

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LAÍS REGINA DOS SANTOS

**ADIÇÃO DE CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO  
FINOS NO CONCRETO AUTOADENSÁVEL: ESTUDO DO ATAQUE  
POR SULFATOS**

CAMPO MOURÃO

2019

LAÍS REGINA DOS SANTOS

**ADIÇÃO DE CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO  
FINOS NO CONCRETO AUTOADENSÁVEL: ESTUDO DO ATAQUE  
POR SULFATOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Dr. Paula Cristina de Souza

Co-orientador: Prof. Me. Paulo Henrique Rodrigues

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação  
 Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
 Câmpus Campo Mourão  
 Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
 Departamento Acadêmico de Construção Civil  
 Coordenação de Engenharia Civil



## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

# ADIÇÃO DE CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO FINOS NO CONCRETO AUTOADENSÁVEL: ESTUDO DO ATAQUE POR SULFATOS

por

**Lais Regina dos Santos**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10h20min do dia 19 de junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Ana Raíza Ciscoto Yoshioka**

( UTFPR )

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Goia Rosa de  
 Oliveira**

( UTFPR )

**Prof. Me. Paulo Henrique Rodrigues**

(( INTEGRADO ))

**Co-orientador**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Paula Cristina de Souza**

(UTFPR)

**Orientador**

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr(a). Paula Cristina de Souza**

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

## AGRADECIMENTOS

Enfim encerra-se mais uma etapa de minha vida. Me considero privilegiada por não estar sozinha em momento algum. Gratidão é a palavra! A Deus, em primeiro lugar, pelo dom da vida. Agradeço por ter sustentado e alimentado meus sonhos, me confortado nos momentos mais difíceis e jamais deixar de demonstrar seu amor incondicional em todos os momentos de minha vida.

À toda a minha família, em especial a meus pais, Angela e Marcelino, meu sustento e meu refúgio. Sempre priorizando a educação de seus filhos, batalharam ao meu lado para que eu alcançasse esse título. Me orgulho em dizer que sou fruto da união de vocês, por todo o amor dedicado a mim e, principalmente, por sempre me colocarem nos caminhos de Deus. A meu irmão, Lucas, e minha irmã de coração, Camila, por todo o carinho, atenção e preocupação. À minha prima, Bruna, que foi a primeira a me acolher em Campo Mourão, me orientou na faculdade e me inspirou muita força e dedicação. O amor de família é imprescindível para manter equilíbrio e sanidade mental em um curso de exatas.

A todos os meus amigos, sem citar para que nenhuma injustiça seja cometida. Aos amigos de infância, de faculdade e do intercâmbio. Às meninas que dividiram moradia comigo, da rep Per e rep Humilde. Àqueles que se tornaram especiais por mostrarem que tempo não é limitador na demonstração de afetividade – “Para frente e para o alto?!”. Também a todos que de alguma forma me auxiliaram não somente com conhecimentos técnicos, mas que dividiram comigo boas risadas, conversas e histórias. É aquele velho ditado, amigo é para essas coisas, indefinidas coisas, para tudo e para qualquer situação.

À minha orientadora, Paula, que me proporcionou inúmeras oportunidades de enriquecimento curricular, desde o início ao fim da faculdade. Sempre esteve disposta a me auxiliar e demonstrou-se favorável e entusiasmada com minha evolução profissional, exercendo papel de educadora, orientadora, amiga e muitas vezes mãe. Além disso, nos momentos de lazer nunca nos faltou um bom churrasco, boas risadas (a mais engraçada, diga-se de passagem) e jogadas de truco. Sempre serei grata por este carinho e preocupação. Você é um ser humano excepcional.

Agradeço à IES, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, a todo o corpo docente e aos funcionários que não hesitaram em transmitir conhecimentos, se puseram favorável a tudo o que diz respeito à formação acadêmica dos discentes, tornando a Universidade uma instituição de qualidade e referência. Em especial, professor Jorge, tutor do PET, pelo exemplo de amor à profissão de educador, sempre direcionando os alunos a buscar novos

horizontes. Ao técnico laboratorial, Fábio, pela força de vontade em ajudar os discentes nas pesquisas.

