NBR 6118 (ABNT, 2014) a NBR 8953 (ABNT, 2015) divide os concretos para fins estruturais em duas classes: a classe de resistência e classe de consistência, conforme Tabela 2.2.

A classe de resistência é subdividida em dois grupos conforme a resistência característica à compressão (F_{ck}) e determinada a partir do ensaio de corpos de prova rompidos conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018).

Tabela 2.2 - Classe de Resistência de concretos estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão Mpa	Classe de resistência Grupo II	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 - NBR 8953 (ABNT, 2015)

Já a classe de consistência classifica o concreto por sua propriedade do estado fresco a partir do ensaio de abatimento pela NBR NM 67 (ABNT, 2008) conforme exposto na Tabela 2.3 a seguir.

Tabela 2.3 - Classe de Consistência de concretos estruturais

Classe	Abatimento mm	Aplicações típicas
S 10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S 50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S 100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S 160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S 220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras
NOTA 1 De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento. NOTA 2 Os exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações.		

Fonte: Adaptada - NBR 8953 (ABNT, 2015)

Além dessas classificações, o concreto pode ser definido quanto à sua massa específica, dividindo-se em três classes conforme explicitado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Classificação de Massa Específica Seca

Classificação	Massa específica seca Kg/m ³
Concreto Leve (CL)	< 2000
Concreto Normal (C)	$2000 \leq A < 2800$
Concreto Pesado (CD)	≥ 2800

Fonte: Adaptada - NBR 8953 (ABNT, 2015)

Helene & Terzian (2001) afirmam que a resistência à compressão é a principal e mais importante propriedade do concreto endurecido, além disso, a resistência à flexão, o módulo de elasticidade, a retração e a permeabilidade caracterizam o concreto nesse estágio. Ressaltam também os principais fatores que influenciam na resistência à compressão do concreto, entre eles: a variabilidade do cimento, dos agregados, da água, dos aditivos e da proporção relativa desses materiais; a qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura; e a eficiência das operações de ensaio e controle.

A resistência do concreto é uma propriedade importante, normalmente usada como parâmetro para especificação, definição do traço e controle de qualidade e normalmente é medida à compressão (resistência à compressão) ou flexão (resistência à flexão). A resistência à compressão do concreto é sempre maior que a resistência à flexão, chegando a ter uma escala de grandeza de 8 a 10 vezes maior.

Neville (2016) destaca que a resistência do concreto é determinada pela resistência dos agregados, resistência da pasta de cimento e resistência da zona de transição (zona de interface entre o agregado e a pasta de cimento).

2.6 MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO DE CUSTO DO CONCRETO (MCC)

Segundo Ribeiro (2002), a dosagem é a determinação da mistura mais econômica de um concreto, com características (nos estados fresco e endurecido) capazes de atender às condições de serviço, utilizando os materiais disponíveis.

Ao contrário da maioria dos serviços, que usam o metro quadrado (comprimento x largura) como método de cálculo, o concreto, principalmente o usinado, é medido por metro cúbico (altura x largura x comprimento). Essa questão deve-se principalmente a seu transporte, em caminhões betoneira com capacidade média de 8m³

A partir daí, o cálculo de produção de um traço de concreto leva em conta outros fatores além da metragem. O custo dos insumos por metro cúbico, bombeamento por metro cúbico, despesas inerentes à atividade da central dosadora de concreto, os encargos, as despesas administrativas, comerciais e de mão de obra mensais, inseridas no Estudo de Viabilidade Econômica. Essas despesas correspondem ao processo operacional de funcionamento da organização, passando pelos gastos fixos e variáveis.

Porém, nesse trabalho, consideraremos apenas os gastos dos insumos, ou seja, o valor em reais por metro cúbico (R\$/m³) convertidos para duas análises: a primeira em relação ao custo total da produção de dois concretos com duas bases químicas diferentes e a segunda baseada no valor do desempenho do concreto no estado endurecido (resistência à compressão) vinculada ao seu valor monetário (R\$/MPa).

Diante de dois traços que tiveram apenas os teores de aditivo alterados, em relação a massa de cimento, condicionante variável, os demais componentes do concreto como: cimento, agregado graúdo, agregados miúdos e água fixaram-se, portanto, são condicionantes fixas.

O consumo de cada base química de aditivo e seu valor unitário são os fatores intervenientes no custo final, ou MCC, dos traços de concreto deste estudo.

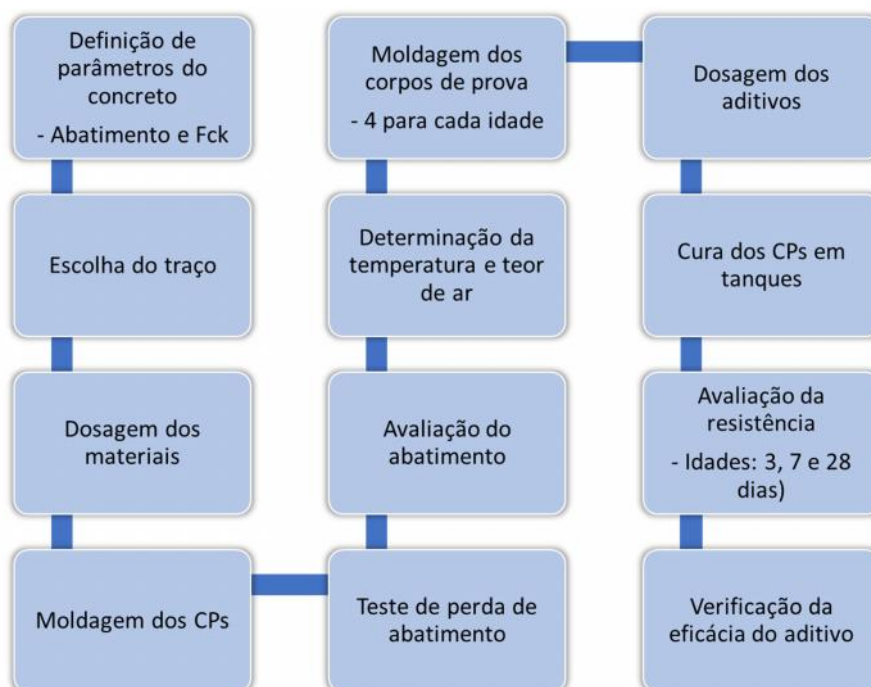
3 MATERIAIS E MÉTODO

Para avaliar o desempenho dos aditivos polifuncionais em duas diferentes bases químicas de composição, este estudo se dividiu em duas etapas, conforme ilustrado no Fluxograma da Figura 3.1. A primeira etapa, avaliação do desempenho técnico dos aditivos, visa verificar o teor ótimo de cada aditivo para obter um abatimento S100 (100 ± 20 mm). Para isso foram produzidos três concretos convencionais classe de resistência C25, sendo uma referência (sem aditivo) e dois com bases químicas diferentes, um com lignosulfonato e o outro com policarboxilato, ambos do mesmo fabricante para propiciar o abatimento requerido.

A segunda etapa tem por objetivo analisar o custo benefício dos aditivos. Inicialmente verificando a Margem de Contribuição de Custo (MCC), a partir do preço unitário por metro cúbico de cada concreto, sem considerar despesas com mão de obra e despesas indiretas (BDI) e avaliando apenas o custo final dos insumos e posteriormente considerando o desempenho técnico e econômico em um mesmo parâmetro pelo indicador MPa / R\$.

Os procedimentos de dosagem e produção do concreto (Figura 3.1) bem como os ensaios tecnológicos foram realizados no Laboratório da Central de Concreto da Realmix. Os materiais componentes cedidos pela Engemix Concreto.

Figura 3.1 - Fluxograma da Pesquisa

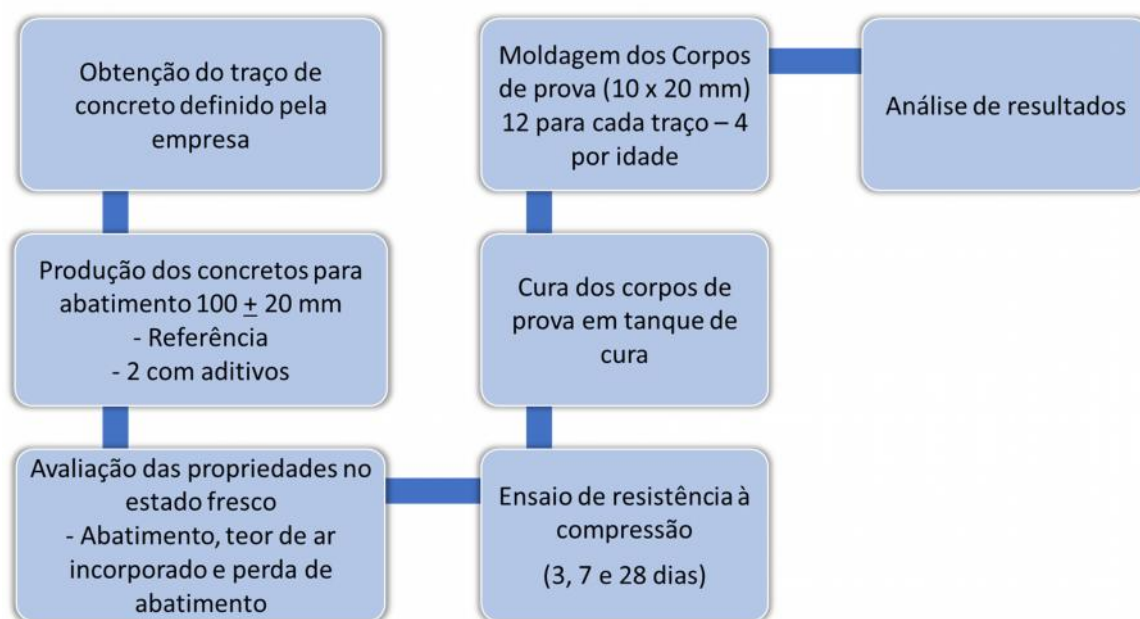


Fonte: Autoria própria (2019)

3.1 PRIMEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉCNICO DOS ADITIVOS

Nesta primeira etapa, foram produzidos 3(três) concretos, sendo um sem uso de aditivos e outros 2 (dois) com aditivos polifuncionais. Em seguida, foram moldados corpos de prova para avaliação da resistência à compressão nas idades de 3, 7 e 28 dias. O fluxograma da Figura 3.2 ilustra os procedimentos.