Por fim, porém não menos importante, às empresas envolvidas que disponibilizaram materiais para este trabalho. Posso assim citar a Coopcana, Comercial Ivaiporã e Concretos Itaipu.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

Nos últimos anos, o Brasil tem se tornado o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool etílico. Como subproduto dessa indústria, é gerada a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, resultado do processo de geração de energia através da queima do bagaço da cana-de-açúcar. Ainda sem destino adequado, pesquisadores buscam por melhores formas de aproveitamento para solucionar a problemática da destinação do subproduto em questão. Pesquisas na área de tecnologias da construção civil surgiram em contribuição a este tema, sugerindo a incorporação da cinza do bagaço da cana em concretos. O Concreto Autoadensável também foi alvo de estudo nas pesquisas desse gênero, uma vez que a propagação das suas vantagens de utilização tem se tornado cada vez maior nos países desenvolvidos. A partir do surgimento de um novo conceito de tecnologia, “a incorporação da cinza do bagaço da cana no Concreto Autoadensável”, nasce a necessidade de controle de qualidade, desempenho, durabilidade e vida útil. No que diz respeito à durabilidade, consideram-se os agentes químicos internos e externos como os responsáveis pela degradação do concreto. Agentes químicos externos podem encontrar-se concentrados em solução aquosa, como é o caso dos sais de sulfato. Frente a essas premissas, traçou-se como objetivo principal desta pesquisa a avaliação do Concreto Autoadensável quanto à resistência ao ataque por sulfatos, quando substituído parcialmente o Cimento Portland composto por cinza do bagaço da cana. Os traços utilizados nesta pesquisa seguiram os parâmetros já estabelecidos e estudados por Molin Filho (2012), uma vez que os dados gerados no trabalho do autor foram comparados aos dados obtidos neste trabalho e servidos como base. Em resposta, a propriedade mecânica de resistência à compressão cumpriu as expectativas propostas pelo autor recentemente citado. Confirmada a compatibilidade das propriedades e a sanidade dos corpos de prova produzidos neste trabalho, seguiu-se para a análise de absorção de água e o comportamento frente ao ataque de sulfatos. Concluiu-se que, no primeiro ensaio, o traço contendo cinza do bagaço da cana apresentou uma situação mais crítica, porém dentro dos padrões considerados melhores, no que diz respeito à qualidade e durabilidade do concreto. Já no segundo ensaio, pôde-se concluir que o índice de redução da resistência à compressão de concretos imersos em solução contendo sulfatos, quando comparados, apresentaram comportamentos semelhantes. De forma geral, os resultados obtidos foram positivos, já que, apesar da incorporação do material não contribuir para evitar a agressão química, a mesma não prejudica de forma a ser considerada. Além do mais, os benefícios ambientais e econômicos inerentes à incorporação tornam essa tecnologia vantajosa.

**Palavras-chave:** Cinza do Bagaço da Cana. Concreto Auto Adensável. Durabilidade. Sulfatos

## ABSTRACT

Over the past few years, Brazil has become the world's largest producer of sugarcane, sugar and ethyl alcohol. As a by-product of this industry, sugarcane bagasse ash is generated, resulting from the process of generating energy through the burning of sugarcane bagasse. Still without an adequate destination, researchers are seeking to better ways of harnessing to solve the problem of the destination of the by-product in issue. Research in the field of construction technologies arised in contribution to this topic, suggesting the incorporation of sugarcane bagasse ash into concretes. Self-Compacting Concrete has also been studied in research of this genre, given that the spread of its advantages of use has become increasingly large in developed countries. From the emergence of a new concept of technology, “the incorporation of sugarcane bagasse ash into Self-Compacting Concrete”, come out the need for quality control, performance, durability and shelf life. In terms of durability, internal and external chemical agents are considered as the responsible for the degradation of the concrete. External chemical agents may be concentrated in aqueous solution, as the case with sulphate salts. In view of these premises, the main objective of this research was the evaluation of the Self-Compacting Concrete regarding the resistance to the attack by sulfates when partially replaced the Portland Cement by the sugarcane bagasse ash. The mixes used in this research followed the parameters already established and studied by Molin Filho (2012), since the data generated in the author's work were compared to the data obtained in this study and served as basis. In response, the mechanical property of compressive strength reach the expectations proposed by the author. Confirmed the compatibility of the properties and sanity of the specimens produced in this work, it was proceeded for the analysis of water absorption and the behavior against the attack of sulfates. It was concluded that, in the first test, the mix containing sugarcane bagasse ash presented a more critical situation, but within the standards considered the best in respect of the quality and durability of the concrete. In the second test, it can be concluded that the rate of reduction of the compressive strength of concrete immersed in solution containing sulfates, when compared, presented similar behavior. In general, the results obtained were positive, since, although the incorporation of the material did not contribute to avoid the chemical aggression, it does not prejudice in a way to be considered. Moreover, the environmental and economic benefits inherent in the incorporation make this technology advantageous.