Figura 3.2 – Roteiro de atividades deste estudo



Fonte: Autoria própria (2019)

Para a avaliação do desempenho dos aditivos, foram misturados concretos a partir de um traço já definido pela empresa parceira para classe de resistência C25 e abatimento S100. Assim, foi produzido um concreto de referência (CR25), sem aditivo, variando a relação água-cimento até obter o abatimento requerido. Posteriormente, os outros concretos foram produzidos, variando-se o tipo e teor de aditivo e mantendo a relação água/cimento da carta traço.

Para cada mistura de concreto foi realizado o ensaio de abatimento de acordo com o método descrito na NBR 67 (ABNT, 1998) e apresentado na Figura 3.3. Uma vez obtido o abatimento desejado, foi realizada a verificação do teor de ar incorporado de acordo com a NBR 9833 (ABNT, 2009) e a perda de abatimento.

Figura 3.3 – (a) Slum Test sem a presença de aditivo (b) Slump Test com utilização de aditivo polifuncional



Fonte: Autoria própria (2019)

Em seguida, os corpos de prova cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura foram moldados para dar início a verificação da resistência à compressão nas idades de 3, 7 e 28 dias, conforme NBR 5738 (ABNT, 2016).

Figura 3.4 – Adensamento durante a moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2019)

Os corpos de prova, após desmoldados ficaram submersos em tanques contendo água com cal, onde permaneceram até as idades de ensaio descritas na NBR 5739 (ABNT, 2018). No Quadro 3.1 são explicitados os traços e número de corpos de prova para avaliação da resistência à compressão.

Quadro 3.1 - Relação dos concretos para avaliação do desempenho do aditivo

Concreto	Nomenclatura	Numero de corpos de prova por idade	Total de Corpos de prova
Referência	R25	4	12
Com Aditivo Lignosulfonato	LN25	4	12
Com Aditivo Policarboxilato	PL25	4	12

Fonte: Autoria própria (2019)

3.1.1 Seleção dos Parâmetros Iniciais

Para a realização deste estudo, foram definidos parâmetros iniciais de um traço base, com características primárias e utilizadas em algumas obras da cidade de Goiânia. Para isso, estabeleceram-se alguns requisitos que devem ser atendidos como a facilidade de bombeamento e a utilização de fatores que possam servir como suporte para outros traços com características semelhantes.

O traço base de concreto escolhido para este estudo conta com F_{ck} 25 MPa, brita 0, abatimento (slump) S100 e teor de argamassa de 51%. A escolha da resistência à compressão mediana em relação à maioria dos concretos convencionais produzidos em centrais de concreto possibilita que este trabalho seja utilizado como referência para dosagens que também empreguem aditivos polifuncionais plastificantes em sua composição.

Os outros parâmetros como: quantidade em massa de agregado miúdo e agregado graúdo, volume de água e teor de aditivo, foram retirados da carta traço disponibilizados pela empresa Engemix (Votorantim Cimentos).

Os critérios iniciais adotados e tomados como referência na carta traço cedida, foram utilizados para definição do traço referência. Porém, neste não foi utilizado aditivo polifuncional, e os seus componentes basearam-se em: cimento, areia, brita e água. O objetivo desta dosagem foi para especificar qual o valor da relação água/cimento para obter o

abatimento esperado S100 e consequentemente uma resistência característica à compressão de 25 MPa.

3.1.2 Materiais

Para realização do estudo, os concretos foram produzidos com os materiais ilustrados na Figura 3.5, a saber:

- a) Cimento Portland CP II–F-32, fornecido à granel, por Votorantim Cimentos via Edealina - GO;
- b) Areia natural lavada, proveniente de extração fluvial na região;
- c) Brita tipo 0, proveniente de micaxisto extraído em pedreira local;
- d) Água, disponível da rede de abastecimento do laboratório da Realmix;
- e) Aditivo do tipo polifuncional com lignosulfonato;
- f) Aditivo do tipo polifuncional com policarboxilato.

Figura 3.5 – Separação dos materiais para iniciar a mistura



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 3.6 – Pesagem de aditivo em balança de precisão



Fonte: Autor (2019)

A caracterização dos materiais foi realizada no laboratório da Realmix Concretos, com os insumos da empresa Engemix, sendo o cimento Votorantim Cimentos e os aditivos do Grupo BASF, obedecendo-se os procedimentos das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.1.3 Caracterização dos Materiais

Todos os materiais utilizados passaram por processos individuais e específicos de caracterização conforme normatização.

3.1.3.1 Cimento Portland

A caracterização do cimento utilizado neste estudo foi cedida pela empresa Votorantim Cimentos, do produto Obras Estruturais – CPIIF-40, fabricado na cidade de Edealina – Goiás, com base nos critérios da NBR 16678 (ABNT, 2018).

O Quadro 3.2, apresenta os resultados obtidos por meio dos ensaios químicos e físicos e compara seus valores com os limites de norma.

Quadro 3.2 - Ensaios químicos, físicos e mecânicos do Cimento CII-F40

Ensaios	Químicos				Físicos e mecânicos									
	Teores (%)				Finura(%)		Blaine	Água de	Tempo Pega		Expansib. a	Resist. à Compressão (MPa)		
	PF	MgO	SO ₃	RI	#200	#400	(cm ² /g)	consist.(%)	Início (min)	Fim (min)	quente (mm)	3 Dias	7 Dias	28 Dias
	≤ 12,5	N/A	≤ 4,5	≤ 7,5	≤ 10,0	N/A	N/A	N/A	≥ 60	≤ 600	≤ 5,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0
01/10/2019	5,9	1,4	2,6	2,5	0,0	1,6	4900	29,6	155	195	0,0	39,0	43,7	50,8
03/10/2019	5,5	1,3	3,0	2,0	0,1	1,9	4870	29,3	160	195	0,0	38,0	41,3	48,9
04/10/2019	5,7	1,5	2,9	2,4	0,1	2,7	4720	29,3	130	180	0,0	36,8	41,3	50,3
07/10/2019	5,1	2,0	3,4	2,4	0,1	2,3	4800	29,6	235	300	0,0	37,0	41,9	47,9
08/10/2019	5,7	2,0	3,5	2,4	0,1	1,5	4650	29,8	245	295	0,0	38,1	43,2	52,8
09/10/2019	6,6	3,0	3,0	2,5	0,1	2,4	4560	28,4	250	355	0,0	36,6	42,2	48,5
10/10/2019	6,2	2,9	3,0	1,9	0,1	2,3	4650	29,1	250	365	0,0	34,4	41,0	46,0
14/10/2019	5,2	2,6	2,9	2,6	0,1	1,6	4550	29,2	240	275	0,0	36,6	41,8	48,6
15/10/2019	5,5	2,4	2,8	2,5	0,1	2,1	4560	29,2	210	270	0,0	37,4	41,5	50,1
16/10/2019	5,9	2,7	2,9	2,4	0,1	1,7	4680	29,2	200	265	0,0	40,4	46,1	52,8
17/10/2019	6,4	2,7	3,0	2,6	0,1	1,5	4700	29,6	180	235	0,0	39,3	41,9	49,6
19/10/2019	6,1	2,9	2,9	2,2	0,1	1,5	4670	29,0	155	215	0,0	38,5	41,9	50,3
21/10/2019	6,3	2,8	2,9	2,0	0,1	2,1	4780	29,1	140	185	0,0	37,0	41,1	-
22/10/2019	6,5	3,2	2,8	2,2	0,1	1,9	4590	29,3	190	235	0,0	37,0	40,8	-
24/10/2019	6,3	3,6	2,8	2,4	0,1	1,7	4680	29,4	200	250	0,0	36,5	40,1	-
26/10/2019	5,3	3,7	3,0	2,3	0,1	2,0	4580	29,4	190	230	0,0	37,3	42,7	-
28/10/2019	5,0	3,7	2,9	1,5	0,1	1,9	4490	29,2	200	260	0,0	38,2	43,8	-
29/10/2019	5,5	3,3	3,0	2,2	0,1	2,0	4660	29,0	190	215	0,0	38,2	42,7	-
Média	5,8	2,6	3,0	2,3	0,1	1,9	4672	29,3	196	251	0,0	37,6	42,2	49,7
Desvio Padrão	0,5	0,8	0,2	0,3	0,0	0,3	111,6	0,3	38	53	0,0	1,3	1,4	1,9
Mínimo	5,0	1,3	2,6	1,5	0,0	1,5	4490	28,4	130	180	0,0	34,4	40,1	46,0
Máximo	6,6	3,7	3,5	2,6	0,1	2,7	4900	29,8	250	365	0,0	40,4	46,1	52,8

Fonte: Votorantim Cimentos (2019)

3.1.3.2 Agregado Graúdo

Mehta e Monteiro (2014) defende que os agregados graúdos utilizados em concretos, devem ter grãos resistentes, duráveis e inertes, sem impurezas que prejudiquem o endurecimento do aglomerante. Além disso, devem apresentar boa composição granulométrica.

O agregado graúdo utilizado no estudo foi a pedra britada de gnaiss, proveniente da região de Goianópolis, Goiás. A caracterização do agregado graúdo, Brita 0, foi cedida pela empresa Engemix, filial Goiânia e obteve como resultado a curva granulométrica da Figura 3.7.

Figura 3.7 - Caracterização granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Engemix (2019)

A curva granulométrica está dentro dos parâmetros máximos e mínimos e atende aos requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2009).

A Tabela 3.1 demonstra a caracterização física do material e os ensaios de determinação das substâncias nocivas.

Tabela 3.1 – Caracterização do material agregado graúdo

CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL			
Propriedades Físicas	Resultados		Metodologia de Ensaio
Módulo de finura	6,05		NBR - NM 248
Dimensão Máxima (mm)	12,50		NBR - NM 248
Índice de forma	-		NBR - NM 7809
Abrasão Los Angeles (%)	-		NBR - NM 051
Massa Específica (g/cm ³)	2,87		NBR - NM 053
Massa Específica Aparente Seca (g/cm ³)	2,85		NBR - NM 053
Massa Esp. Saturada Superf. Seca (g/cm ³)	2,85		NBR - NM 053
Absorção de água (%)	0,43		NBR - NM 053
Massa unitária (kg/dm ³)	1,55		NBR - NM 045
SUBSTÂNCIAS NOCIVAS			
Determinação	Resultados	Limite Normativo	Metodologia de Ensaio
Materiais carbonosos ^a		0,5 - 1%	ASTM C 123
Material pulverulento (%) ^{b,c}	0,93	< 1	NBR - NM 46

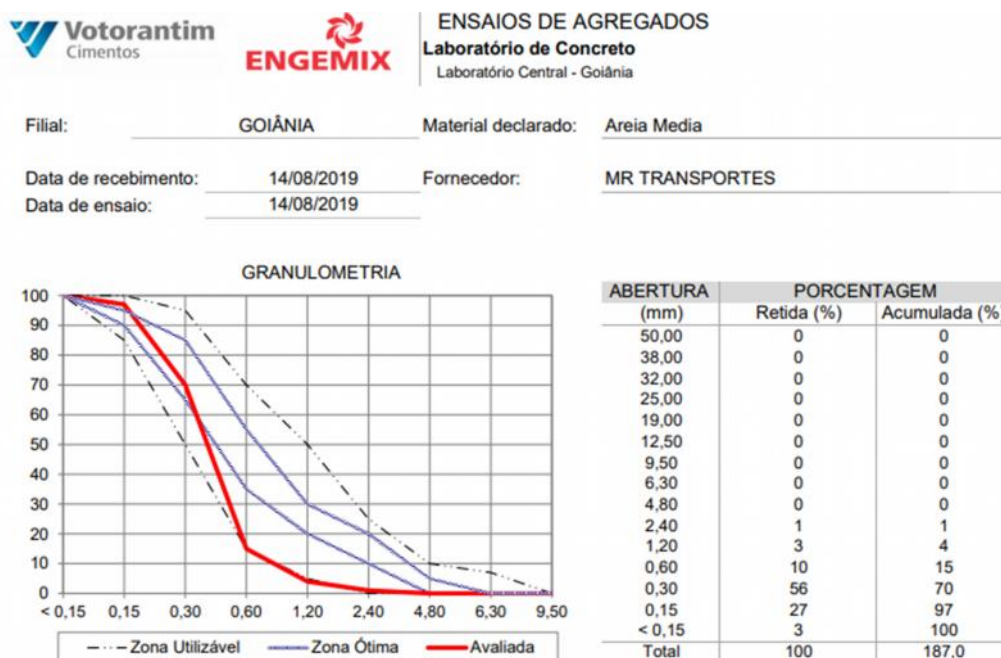
Fonte: Engemix (2019)

3.1.3.3 Agregado Miúdo

Define-se agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante de britagem de rochas estáveis, ou a misturas de ambas, com grãos que passam pela peneira ABNT 4,8mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075mm. NBR 7211 (ABNT, 2009).

O traço utilizado como referência contou com dois tipos de agregados miúdos, sendo eles: areia média e areia de brita. A Figura 3.8 contempla a curva granulométrica do agregado miúdo tipo areia média e a Tabela 3.2 os resultados da caracterização física do material.

Figura 3.8 – Caracterização granulométrica do agregado miúdo (areia média)



Fonte: Engemix (2019)

A curva granulométrica da areia média não é compatível com a zona ótima, porém, está dentro da zona utilizável, não havendo dano para a qualidade do concreto.

O módulo de finura e a dimensão máxima do agregado também atende as questões normativas. Além disso, as porcentagens de substâncias nocivas estão dentro dos parâmetros de qualidade e dos limites normativos, conforme a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Caracterização do material agregado miúdo (areia média)

CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL			
Propriedades Físicas		Resultados	Metodologia de Ensaio
Módulo de finura		1,87	NBR - NM 248
Dimensão Máxima (mm)		4,80	NBR - NM 248
Massa Específica (g/cm ²)		2,62	NBR - NM 052
Massa Específica Aparente Seca (g/cm ²)		#DIV/0!	NBR - NM 052
Massa Esp. Saturada Superf. Seca (g/cm ²)		#DIV/0!	NBR - NM 052
Massa Unitária (kg/m ³)		1,51	NBR - NM 045
Absorção de água (%)		#DIV/0!	NBR - NM 053
*Inchamento			NBR - NM 6467
*Teor de partículas leves			NBR - NM 9936
*Umidade superficial			NBR - NM 9775
* Ensaios não realizados não realizados no Centro Técnico de Curitiba			
SUBSTÂNCIAS NOCIVAS			
Determinação	Resultados	Limite Normativo	Metodologia de Ensaio
Torrões de Argila (%)	0,0	< 3	NBR 7218
Materiais carbonosos ^a		0,5 - 1%	ASTM C 123
Impurezas orgânicas ^b		mais claro	NBR – NM 49
Material pulverulento (%)	1.89	< 3	NBR – NM 46

Fonte: Engemix (2019)

Enquanto a Figura 3.9 contempla a curva granulométrica do agregado miúdo tipo areia artificial e a Tabela 3.3 os resultados da caracterização física do material.

Figura 3.9 - Caracterização granulométrica do agregado miúdo (areia de brita)



Fonte: Engemix (2019)

Assim como a areia média, a areia de brita também está fora da zona ótima, porém, atende aos limites da zona utilizável. Os parâmetros como módulo de finura, dimensão máxima e substâncias nocivas, também atende aos limites normativos, conforme a Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Caracterização do material agregado miúdo (areia de brita)

CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL			
Propriedades Físicas		Resultados	Metodologia de Ensaio
Módulo de finura		3,12	NBR - NM 248
Dimensão Máxima (mm)		4,80	NBR - NM 248
Massa Específica (g/cm ²)		2,75	NBR - NM 052
Massa Específica Aparente Seca (g/cm ²)		#DIV/0!	NBR - NM 052
Massa Esp. Saturada Superf. Seca (g/cm ²)		#DIV/0!	NBR - NM 052
Massa Unitária (kg/m ³)		1,33	NBR - NM 045
Absorção de água (%)		#DIV/0!	NBR - NM 053
*Inchamento			NBR - NM 6467
*Teor de partículas leves			NBR - NM 9936
*Umidade superficial			NBR - NM 9775
* Ensaios não realizados não realizados no Centro Técnico de Curitiba			
SUBSTÂNCIAS NOCIVAS			
Determinação	Resultados	Limite Normativo	Metodologia de Ensaio
Torrões de Argila (%)	0,0	< 3	NBR 7218
Materiais carbonosos ^a		0,5 - 1%	ASTM C 123
Impurezas orgânicas ^b		mais claro	NBR – NM 49
Material pulverulento (%)	8.9	< 10	NBR – NM 46

Fonte: Engemix (2019)

3.1.3.4 Aditivo Polifuncional

A análise da qualidade dos aditivos polifuncionais (plastificante e superplastificante) é realizada com base em parâmetros químicos e físicos, como: pH, teor de sólidos, massa específica e teor de cloretos.

O controle de qualidade tem o objetivo de manter a padronização dos lotes fabricados e garantir que os requisitos mínimos estabelecidos por norma. Segundo a NBR 11768 (ABNT, 2011) as propriedades devem ser indicadas pelo fabricante. Desse modo, a norma apenas limita as variações aceitáveis de um lote para o outro, evitando grandes alterações na formulação química dos aditivos.

Os aditivos selecionados para este estudo e suas características estão descritos no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Aditivos Polifuncionais utilizados neste estudo

Produto	Base Química	Aspecto/Cor	pH (NBR 10908)	Massa Específica g/cm ³ (NBR 10908)	Descrição
MasterPolyheed 18	Lignosulfonato	Líquido / Marrom Escuro	8,00 - 10,00	1.140 - 1.180	Aditivo Polifuncional que proporciona altíssima manutenção do slump mesmo com altas temperaturas, sem alterar o início de pega
MasterGlenium 301	Policarboxilato	Líquido / Castanho Escuro	8,00 - 10,00	1.220 - 1.270	Aditivo que permite bom poder dispersante com melhoria nas resistências finais. Ideal em regiões mais quentes. Formulado para todos os tipos de cimento.

Fonte: Grupo Basf (2019)

3.1.4 Produção dos Concretos

Para a realização da pesquisa, o concreto produzido, obedeceu às etapas, a saber.

3.1.4.1 Dosagem dos concretos

A dosagem foi realizada em massa, utilizando a união de métodos empírico da empresa parceira deste estudo e os procedimentos do Método ABCP, além de contar com auxílio dos requisitos de controle de qualidade estabelecidos pelas normas da ABNT citadas no manual abaixo.

3.1.4.2 Mistura

O procedimento de mistura (Figura 3.10) dos traços deverá respeitar a seguinte ordem, pré-estabelecida pelo laboratório da Realmix e as normas vigentes NBR 12655 (ABNT, 2015) e NBR 7212 (ABNT, 2012).

Figura 3.10 – Betoneira utilizada para realizar a mistura do concreto



Fonte: Autoria própria (2019)

3.1.5 Avaliação das propriedades no estado fresco

Buscando obter resultados precisos e que possam embasar uma análise técnica deste estudo, foram escolhidos alguns testes de controle tecnológico do concreto para sua avaliação.

Para a fase do estado fresco do concreto, os testes escolhidos foram: slump test, teor de ar incorporado (Figura 3.11) e perda de abatimento. Já no estado endurecido, apenas o ensaio de resistência à compressão foi realizado.

Figura 3.11 – Aparelho para aferição do teor de ar incorporado ao concreto



Fonte: Autoria própria (2019)

3.1.6 Avaliação das propriedades do concreto endurecido

Esta etapa possui a finalidade de verificar a influência dos aditivos sobre as propriedades do concreto endurecido, como resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias de idade.