**Keywords:** Sugarcane Bagasse Ash. Self-Compacting Concrete. Durability. Sulfates



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Deposição de material de eflorescência contendo sulfato na fundação de concreto exposta de uma residência .....	25
Figura 2- Cinza do bagaço da cana após secagem e peneiramento .....	28
Figura 3 - Especificações do Superplastificante CQ Flow .....	29
Figura 4- Caracterização da Brita utilizada por Molin Filho (2012).....	30
Figura 5- Informações sobre o filer calcário calcítico .....	33
Figura 6 - Peneiramento do filer.....	34
Figura 7 – Moldagem dos corpos de prova .....	35
Figura 8 - Corpos de prova logo após desmoldagem .....	36
Figura 9 - Ensaio de Absorção de água por Imersão .....	38
Figura 10 - Corpos de prova em exposição à solução de sulfato .....	39
Figura 11 - Submissão dos corpos de prova ao ensaio de compressão .....	40
Figura 12 - Resistência à Compressão dos CP de envelhecimento natural e ao sulfato, idades de 14 dias e 28 dias, traço s/ CBC .....	44
Figura 13 - Resistência à compressão dos CP de envelhecimento natural e ao sulfato, idades de 14 dias e 28 dias, traço c/ CBC .....	45

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Determinação da composição granulométrica do agregado graúdo.....	31
Tabela 2 - Determinação da massa específica do agregado graúdo .....	32
Tabela 3 - Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade de ruptura	40
Tabela 4 - Resistência à compressão aos 28 dias para os traços s/ CBC e c/ CBC. ....	41
Tabela 5 - Resultado do ensaio de absorção de água por imersão aos 28 dias.....	42
Tabela 6 - Durabilidade do concreto levando em consideração o teor de absorção de água.....	43
Tabela 7 - Resumo das compressões, coeficientes de variação e índices de redução dos concretos de traço s/ CBC e traço c/ CBC, para as idades de 14 e 28 dias.....	46

**LISTA DE SIGLAS**

C <sub>3</sub> A	Aluminato Tricálcico
CAA	Concreto Auto Adensável
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CBC	Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CP	Corpo de Prova
C.V.	Coefficiente de Variação
C <sub>3</sub> A	Aluminato Tricálcico
I.R.	Índice de Redução
EFNARC	The European Guidelines for Self-Compacting Concrete
$f_{ck}$	Resistência à Compressão Característica
$f_{cm}$	Resistência à Compressão Média
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfeto

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>16</b>
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
4.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL .....	17
4.1.1 Traço .....	18
4.2 MATERIAIS .....	18
4.2.1 Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar .....	18
4.2.2 Cimento.....	19
4.2.3 Aditivo Superplastificante.....	19
4.2.4 Água.....	20
4.2.5 Aditivos Minerais.....	20
4.3 DURABILIDADE.....	22
4.3.1 Fluidos no Concreto .....	23
4.3.2 Ataque dos Sulfatos ao Concreto .....	24
4.3.3 Resistência à compressão.....	26
<b>5 METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>	<b>27</b>
5.1 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS .....	27
5.2 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	34
5.3 ENSAIOS DOS CORPOS DE PROVA.....	37
5.3.1 Absorção De Água Por Imersão.....	37
5.3.2 Ataque de Sulfatos por Imersão .....	38
5.3.3 Resistência à Compressão .....	39
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>41</b>
6.1 VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	41
6.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	42
6.3 ATAQUE DOS SULFATOS .....	43
6.4 CONCLUSÃO.....	47
6.5 SUGESTÃO PARA FUTUROS TRABALHOS .....	47
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação do homem com a temática do desenvolvimento sustentável é bastante recente em termos de história da humanidade. De acordo com Mateus (2004), esse sentimento começa a aflorar na segunda metade do século XX, quando se inicia a consciência da progressiva degradação infligida por políticas de desenvolvimento ao meio ambiente.

Nos últimos tempos, o Brasil tem se tornado o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool etílico, apresentando ao setor sucroalcooleiro vários subprodutos, dentre eles o bagaço da cana-de-açúcar. Esse dejetos é considerado o maior da agroindústria nacional, porém sua reutilização vai desde compostos para ração animal, fertilizantes, biogás, à matéria-prima para compensados e para indústrias químicas em geral (FAZZAN et al., 2014; SOUZA e AZEVEDO, 2006).

De acordo com dados do Estadão (2018), na safra 2017/2018, o Brasil produziu cerca de 641 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, fato que o posicionou como o maior produtor da *commodity*. Após o processo de moagem da cana-de-açúcar, ocorre a geração do bagaço, um subproduto do processo que, no início do século passado, era utilizado como combustível substituto à lenha. Porém, atualmente, seu principal aproveitamento ocorre no processo de produção de energia (térmica e elétrica), conhecido como cogeração (SOUZA e AZEVEDO, 2006).

Cordeiro et al. (2009) chama a atenção para o fato de que a queima do bagaço produz substancial liberação de CO<sub>2</sub>. Contudo, o balanço nas emissões do gás em questão é praticamente nulo, uma vez que a biomassa queimada é repostada no ciclo seguinte da cultura da cana-de-açúcar, através da fotossíntese. O resíduo desse processo, classificado como a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) e correspondente a cerca de 2,5 milhões de toneladas anualmente, muitas vezes é descartado de maneira imprópria no meio ambiente (FAZZAN et al., 2014).

Já na indústria da construção civil, a preocupação com as questões de sustentabilidade surge um pouco mais tarde. O conceito de qualidade na construção civil passa a abranger aspectos relacionados à qualidade ambiental que, segundo Mateus (2004), leva ao surgimento do termo “construção ecoeficiente”, também conhecida por construção ecológica ou por construção “verde”. O autor, Mateus (2004), define construção ecoeficiente como sendo “construir com impacto ambiental mínimo, e se possível, construir para conseguir o efeito oposto, isto é, criar edifícios com consequências reparadoras para o meio ambiente”.

Com o intuito de suprir as necessidades de inovação de produtos sustentáveis que, para Mateus (2004), deve basear-se nas condicionantes econômicas, qualidade ambiental e equidade social, integradas com as variáveis custo, qualidade e tempo, surge nas últimas décadas a necessidade de um avanço na área da tecnologia de produtos da construção civil. Neste contexto, Tutikian e Dal Molin (2008) contam que, em 1988, foi desenvolvido no Japão o concreto autoadensável, capaz de se moldar nas formas por conta própria e preencher, sem necessidade nenhuma de vibração ou compactação externa de qualquer natureza, os espaços destinados a ele.

Segundo os autores, ainda existem poucas referências publicadas a respeito da utilização do CAA em obras de engenharia, o que significa que sua utilização em comparação ao concreto tradicional é pouco difundida. Normalmente, as utilizações são em estruturas especiais, complicadas de se concretar com o concreto tradicional, apesar de suas aplicações serem possíveis tanto na indústria de pré-moldados quanto em construções em que o concreto é moldado *in loco*.

Na atualidade, existem muitos estudos que procuram inovações tecnológicas nos produtos da indústria da construção civil. Entretanto, a incorporação da cinza do bagaço da cana, tanto em concreto tradicional quanto em concreto autoadensável, é bastante recente. Deve-se atentar para o fato de que o principal objetivo da indústria da construção é satisfazer a funcionalidade requerida pelo dono da obra, considerando condições de segurança para o efeito das ações naturais e humanas, com características de durabilidade que permitam a redução da deterioração ao longo do seu ciclo de vida. O produto deve ainda ser compatível com os interesses econômicos do proprietário, ser esteticamente agradável e compatível com a sua envolvente, além de traduzir o menor impacto ambiental possível (MATEUS, 2004).