O ensaio de resistência à compressão é o mais importante para determinação da característica do concreto no estado endurecido. O método pelo qual foram ensaiados os corpos de prova à compressão está descritos na NBR 7215 (ABNT, 1996), devendo ser moldados conforme os critérios da NBR 5738 (ABNT, 2016). O teste foi realizado em prensa hidráulica com capacidade de 100 toneladas, da marca SOLOTEST e modelo: 1506220 conforme Figura 3.12.

Figura 3.12 – Prensa durante ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autoria própria (2019)

Para a qualidade e desempenho do ensaio, até a idade de ensaio, os corpos-de-prova ficaram mantidos em processo de cura úmida ou saturados, nas condições preconizadas, conforme o caso, pelas NBR 5738 (ABNT, 2016), NBR 7680 (ABNT, 2015) e NBR 9479 (ABNT, 2006).

Os corpos-de-prova foram rompidos à compressão em uma dada idade especificada, com as tolerâncias de tempo descritas na Tabela 3.4. Em se tratando de corpos-de-prova moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 1994) a idade deve ser contada a partir do momento em que se acrescenta água a mistura.

Tabela 3.4 - Tolerância de tempo para ensaio de compressão em função da idade de ruptura

Tolerância de tempo para o ensaio de compressão	
Idade de ensaio	Tolerância permitida
24 h	± 30 min ou 2,1%
3 d	± 2h ou 2,8%
7 d	± 6h ou 3,6%
28 d	± 20h ou 3,0%
60 d	± 36h ou 2,5%
90 d	± 2d ou 2,2%

Fonte: Adaptada NBR 5738 (ABNT, 1994)

A escala de força escolhida para o ensaio contou com a ruptura do corpo-de-prova com uma carga compreendida no intervalo de 10% a 90% do fundo de escala. A carga de ensaio foi aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento de 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s. Nenhum ajuste foi efetuado nos controles da máquina, enquanto o corpo-de-prova estava se deformando até se aproximar de sua ruptura.

3.2 SEGUNDA ETAPA: VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Na segunda etapa, foi analisada a viabilidade econômica dos aditivos polifuncionais plastificantes a partir do custo unitário do metro cúbico de concreto, analisando exclusivamente os insumos.

O estudo da viabilidade econômica contou somente com os aditivos que garantiram os requisitos mínimos das propriedades do concreto no estado endurecido, isto é, resistência à compressão mínima de 25 MPa.

Os indicadores de custo que compõe o valor real do traço de concreto são: custo de insumos (MCC), variação de estoque, custo do transporte, custo de bombeamento, custo da mão de obra e custo de manutenção de equipamentos. Neste trabalho, foi levantado apenas o custo de insumos (MCC), que representa 75% do custo total de um traço de concreto. (Votorantim Cimentos, 2018)

Desta forma, como foram empregados os mesmos materiais nos três traços de concretos, a diferença entre os MCCs ficou a cargo exclusivamente da variação do custo de cada aditivo utilizado.

Após a análise financeira, por meio de um estudo comparativo foi identificado o traço que apresenta menor custo de produção e consequentemente o mais viável para comercialização e incorporação ao portfólio de traços da Empresa participante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios, assim como suas análises para determinação do abatimento, perda de consistência, incorporação de ar e resistência à compressão.

4.1 RESULTADOS OBTIDOS DURANTE AS DOSAGENS

As dosagens foram realizadas no laboratório da empresa parceira deste estudo e contou com a presença de técnicos e laboratoristas. Os procedimentos foram baseados no itinerário já realizado pela empresa.

A carta traço utilizada está descrita no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Carta traço em volume referente ao traço base

TRAÇO BASE:	CONVENCIONAL C25 B0 SL10+-2		
CARTA TRAÇO - Volume = 1m³			
CATEGORIA	TIPO	QTDE.	UNID.
AGLOMERANTES	CIMENTO CP II F-40	335	Kg.
BRITA	BRITA 0 - TERCEIRO	1075	Kg.
AREIA	AREIA MEDIA	624	Kg.
	AREIA DE BRITA TIPO II	161	Kg.
ADITIVOS	POLIFUNCIONAL	3,01	Kg.
ÁGUA	AGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO	201	Kg.

Fonte: Engemix (2019)

O traço referência foi o primeiro a ser testado e realizado sem a presença de aditivo polifuncional, apenas com cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água. Apesar do valor a/c do traço base ser fixado em 0,6, para o traço referência o objetivo foi descobrir qual a quantidade de água necessária para conseguir obter o abatimento do traço base, estabelecido como S100 (SL10+-2cm).

Quadro 4.2 - Definição em massa do traço referência

Volume Final (kg)	Categoria	Volume em Massa (Kg)	Fator Reajuste	Volume Reajustado (Kg)
	CIMENTO	3,35	3	10,05
	AREIA MEDIA	6,24	3	18,72
	AREIA BRITA	1,61	3	4,83
	BRITA 0	10,75	3	32,25
	ÁGUA	2,01	3	6,03

Fonte: Autoria própria (2019)

O valor inicial de água utilizado na primeira rodada da betoneira, contando com o fator reajuste para obtermos 30 litros de concreto na betoneira, foi de 6,03 Kg. Após a mistura de todo o material o primeiro Slump Test foi realizado e o abatimento encontrado foi de 3,0cm, ou seja, distante do valor mínimo aceitável para os parâmetros pré-estabelecidos.

Em seguida, foi executada a segunda mistura do material com acréscimo de 0,77 Kg. de água e um novo Slump Test realizado, esse agora, com o resultado mais satisfatório de 7,5cm, porém, ainda não atende ao valor inicial solicitado.

Uma terceira dosagem de água foi realizada, com o acréscimo de 0,10 Kg. de água, obtendo de forma satisfatória o abatimento estabelecido no traço base de 10,00 cm.

As condições do ensaio e os valores obtidos estão descritos no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Resumo das atividades de dosagem do traço referência

Traço Referência	Resumo das Atividades			
	Slump Test	Valor Obtido (cm)	Quantidade de Água Adicionada(kg)	Quantidade de Água Total (kg)
	1° Abatimento	3,0	-	6,03
	2° Abatimento	7,5	0,77	6,80
	3° Abatimento	10	0,10	6,90
	Valor Total		0,87	6,90

Fonte: Autoria própria (2019)

Dessa forma, foi necessário acrescentar uma quantidade de 0,87 Kg. (0,87 litros) de água a mais que o estabelecido pela carta traço, para obter um desempenho do concreto no estado fresco, próximo ao realizado por um traço contendo aditivo polifuncional.

Convertendo essa medida para um metro cúbico de concreto, temos um valor equivalente de 230,00 kg de água, ou seja, 29,00 Kg. a mais da carta traço. Ao relacionarmos com um caminhão betoneira de 8 m³ (oito metros cúbicos) esse acréscimo é de 14,42% (232,00 Kg.). Sendo assim, o traço sem presença de aditivo passar a ter uma relação água/cimento de 0,68 conforme Quadro 4.4 e não mais 0,60 como estabelecido no início do estudo.

Quadro 4.4 - Carta traço após alteração do fator a/c por incremento de água

CARTA TRAÇO - Volume = 1m ³ - SEM USO DE ADITIVO			
CATEGORIA	TIPO	QTDE.	UNID.
AGLOMERANTES	CIMENTO CP II F-40	335	Kg.
BRITA	BRITA 0 - TERCEIRO	1075	Kg.
AREIA	AREIA MEDIA	624	Kg.
	AREIA DE BRITA TIPO II	161	Kg.
ÁGUA	AGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO	230	Kg.

Fonte: Autoria própria (2019)

O segundo traço executado contou com a adição de aditivo de polifuncional de base química de lignosulfonato. Para este tipo de aditivo, o fabricante recomenda uma margem aceitável de dosagem, com um parâmetro de 0,6% a 1,0% em relação à massa de cimento.

Nesta dosagem, o fator água cimento (a/c) foi fixado conforme recomendação da carta traço em 0,6 e o aditivo polifuncional a base de lignosulfonato especificado como condição variante. O Quadro 4.5 resume os valores em massa utilizados nesta dosagem.

Quadro 4.5 - Definição em massa do traço com aditivo lignosulfonato

Volume Final (kg)	Categoria	Volume em Massa (Kg)	Fator Reajuste	Volume Reajustado (Kg)
	CIMENTO	3,35	3	10,05
	AREIA MEDIA	6,24	3	18,72
	AREIA BRITA	1,61	3	4,83
	BRITA 0	10,75	3	32,25
	ADITIVO	0,03	3	0,09
	ÁGUA	2,01	3	6,03

Fonte: Autoria própria (2019)

Visando obter um maior grau de rigor na pesagem do aditivo, foi utilizada uma balança de precisão como forma de estabelecer a quantidade mínima e máxima recomendada pelo fabricante, conforme explicitado no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 - Quantidade de dosagem do aditivo lignosulfonato recomendada pelo fabricante

Aditivo Polifuncional:	Base Química: Lignosulfonato	
Dosagem:	0,6% - 1,0%	
Dosagem Mínima (kg)/(g):	0,0603	60,3
Dosagem Máxima (kg)/(g):	0,1005	100,5

Fonte: Autoria própria (2019)

Iniciou-se a mistura dos componentes do concreto, em conformidade com as normas do laboratório. Antes da adição do aditivo polifuncional, foi realizado o primeiro Slump Test com resultado próximo ao apresentado no Traço Referência (TRF), obtendo o valor de abatimento de 2,5cm.

Posteriormente, adicionou-se a mistura a dosagem mínima de aditivo recomendada pelo fabricante, calculada previamente no valor de 60,30 gramas. O segundo Slump Test foi realizado e atingiu o valor de 7,0cm.

A mistura então foi redosada com o acréscimo de 25,125 gramas (0,85% em relação a massa de cimento) e o resultado do terceiro Slump Teste teve como resultado o valor de 8,0cm, o mínimo aceitável para utilização.

Visando obter um melhor desempenho e trabalhabilidade ao concreto desenvolvido, houve uma nova redosagem com o acréscimo de 15,075 gramas. Dessa forma, atingia-se o valor máximo permitido pelo fabricante de 100,50g. O quarto Slum Test foi realizado e o abatimento aferido de 9,5cm, conforme Quadro 4.7.

Quadro 4.7 - Resumo das atividades de dosagem do traço com aditivo lignosulfonato

Traço Aditivo Polifuncional Lignosulfonato	Resumo das Atividades			
	Slump Test	Valor Obtido (cm)	Quantidade de Aditivo Adicionado(kg)	Quantidade de Aditivo Total (kg)
	1° Abatimento	2,5	-	-
	2° Abatimento	7,0	60,3	60,30
	3° Abatimento	8,0	25,125	85,425
	4° Abatimento	9,5	15,075	100,50
	Valor Total		40,20	100,50

Fonte: Autoria própria (2019)

Sendo assim, foi adicionado ao traço 100,5 gramas de aditivo polifuncional a base de lignosulfonato (1,0% da massa de cimento), ficando dentro do parâmetro requisitado pelo fabricante e atingindo o abatimento necessário para atender os critérios de trabalhabilidade do traço referência (TRF).

A terceira e última dosagem foi realizada com os mesmo parâmetros dos traços anteriores, porém, o aditivo polifuncional utilizado com base química policarboxilática.

Diferente do aditivo com base de lignosulfonato, a porcentagem de utilização em relação à massa de cimento é mais flexível e permite uma variação de 0,6% a 1,2%, conforme evidenciado no Quadro 4.8.

Quadro 4.8- Quantidade de dosagem do aditivo policarboxilato recomendada pelo fabricante

Aditivo Polifuncional:	Base Química: Policarboxilato	
Dosagem:	0,6% - 1,2%	
Dosagem Mínima (kg)/(g):	0,0603	60,3
Dosagem Máxima (kg)/(g):	0,1206	120,6

Fonte: Autoria própria (2019)

Porém, não foi preciso utilizar toda essa margem, visto que conseguimos atingir o abatimento necessário de 10,00cm apenas com a quantidade mínima de 60,30 gramas estabelecida pelo fornecedor, Quadro 4.9.

Quadro 4.9 - Resumo das atividades de dosagem do traço com aditivo policarboxilato

Traço Aditivo Polifuncional Policarboxilato	Resumo das Atividades			
	Slump Test	Valor Obtido (cm)	Quantidade de Aditivo Adicionado(kg)	Quantidade de Aditivo Total (kg)
	1° Abatimento	3,0	-	-
	2° Abatimento	10,0	60,3	60,30
	Valor Total		60,30	60,30

Fonte: Autoria própria (2019)

Dessa forma, a parte experimental principal do estudo foi concluída, os demais parâmetros estabelecidos como critérios analíticos, serão discutidos nos próximos tópicos.

4.2 DETERMINAÇÃO DO ABATIMENTO DO CONCRETO

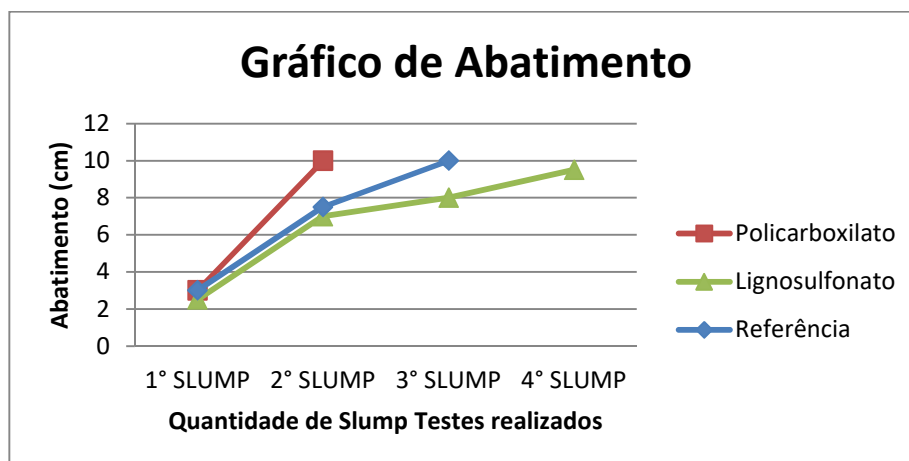
Em relação ao abatimento do concreto, analisando apenas os traços com a presença de aditivo é notável a sensibilidade do aditivo polifuncional a base de policarboxilato em detrimento ao lignosulfonato. Seu poder de ação tem maior potência e necessita de uma quantidade mínima para alcançarmos o abatimento necessário.

Já o aditivo com base química de lignosulfonato, apresenta uma maior dificuldade em elevar a trabalhabilidade do concreto, porém, quando utilizado em escala industrial, pode se tornar uma vantagem. Fracalossi (2011) defende que os lignosulfonatos são os aditivos mais utilizados em centrais dosadoras de concreto. Pois para um determinado abatimento, utilizando até elevadas dosagens de polifuncionais, obtém-se menores teores de água sem ter grandes consequências para os tempos de pega.

Além disso, os aditivos polifuncionais com lignosulfonato são utilizados de diversas maneiras no concreto, podendo ser empregados para diferentes funções, como aumentar a trabalhabilidade, mantendo o consumo de água; podem manter a trabalhabilidade e a resistência, reduzindo a quantidade de cimento, o que gera a redução de custo do concreto; ou pode reduzir a quantidade de água, aumentando a resistência e durabilidade do concreto (Hartmann, 2002).

O Gráfico 4.1 evidencia a variação do abatimento de modo que, enquanto em apenas uma dosagem o aditivo policarboxilato atinge o patamar considerado ideal do abatimento, fixado em 10,00 cm, o aditivo com lignosulfonato necessita de pequenas dosagens para alcançar o mesmo parâmetro.

Gráfico 4.1 - Variação do abatimento nos três traços experimentados



Fonte: Autoria própria (2019)

4.3 DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CONSISTÊNCIA

Segundo Neville (2016) a perda de abatimento ou perda de consistência é a capacidade do concreto no estado fresco em demonstrar a manutenção da trabalhabilidade ao longo do tempo, característica importante para a indústria do concreto, em função da demanda de tempo dos processos de transporte e descarga nos canteiros de obra.

Os ensaios de Perda de Consistência em laboratório foram realizados em duas dosagens distintas, sendo uma com aditivo a base de lignosulfonato e outra com aditivo a base de policarboxilato. Ambas foram determinadas a partir de um fator água cimento igual a 0,60, e resistência característica à compressão igual a 25,0 MPa.

Os ensaios foram realizados conforme os prescritos pela NBR 10342 'Concreto _ Perda de Abatimento' (ABNT, 1992), que prevê medições de consistência no slump a cada 15 minutos, conforme explicitado no Quadro 4.10.

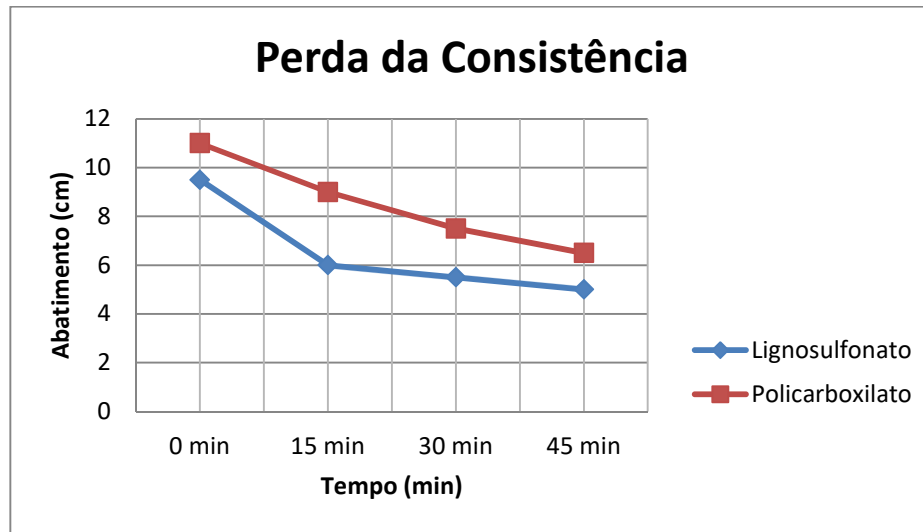
Quadro 4.10 - Resultados obtidos no ensaio de perda de consistência

Traço Aditivo Polifuncional Lignosulfonato	Perda de Consistência (cm)			
	0 min	15 min	30 min	45 min
	9,5	6	5,5	5
	Variação Total (cm)			4,5
Traço Aditivo Polifuncional Policarboxilato	Perda de Consistência (cm)			
	0 min	15 min	30 min	45 min
	11	9	7,5	6,5
	Variação Total (cm)			4,5

Fonte: Autoria própria (2019)

A variação total de ambos os ensaios obtiveram o mesmo resultado com diferença do primeiro para a última aferição de abatimento em 4,50cm. Porém, ao analisarmos a perda de consistência gradual, ou seja, a cada 15 minutos de duração do ensaio, é visível que o traço com aditivo a base de policarboxilato, apresenta uma variação mais uniforme em relação ao traço com lignosulfonato.