Muitas são as variáveis envolvidas no processo de deterioração do concreto. Dentre elas, segundo Macedo (2009), estão os fenômenos químicos presentes no interior do concreto e os agentes agressivos presentes em água, como por exemplo o ingresso de cloretos, sais de sulfatos, ciclos de molhagem-secagem, carbonatação, reação álcali-agregado, entre outros. Na procura em compreender melhor esses fenômenos, este trabalho preocupou-se em realizar estudos de um determinado processo de agressão química, o ataque de sulfatos, em um novo conceito de tecnologia, a incorporação da CBC no CAA.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o concreto autoadensável quanto à resistência ao ataque de sulfatos, quando substituído parcialmente o Cimento Portland Composto por cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Relacionar a influência dos parâmetros de composição no potencial de absorção das argamassas destes concretos;
- Comparar o valor da resistência mecânica alcançada pelas dosagens, realizando ensaios de resistência à compressão simples para a idade de 28 dias de cura, ao valor obtido por Molin Filho (2012);
- Comparar os resultados obtidos da influência do ataque de sulfatos no concreto autoadensável, quando substituído parcialmente o Cimento Portland Composto por cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC).

### 3 JUSTIFICATIVA

A incorporação das cinzas na construção civil é considerada uma alternativa atraente e viável, por ser um resíduo altamente disponível, de baixo valor agregado e grande quantidade de sílica. A areia, embora seja um material de baixo custo, sua logística de transporte encarece o valor final do produto. Ademais, o modelo de desenvolvimento, baseado em extração maciça de recursos naturais e geração de resíduos, não é sustentável a longo prazo. Ainda é preciso ser mais bem definido um modelo de desenvolvimento sustentável, uma vez que seus efeitos já atingem a cultura, pesquisa, comércio e atividades produtivas (CACURO e WALDMAN, 2015; JOHN, 2000).

Em adição a este cenário, encontra-se a cadeia produtiva da engenharia civil que, segundo John (2000), possui um enorme impacto ambiental, além de ser “a principal consumidora de matérias-primas da economia, uma das maiores geradoras de resíduo, energia e também colabora significativamente na poluição ambiental, incluído o efeito estufa”.

A partir disso, surge a necessidade de estudar alternativas que incorporem resíduos industriais na construção civil, de forma que haja uma destinação adequada para esses resíduos e, ao mesmo tempo, apresentem eficiência e qualidade. O uso de cinzas, devido à diminuição de custos, permite a produção de materiais cimentícios e maior competitividade no mercado. Além do mais, as usinas de cana-de-açúcar podem reverter em lucro os custos com tratamento e descarte, através da reutilização do resíduo.

Conforme Manuel (2005), no Brasil o concreto autoadensável ainda é um considerado uma tecnologia nova no mercado de obras da engenharia, se comparado a países como Japão, Suécia e Holanda. Sua vantagem em relação ao concreto tradicional é a eliminação de vibração, que pode significar uma melhoria na qualidade e na eficiência econômica, já que a velocidade de concretagem é maior, conseqüentemente ocorre uma redução no trabalho, energia e custo de equipamento.

Tendo em vista esses parâmetros, a presente pesquisa busca incentivar avanços relacionados ao assunto, principalmente ao que diz respeito a alternativas sustentáveis. Dessa forma, o alvo de estudo será a análise da incorporação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar ao concreto autoadensável e, mais especificamente, sua exposição ao ataque de sulfatos. Este estudo, além de contribuir para uma possível destinação a um resíduo industrial, contribui para o desenvolvimento de novas tecnologias para o mercado da construção civil.



## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL

O surgimento de novos materiais e tecnologias é o resultado das buscas constantes por soluções que superem obstáculos físicos e econômicos. Na construção civil, os obstáculos existentes para a concretagem em locais de difícil acesso e a garantia da qualidade do elemento motivam a investigação e descoberta de novos materiais e concretos especiais (MARQUES, 2011).

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), o CAA possui grande facilidade de se moldar nas mais diversas formas sob ação da gravidade, devido à grande deformabilidade no estado fresco. Tal propriedade permite que o CAA percorra até dez metros de distância horizontal, mesmo com obstáculos no caminho. As vantagens desse material estão relacionadas à sua facilidade de lançamento e à dispensa do adensamento, que, de acordo com o autor, são:

- redução da mão-de-obra no canteiro, pois elimina a vibração e facilita o espalhamento e o nivelamento do concreto;
- melhor acabamento final da superfície;
- possível aumento da durabilidade, por ser mais fácil de adensar evitando, assim, possíveis falhas de concretagem e grandes vazios resultantes da má vibração;
- permite grande liberdade de formas e dimensões, como fôrmas curvas, esbeltas, com altas taxas de armadura e de difícil acesso;
- facilita concretagens em peças de seções reduzidas;
- elimina o barulho de vibração, muito importante em grandes centros urbanos, concretagens noturnas ou obras perto de escolas e hospitais;
- maior segurança no local de trabalho em função da diminuição do número de trabalhadores;
- permite obter um ganho ecológico porque utiliza em sua composição altos teores de resíduos industriais como cinza volante, escória alto forno ou cinza de casca de arroz, podendo, dessa forma, reduzir o custo final do produto.