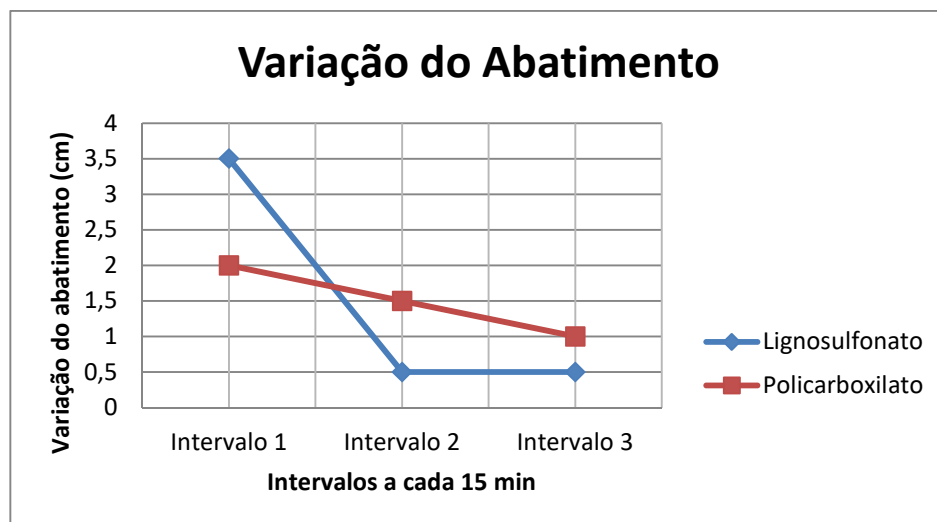
Gráfico 4.2 - Comparativo de resultados do ensaio de perda de consistência



Fonte: Autoria própria (2019)

Por meio da análise individual de cada intervalo, percebe-se com clareza uma alta variabilidade nos primeiros 15 minutos do ensaio do traço com lignosulfonato e em seguida uma tendência à estabilização. Já o traço com policarboxilato, observa-se uma tendência exponencial de variação da consistência, conforme o Gráfico 4.3..

Gráfico 4.3 - Variação do abatimento durante teste de perda de consistência



Fonte: Autoria própria (2019)

De certo modo, conhecer o comportamento de oscilação do abatimento é importante para a produção de concretos em grande escala, pois assim, podem ser realizadas ações preventivas tanto na dosagem inicial, quanto na dosagem em obra.

4.4 DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE AR INCORPORADO

O controle de ar é fundamental para a qualidade e controle tecnológico do concreto, pois, além de verificar os limites máximos e mínimos desejáveis, identifica o teor de vazios presente na mistura.

No Brasil, os procedimentos para determinação do teor de ar do concreto fresco pelo método gravimétrico são descritos na NBR 9833 (ABNT, 2008) e pelo Método pressométrico pela NBR NM 47 (ABNT, 2003).

Neste estudo, foi aferido o teor de ar incorporado nos três traços ensaiados, por meio do método pressométrico, conforme resultados encontrados no Quadro 4.11.

Quadro 4.11 - Teor de ar incorporado e temperatura do concreto durante os ensaios

Teor de Ar Incorporado (%)		
Traço	Teor Ar Incorporado (%)	Temperatura Concreto (°C)
Referência	2,50%	32,10
Lignosulfonato	7,50%	31,70
Policarboxilato	3,20%	30,60

Fonte: Autoria própria (2019)

O elevado teor de ar incorporado no traço com a presença de aditivo a base de lignosulfonato, deve-se ao maior teor de aditivo incorporado ao traço para atingir o abatimento especificado de classe S100.

4.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NAS IDADES DE 3, 7 E 28 DIAS

O Quadro 4.12 apresenta os resultados de resistência mecânica, ensaios de compressão dos concretos em função da base química do aditivo adicionado. Além disso, apresenta a média dos valores obtidos nos resultados dos 4 corpos de prova de cada idade em cada caso.

Os resultados que estão com a fonte na cor vermelha, foram expurgados da média dos quatro corpos de prova totais, pois não atendem ao item 3.6.3 – Desvio relativo máximo da NBR 7215 (ABNT, 1996). Ambos apresentaram desvio relativo máximo superior a 6,0%, não satisfazendo aos critérios normativos. Sendo assim, a nova média eliminou os valores discrepantes.

Outro dado que integra o Quadro 4.12 são os valores de resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}). É importante ressaltar que esse indicador leva em consideração às condições de variabilidade prevalentes durante a execução e lançamento do concreto. Segundo a NBR 12655 (ABNT, ANO) esta variabilidade leva em consideração o desvio padrão no cálculo de resistência, por meio da Equação I. Neste estudo, considerou-se a condição de preparo do concreto no nível A, resultando em um desvio padrão de 4,0MPa.

$$f = f - 1,65 * S \quad \text{Equação I}$$

Em que:

f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão, em megapascals;

f_{cj} é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, em megapascals;

s_d é o desvio-padrão da dosagem, em megapascals.

Quadro 4.12 - Valores individuais das resistências à compressão e média dos resultados

Valores individuais das Resistências à Compressão - MPa					
Máquina EMIC (LABORATÓRIO ENGEMIX)					
NBR 5739:2007/ASTM 469:2002					
Estudo de Aditivos Polifuncionais			Resistência à compressão (Mpa)		
Situação	Produção	Nº do corpo-de-prova	Idade (dias)		
			3	7	28
TRAÇO REFERÊNCIA	Sem uso de aditivo	1	21,04	23,80	27,69
		2	20,50	23,66	28,42
		3	20,54	25,42	27,39
		4	21,28	23,58	27,02
		Média (MPa)	20,84	24,12	27,63
		Fck (Mpa)	14,24	17,52	21,03
		<i>Desvio Padrão (MPa)</i>	0,38	0,87	0,6
		<i>Mínimo (Mpa)</i>	20,50	23,58	27,0
		<i>Máximo (Mpa)</i>	21,28	25,42	28,4
		<i>Coef. Var (%)</i>	1,84	3,63	2,1
TRAÇOS ADITIVADOS	Lignosulfonato	1	29,60	33,90	40,00
		2	31,67	33,12	38,92
		3	30,02	34,88	39,18
		4	30,37	34,27	39,57
		Média (MPa)	30,42	34,04	39,4
		Fck (Mpa)	23,82	27,44	32,82
		<i>Desvio Padrão (MPa)</i>	0,89	0,74	0,5
		<i>Mínimo (Mpa)</i>	29,60	33,12	38,9
		<i>Máximo (Mpa)</i>	31,67	34,88	40,0
		<i>Coef. Var (%)</i>	2,94	2,16	1,2
	Policarboxilato	1	36,88	42,42	50,00
		2	36,00	42,22	45,14
		3	34,81	41,24	43,60
		4	32,83	43,77	46,62
		Média (MPa)	35,13	42,41	46,34
		Fck (Mpa)	28,53	35,81	39,74
		<i>Desvio Padrão (MPa)</i>	1,75	1,04	2,73
		<i>Mínimo (Mpa)</i>	32,83	41,24	43,60
		<i>Máximo (Mpa)</i>	36,88	43,77	50,00
		<i>Coef. Var (%)</i>	4,99	2,46	5,90

Fonte: Autoria própria (2019)

Ao analisar os resultados observando os traços aditivados *versus* o traço referência, visualizamos que apenas o traço sem aditivo não alcançou o parâmetro do traço base de 25 MPa, nas idades de 3 e 14 dias, atingindo apenas aos 28 dias.

Já o traço com lignosulfonato, se comparado com a resistência mecânica de especificada, de 25 MPa, com 3 dias ficou 21,68% a cima desse valor, 36,16% superior na idade de 14 dias e 57,60% ao final dos 28 dias de ensaio.

O traço com policarboxilato, também se mostrou bem superior e apresentou a incrível marca de 40,40% logo na primeira idade escolhida para esse estudo, 3 dias. Com 14 dias já se apresentavam 69,64% superior ao traço base e 85,36% com 28 dias. Dessa forma, o traço com aditivo policarboxilato demonstrou uma superioridade tanto em desempenho com elevados números de resistência mecânica à compressão, tanto em relação a sua variação total, com 11 pontos percentuais superiores ao traço com lignosulfonato, conforme Quadro 4.13.

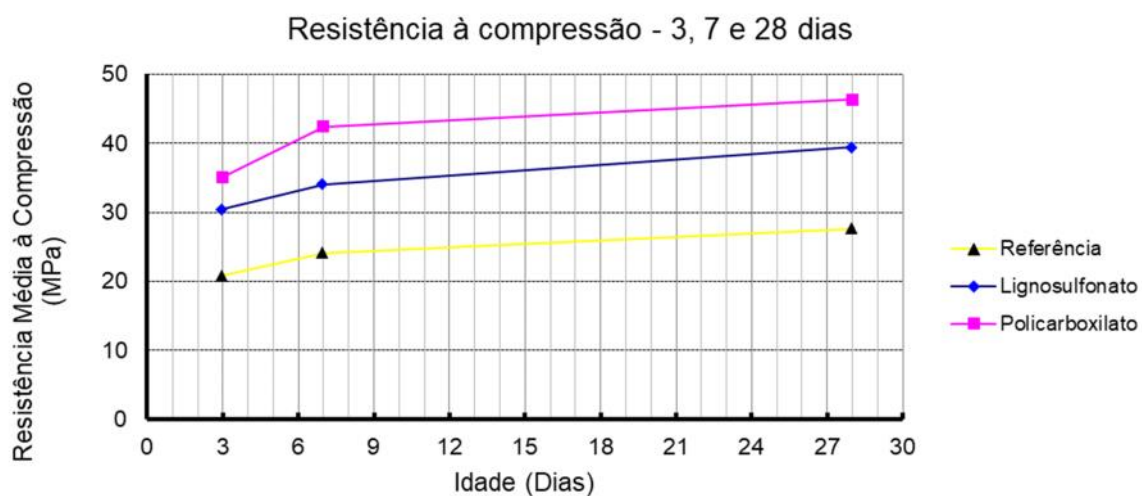
Quadro 4.13 - Comparativo de superioridade dos traços aditivados em relação ao traço referência

Comparativo de superioridade em relação a Resistência à Compressão do Traço Base - 25 Mpa		
LIGNOSULFONATO		
3 dias	7 dias	28 dias
21,68%	36,16%	57,60%
Variação Total		35,92%
Variação Parcial (De 3 para 7 dias)		14,48%
Variação Parcial (De 7 para 28 dias)		21,44%
POLICARBOXILATO		
3 dias	7 dias	28 dias
40,40%	69,64%	85,36%
Variação Total		44,96%
Variação Parcial (De 3 para 7 dias)		29,24%
Variação Parcial (De 7 para 28 dias)		15,72%

Fonte: Autoria própria (2019)