Em função disso, no presente trabalho, busca-se colaborar com o estudo do surgimento de novos materiais, que contribuam para um ganho ecológico e que reduzam o custo final do concreto autoadensável. Entretanto, será adotado o traço sugerido através de dados experimentais da dissertação de Molin Filho (2012), uma vez que o objetivo principal do

presente trabalho é a análise da resistência ao ataque de sulfatos e não o estudo do traço ótimo. Portanto, um resumo dos resultados obtidos pelo autor será descrito a seguir.

#### 4.1.1 Traço

Através do ensaio de autoadensibilidade, Molin Filho (2012) checkou os aspectos desejados relativos à fluidez, ao controle da coesão, à resistência à segregação e à viscosidade. Foi desenvolvido um traço de CAA com CBC e também um traço de CAA sem CBC com as mesmas características autoadensáveis obtidas pelos mesmos critérios.

O CAA com CBC aprovado nos testes de autoadensibilidade, cuja taxa de substituição atribuída foi de 10%, denominado de CAA-CBC 10% foi obtido com o seguinte traço unitário 1: 1,8: 0,2: 2,21: 0,45: 0,40: 0,0055 (cimento: areia: CBC: brita: água: filer: superplastificante) com massa específica de 2404,0kg/m<sup>3</sup>.

O desenvolvimento do CAA sem CBC que possuía estudo independente apresentou coincidentemente um traço unitário de 1: 2: 2,12: 0,45: 0,40: 0,0055 (cimento: areia: brita: água: filer: superplastificante) similar ao apresentado no traço com CBC, com massa específica de 2393 kg/m<sup>3</sup> (MOLIN FILHO, 2012).

## 4.2 MATERIAIS

Segundo Helene e Andrade (2007), “o concreto de Cimento Portland deve conter cimento, água e agregados, além da possibilidade de contar com aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais”, que serão descritos neste tópico.

### 4.2.1 Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar

O Brasil atualmente é o maior produtor mundial de açúcar e álcool e maior exportador de açúcar. Por meio da moagem da cana-de-açúcar, extrai-se o caldo e gera-se como subproduto o bagaço. Em torno de 95% deste subproduto é reutilizado pelas empresas para geração de energia por meio da queima em caldeiras para geração de vapor. Neste processo, gera-se a cinza do bagaço e conjuntamente surge a necessidade de encontrar uma destinação final adequada (PAULA, 2006).

Estudos revelam que a composição química do material remanescente se apresenta adequada ao emprego como aditivo mineral, devido aos teores de dióxido de silício e às

características de queima. Entretanto, a distribuição granulométrica variável da cinza aponta para a necessidade de moagem, de modo a elevar a reatividade, aumentar a superfície específica das partículas, obtendo maior homogeneidade do material (CORDEIRO, 2006).

#### 4.2.2 Cimento

Cordeiro (2006) constata que o concreto é um material composto basicamente de: cimento Portland, agregados naturais e água em diferentes composições e formas, que em conjunto com o aço, formam a base da engenharia estrutural moderna. O principal material componente do concreto é o cimento Portland que se trata de um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes e que sofre um processo de endurecimento sob ação da água (CAMPOS, 2016).

Segundo Cordeiro (2006), atualmente, o cimento Portland é o principal material de construção empregado pelo homem. A escolha do tipo de cimento deve levar em consideração a disponibilidade de mercado e, além disso, as propriedades que se desejam do produto. Outras variáveis como situação específica de projeto, aplicação e cura, cronograma de execução devem ser avaliadas na escolha do cimento mais adequado a garantir a vida útil da estrutura.