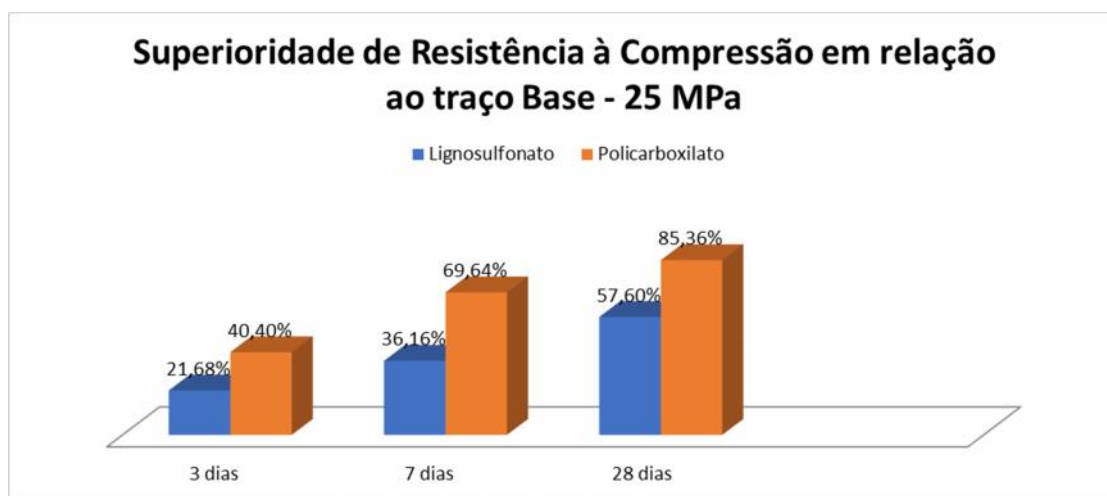
Outra análise que merece destaque é o comportamento nas primeiras idades, a qual o aditivo com policarboxilato apresenta uma maior variação, ou seja, uma superioridade de desempenho de 14,76%. Enquanto, próximo aos 28 dias, é o aditivo com lignosulfonato que apresenta um ganho de resistência maior se comparado com o outro traço, conforme visualizamos nos Gráficos 4.4 e 4.5.

Gráfico 4.4 - Resultados do teste de resistência à compressão – 3, 7 e 28 dias



Fonte: Autoria própria (2019)

Gráfico 4.5 - Superioridade de resistência à compressão dos traços aditivados em relação ao traço base



Fonte: Autoria própria (2019)

Além disso, a vantagem do traço com policarboxilato em comparação ao traço com aditivo lignosulfonato é notável numericamente. Nas idades de 3 dias e 28 dias, houve um ganho de desempenho em relação à resistência a compressão de 15,48% e 17,62%, respectivamente. Enquanto que aos 7 dias houve um pico no ganho de resistência, conforme Quadro 4.14.

Quadro 4.14 - Comparativo de superioridade entre os traços aditivados – lignosulfonato x policarboxilato

Comparativo de superioridade dos traços aditivados		
Resistência à Compressão		
LIGNOSULFONATO X POLICARBOXILATO		
3 dias	7 dias	28 dias
15,48%	24,59%	17,62%
Variação Média Total		19,23%
Variação Parcial (De 3 para 7 dias)		9,11%
Variação Parcial (De 7 para 28 dias)		-6,97%

Fonte: Autoria própria (2019)

Desse modo, conclui-se que há um ganho médio de 19,23% do traço com aditivo policarboxilato comparado ao traço com aditivo lignosulfonato, ao longo dos 28 dias de ensaio e que nos últimos 14 dias de ensaio essa vantagem prevalece, porém, reduz em 6,97% essa vantagem.

4.6 DETERMINAÇÃO DA MARGEM DE CUSTO POR INSUMOS (MCC)

A determinação da Margem de Contribuição de Custo (MCC) levou em consideração apenas o valor dos insumos. Os dados foram repassados pela empresa parceira desse trabalho e estão atualizados conforme a presente data do 2º Semestre do ano de 2019.

Segundo Tartuce (1989), o custo do concreto produzido em uma central, está diretamente ligado ao custo da matéria-prima (insumo), principalmente no caso específico do cimento, que chega a representar em média mais de 50% do custo total do concreto.

Para esse estudo, o custo de dosagem será influenciado pelo tipo de aditivo e o teor de adição em relação à massa de cimento. Em relação aos aditivos, o lignosulfonato apresentou um custo significativamente menor que o policarboxilato, quando analisado o custo total do traço em R\$/m³ (reais/metro cúbico), sendo este último o que apresentou mais custo de dosagem, devido principalmente ao alto preço do aditivo em R\$/Kg (reais/quilo), conforme os Quadros 4.15 e 4.16.

Quadro 4.15 Custo por metro cúbico – Traço com lignosulfonato

Preço por m ³ de concreto C25			
Material (Kg)	Consumo/m ³	Preço Unitário	Preço Total
Cimento	335,00	R\$ 0,38	R\$ 127,30
Areia Média	624,00	R\$ 0,05	R\$ 31,20
Areia Brita	161,00	R\$ 0,05	R\$ 8,05
Brita	1.075,00	R\$ 0,06	R\$ 64,50
Aditivo Lignosulfonato*	3,35	R\$ 1,60	R\$ 5,36
Valor Total		R\$ 2,14	R\$ 236,41
* Aditivo com Lignosulfonato - Valor utilizado em dosagem = 1,0% da massa de cimento			

Fonte: Autoria própria (2019)

Quadro 4.16 - Custo por metro cúbico – Traço com policarboxilato

Preço por m³ de concreto C25			
Material (Kg)	Consumo/m³	Preço Unitário	Preço Total
Cimento	335,00	R\$ 0,38	R\$ 127,30
Areia Média	624,00	R\$ 0,05	R\$ 31,20
Areia Brita	161,00	R\$ 0,05	R\$ 8,05
Brita	1.075,00	R\$ 0,06	R\$ 64,50
Aditivo Policarboxilato*	2,01	R\$ 8,00	R\$ 16,08
Valor Total		R\$ 8,54	R\$ 247,13
* Aditivo com Policarboxilato - Valor utilizado em dosagem = 0,6% da massa de cimento			

Fonte: Autoria própria (2019)

A outra análise realizada é em relação ao valor em reais que cada MPa gera de ganho e contribuição ao concreto, ou seja, constatar que a tecnologia investida trouxe algum retorno para o traço analisado de modo a manter ou melhorar as suas características.

Para o concreto no estado endurecido, a característica selecionada para relacionar ao custo foi à resistência à compressão. Conforme informado no Quadro 4.13, o aditivo a base de policarboxilato apresentou um melhor desempenho, chegando a uma resistência média 85,36% maior que a resistência desejada de 25 MPa.

Quando analisado o custo por idade, aos 28 dias, o aditivo policarboxilato, apresentou uma economia de 12,57% em relação ao concreto com lignosulfonato. Além de se tornar mais viável economicamente, o traço com aditivo policarboxilato consequentemente apresenta maior durabilidade.

Ao compararmos com as outras duas idades selecionadas, 3 e 7 dias, confirma-se a rentabilidade do traço com policarboxilato em relação ao lignosulfonato, de modo que há um ganho em eficiência em relação à resistência e uma economia de capital da ordem de 10,37% em 3 dias e aos 7 dias, 19,21%, conforme os Quadros 4.17 e 4.18.

Quadro 4.17 - Custo desempenho do traço com lignosulfonato

Custo Lignosulfonato em MPa / R\$		
Idades		
3 Dias	7 Dias	28 Dias
Resistência Média à Compressão (MPa)		
30,42	34,04	39,4
Valor Total R\$/m³		
R\$ 236,41	R\$ 236,41	R\$ 236,41
Valor MPa / R\$		
R\$ 7,77	R\$ 6,95	R\$ 6,00

Fonte: Autoria própria (2019)

Quadro 4.18 - Custo desempenho do traço com policarboxilato

Custo Policarboxilato em MPa / R\$		
Idades		
3 Dias	7 Dias	28 Dias
Resistência Média à Compressão (MPa)		
35,1	42,41	46,34
Valor Total R\$/m³		
R\$ 247,13	R\$ 247,13	R\$ 247,13
Valor MPa / R\$		
R\$ 7,04	R\$ 5,83	R\$ 5,33

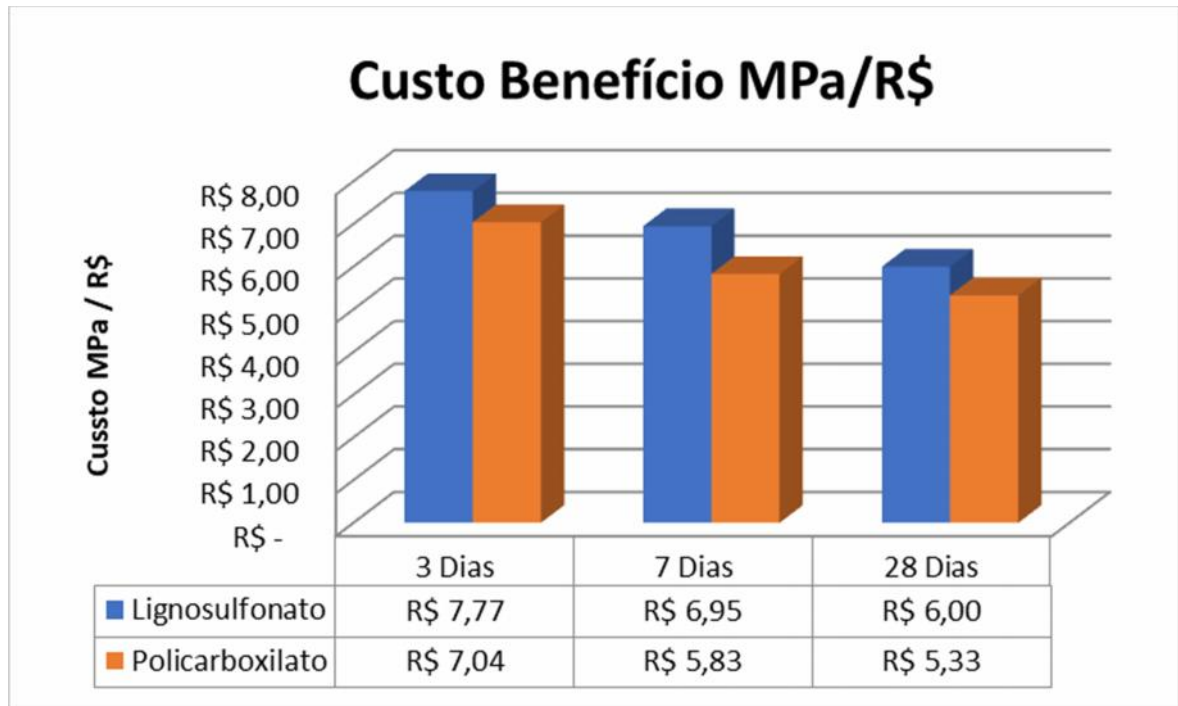
Fonte: Autoria própria (2019)

Segundo Collepardi (1984) e Mehta e Monteiro (2006), os aditivos polifuncionais com funções plastificantes e redutores de água podem ser empregados em concreto visando três objetivos distintos: economizar o cimento, aumentar a fluidez, aumentar a resistência.

Na maioria dos casos, os aditivos não representam um custo adicional, pois sua utilização resulta em economia, como redução do custo do trabalho para adensamento, redução do teor de cimento, aumento da durabilidade. São formas de economizar que, com ajustes no traço após a implantação de aditivos.

Sendo assim, o custo benefício verificado em MPa/R\$ (Resistência/Reais) demonstra que o aditivo a base de policarboxilato possui um ganho satisfatório em desempenho, principalmente, quando analisado em relação ao seu custo benefício de produção, pois a cada 1 MPa produzido de concreto com aditivo policarboxilato são gastos R\$5,33 reais, conforme Gráfico 4.6.

Gráfico 4.6 – Comparativo custo benefício entre os traços aditivados



Fonte: Autoria própria (2019)

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi avaliado o desempenho de duas bases químicas distintas de aditivos polifuncionais, lignosulfonato e policarboxilato, em traços de concreto classe C25 e classe S100. Foram avaliadas as características do concreto no estado fresco e no estado endurecido. Todos os ensaios realizados obtiveram resultados coerentes e possibilitaram a avaliação de aditivos de forma técnica e econômica.

Foi verificada em cada traço a capacidade em atingir o abatimento de classe S100. Tanto o aditivo a base de lignosulfonato, quanto o aditivo com policarboxilato alcançaram o objetivo especificado na carta traço e os limites determinados pelo fabricante. Porém, o teor adicionado em cada traço divergiu, de modo que, o concreto dosado com a base química de lignosulfonato contou com 1,0% da massa cimentícia e para o aditivo policarboxilático foi utilizado apenas 0,6% da massa de cimento.

Outro fator importante para o fechamento deste estudo é a perda de abatimento ou consistência do concreto, principalmente em traços produzidos em centrais dosadoras por sua produção e logística. Apesar de ambos apresentarem a mesma variação de perda de abatimento, 4,5 cm em 45 minutos de teste, o aditivo com policarboxilato apresentou uma perda mais uniforme e sem grandes variações. Ou seja, há maior possibilidade de regularizar e acompanhar a ocorrência desse fenômeno sem afetar a qualidade do concreto produzido. Enquanto o traço com lignosulfonato apresentou uma perda de abatimento brusca nos primeiro intervalo do teste e tendeu a manter-se uniforme.

Na análise do estado endurecido do concreto, a verificação da propriedade mecânica nas idades 3, 7, e 28 dias, apresentou valores consistentes em que possa ser afirmada a superioridade do desempenho do aditivo policarboxilato em relação ao aditivo com lignosulfonato, em média cerca de 20%. Ao analisar os resultados da idade específica de 28 dias entre os dois traços aditivados, o aditivo conhecido como terceira geração mostrou um ganho de 17,62% na resistência à compressão.

De certo modo, todos os resultados do concreto no estado fresco e no estado endurecido se mostraram satisfatórios, porém, ao verificar a relação custo-benefício do uso dos aditivos polifuncionais através da margem de contribuição de custo (MCC), exclusivamente dos insumos, confrontado com os resultados de desempenho mecânico, podemos concluir que:

-) O aditivo com base química de lignosulfonato apresenta o menor custo de produção relacionando R\$/m³ (reais por metro cúbico), mesmo com o teor de aditivo adicionado ao traço de concreto superior ao outro traço.;
-) Enquanto que o concreto com base química de policarboxilato apresenta a melhor relação custo benefício quando analisado os parâmetros técnicos (resistência à compressão, MPa) e econômico (reais, R\$), tornando seu uso superior ao traço com lignosulfonato em 12,57%.

A análise de todas as variáveis envolvidas no processo é importante para buscar cada vez mais a excelência técnica e econômica da dosagem dos traços, de forma que, a qualidade das características do concreto seja sempre alcançada para garantir ao usuário segurança e conforto.

Portanto, pode se afirmar que a utilização da base química policarboxilato em aditivos polifuncionais com classe C25 e classe S100 é satisfatória. O uso destas análises em outros traços com características superiores ao especificado, podem servir como base referencial, porém, devem ser testados como forma de segurança.

6 SUGESTÃO PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

Buscando manter o incentivo a pesquisa e a novos conhecimentos, é fundamental que trabalhos como este sejam estendidos para que conclusões mais assertivas e completas possam enriquecer o cenário da construção civil e contribuir com a melhoria dos processos de produção.

Sendo assim, para futuros trabalhos é interessante a investigação da quantidade de cimento em massa que pode ser reduzido deste traço de forma que, os resultados mecânicos possam ficar mais próximos do estabelecido na carta traço, C25 (25 MPa) e garantindo a trabalhabilidade na classe S100.

Além disso, avaliar o impacto da redução de cimento no custo final deste traço nos dois parâmetros apresentados, R\$/m³ e MPa/R\$, para que através da redução em massa de cimento de cada traço, seja verificado se há coerência e regularidade com os resultados já apresentados neste estudo.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5732:** Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5735:** Cimento Portland de Alto Forno. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5736:** Cimento Portland Pozolânico – Especificações. Rio de Janeiro, 1999.

_____. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro, 2015.

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

_____. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7211:** Agregados para Concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **NBR 7215:** Cimento Portland: Resistência a Compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7680:** Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2015.

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

_____. **NBR 9479:** Argamassa e concreto – Câmaras úmidas e tanque para cura de corpo de prova. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 9833:** Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento, do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9935:** Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 11578:** Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1991.

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

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

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

_____. **NBR NM 67:** Ensaio de Abatimento de Concreto – Slump Test. Rio de Janeiro, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 125-93**: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. 1993.

_____. **ASTM C 403-08**: Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance. 2008.

_____. **ACI 212.3R-91**: Chemical admixtures for concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Materials and general properties of concrete. Farmington Hills, Michigan, 1996. 31 p.

AITCIN, P.C. e BARON, J. **Lês adjuvants normalisés pour béton. In: Les Bétons, Bases et données pour leur formulation**, Paris, Éditions Eyrolles, 1996, 522p.

AITCIN, P. C., FLATT, J. R., **Science and Technology of Concrete admixtures**. Cambridge, Woodhead Publishing, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO (IBI). **Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central**. 1.ed. São Paulo, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2012. 28p. (BT-106).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL (ABESC). Manual concreto dosado em central. São Paulo, Abril, 2007. Disponível em: <www.abesc.org.br/pdf/manual.pdf>. Acessado em: 25 de maio de 2019.

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

BATTAGIN, A.F. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: <[http:// www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/historia.shtml](http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/historia.shtml)> . Acessado em: 03 mai. 2019.

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

FRACALOSSI, A. R. G. **Aditivos de base policarboxilatos: influência nos tempos de pega e na manutenção do abatimento em pastas de cimento Portland**. 70f. Trabalho de diplomação, Engenharia Civil, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FURNAS, B. **Concreto massa, estrutural, projetado e compactado com rolo - Ensaios e propriedades**. São Paulo, PINI, 1997.

HARTMANN, C. T. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HARTMANN, C. T.; HELENE, P. R. L. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos**. Artigo publicado, Boletim Técnico Escola Politécnica Usp, 2003.

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

_____. HELENE, P.; Andrade T.; Concreto De Cimento Portland; ISAIA, G. E. ED., In: **Materiais De Construção Civil E Princípios De Ciência E Engenharia De Materiais**. Vol. 2, São Paulo; IBRACON, 2007.

MARTIN, J. F. M. **Aditivos para Concreto**. In: ISAIA, G. C(Ed). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 381-397. v. 1.

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

_____. MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª Edição, São Paulo, IBRACON, 2008.

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

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Trad. Ruy Alberto Cremonini. 2a ed. Porto Alegre, Bookman, 2013.

_____. NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2.ed. São Paulo: Ed. Pini, 1997.

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

ODLER, I. **Hydration, setting and hardening of Portland cement**. In: Lea's chemistry of cement and concrete. 4th ed. New York: Ed. Peter C. Hewlett, 1998, p.241-271.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. Ed. São Paulo. Globo, 1998.

PRIOR, M.E. and ADAMNS, A.B. - **Introduction to producer's papers on water-reducing admixtures and self retarding admixtures for concrete**, ASTM Sp. Tech. Publ. No. 266, pp.170-9 (1960).

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de construção civil**. Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2002. 102p.

RIXOM, M. R.; MAILVAGANAM, N. P. **Chemical admixtures for concrete**. 2nd. Ed. New York: E & F. N. Spon, 2001.

RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, 2000.

SMITH, William F.; HASHEMI, Javad. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais**. AMGH Editora, 2013.

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

TÉCHNE, Revista. São Paulo, ed. PINI, n. 63, p. 36-43, junho, 2002.

WEIDMANN, D. F.; OLIVEIRA, A.L.; SOUZA, J.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; BIANCHINI, M. Avaliação do desempenho de aditivos redutores de água para o uso em centrais de concreto: estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 49., Bento /Gonçalves. Anais ... São Paulo: IBRACON, 2007. P. 2-4.

ZHANG, M. SISOMPHON, K. SIONG, T. SUN, DAO JUN. **Effect of superplasticizers on workability retention and initial setting time of cement pastes.** Construction and building materials. n. 24. 2010.