Molin Filho (2012) constata que, no Brasil, tem-se usado o Cimento Portland composto, CPII. “Ele além de ser facilmente encontrado com baixo custo em comparação a outras categorias, atende às especificações da *European Federation of National Associations Representing* (EFNARC) com relação à presença de  $C_3A$  na sua composição, ficando em patamares inferiores a 8%”.

#### 4.2.3 Aditivo Superplastificante

Conforme ABNT NBR 11768:2011, aditivos são produtos adicionados durante o processo de preparação do concreto, com a finalidade de modificar propriedades do mesmo no estado fresco e/ou endurecido.

De acordo com Helene e Andrade (2007), a utilização de concretos de maior resistência e durabilidade, por muitos anos, foi limitada pela dificuldade na obtenção de concretos plásticos, à medida que era reduzida a relação água/cimento. A partir da década de 50, essa história começou a tomar outros rumos com o surgimento de uma nova linha de aditivos

plastificantes, com muito mais eficiência do que os anteriores, os denominados superplastificantes.

Ferreira e Jajali (2002) afirma que os superplastificantes ou redutores de água de alta gama, permitem diminuir a quantidade de água mantendo a trabalhabilidade ou ainda aumentando a plasticidade da pasta, elevando assim a trabalhabilidade do concreto. Com avanço científico e tecnológico na química dos adjuvantes, propiciou-se a produção de superplastificantes cada vez melhores.

Na ausência de superplastificantes, as pequenas partículas de cimento tendem a flocular devido às forças atrativas que se geram entre elas (força atrativa do tipo Van der Waals), propendendo à retenção de água. Quanto maior for esse efeito, menor será a sua capacidade de fluir quando sujeita somente à ação da gravidade (FERREIRA e JAJALI, 2002).

Molin Filho (2012) esclarece que as propriedades mais estimadas no CAA são: a fluidez e a resistência à segregação. Essas propriedades são possíveis através da combinação de aditivos superplastificantes com altos teores de materiais finos. Os superplastificantes mais consumidos na produção do CAA atualmente são os de terceira geração, denominados policarboxilatos ou também designados como poliacrilatos.

#### 4.2.4 Água

Toda água pode ser usada no concreto desde que esteja em conformidade com as exigências químicas, de tempo e pega e resistência à compressão de acordo com a ABNT NBR 15900-1:2009.

A função da água no concreto é reagir quimicamente com o cimento, tornando a mistura suficientemente trabalhável, facilitando seu transporte, lançamento e adensamento. Contudo, quanto mais água o concreto contiver maior será o número de vazios, uma vez que a água permanece na mistura até se evaporar, deixando pequenos vazios – motivo pelo qual a mistura se torna menos resistente (CAMPOS, 2016).

#### 4.2.5 Agregados Minerais

Moreira (2004) conceitua agregado como sendo um material granular, de forma e volume indefinidos que possuem dimensões e propriedade adequadas ao uso em obras de engenharia. Desempenham papel importante nas argamassas e concretos, do ponto de vista econômico e técnico, e auxiliam positivamente em algumas características importantes do

concreto, como durabilidade e retração, o aumento da resistência ao desgaste, entre outros. Além disso, não prejudicam a resistência aos esforços mecânicos, dado que os agregados de boa qualidade possuem resistência mecânica superior à da pasta do agregado.

A classificação quanto à origem se divide em:

- Naturais: já encontrados na natureza sob a forma de agregados (areias, pedregulhos, seixos rolados).
- Artificiais: necessitam de um trabalho de artificial para chegarem à situação de uso (areais, pedras obtidas por moagem de fragmentos maiores).

A classificação quanto ao tamanho se divide em:

- Agregado Graúdo: o material que fica retido na peneira de malha #4,8 mm, entendendo-se como material com até 15% de grãos mais finos que a peneira especificada.
- Agregado Miúdo: O material que passa na peneira de malha #4,8 mm, entendendo-se por material que passa aquele que contém 15% de grãos retidos na peneira especificada.

Materiais que possuem grande quantidade de finos são contribuintes para a fluidez do Concreto Autoadensável. O uso de adições minerais melhora o comportamento da microestrutura do concreto, pois preenchem os poros de menor escala aumentando a viscosidade, o que reduz o atrito entre os agregados, proporcionando menos ocorrência de segregação e exsudação. Além disso, reduzem o consumo de cimento e o calor de hidratação, evitando, portanto, a presença de fissuras internas no concreto (BARROS, 2008).

#### **4.2.5.1 Filer calcário**

O filer calcário caracteriza-se como uma adição mineral predominantemente inerte. Com sua utilização, busca-se na estrutura do concreto uma otimização do empacotamento mecânico dos componentes da estrutura, assim como contribuições desejáveis no estado fresco, atuando principalmente sobre a viscosidade e conseqüentemente na resistência a segregação (MOLIN FILHO, 2012).

No CAA, a adição do filer se mostra bastante receptiva, pois uma elevada quantidade de filer com alta superfície específica e agregados de pequena granulometria são de fundamental importância para um maior controle das propriedades de autoadensabilidade do CAA, tendo em vista que diâmetros médios da ordem de 80µm, proporcionam melhores viscosidade e coesão da mistura (BARROS, 2008).

### 4.3 DURABILIDADE

Por definição da ABNT NBR 6118:2003, durabilidade “consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. Já Andrade (1997), considera uma estrutura durável se os requisitos do projeto em termos de segurança, funcionalidade e estética forem conservados ao longo de sua vida, sem gerar custos de manutenção não previstos. A análise da durabilidade do concreto é de suma importância, pois, conforme Neville (2013), essa propriedade é capaz de suportar as condições para as quais o concreto foi projetado durante a vida da estrutura.

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2003, a durabilidade das estruturas está vinculada principalmente às características do concreto como também à espessura e qualidade. A causa da falta de durabilidade pode advir por agentes externos presentes no meio ou por agentes internos ao concreto, podendo ser classificadas como causas físicas, mecânicas e químicas. As físicas dizem respeito à ação de congelamento e à diferença que existe entre as propriedades térmicas do agregado e da pasta de cimento. Já as causas mecânicas estão relacionadas principalmente à abrasão. Por fim, as químicas, alvo de estudo neste trabalho, são responsáveis pela redução eletroquímica da armadura (NEVILLE, 2013).

Neville (1994) defende que o concreto moderno é um concreto menos durável. Seu argumento se baseia no fato de que a busca por vantagens econômicas fez com que alterasse o fator água/cimento, resultando em uma maior quantidade de água e um teor de cimento menor, para a mesma resistência aos 28 dias. Porém, a consequente desvantagem é a obtenção de um concreto mais poroso, com maior permeabilidade e, portanto, mais suscetível a agentes agressivos.

Percebe-se que a permeabilidade do concreto é de fundamental interesse, uma vez que os ataques ocorrem no interior da massa e através dessa propriedade o agente agressivo é capaz de penetrar e transportar-se internamente até a armadura (NEVILLE, 2013; ANDRADE, 1997). Além de que o concreto está sendo cada vez mais utilizado em ambientes agressivos, aumentando a possibilidade de degradação. As plataformas marinhas são um dos principais exemplos de ambiente agressivo moderno, onde o concreto está vulnerável a forças agressivas de origem química, como os sulfatos e os cloretos, e física, como o desgaste superficial. As grandes cidades também são exemplos de ambientes agressivos, com a chuva ácida e esgotos sanitários (SILVA FILHO, 1994).

Portanto, pode-se concluir que é necessário a análise da durabilidade do concreto frente aos ataques químicos que podem comprometer a vida útil das estruturas.

#### 4.3.1 Fluidos no Concreto

De acordo com Silva Filho (1994), é importante o estudo das influências no processo de permeação de fluidos, uma vez que a avaliação e mensuração diz respeito à possibilidade de ingresso de agentes agressivos dissolvidos. De forma mais aprofundada, Petronilho e Sígolo (2011) explicam que, em estruturas imersas, a água utiliza de absorção capilar e pressão hidráulica para penetrar no concreto. Dissolvidos na água, penetram os íons deletérios, que ficarão retidos nas zonas superficiais onde se dá a evaporação e onde aparecerão as eflorescências. A umidade ambiental interfere em todo o processo de deterioração do concreto e de corrosão das armaduras, na medida em que influencia na umidade no interior do concreto.

Esse mesmo conceito vai de encontro com a ABNT NBR 6118:2003, que aponta um dos mecanismos preponderantes de deterioração relativo ao concreto, como a “expansão por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado”.

Na alteração dos materiais da composição do concreto, é possível afirmar que as propriedades resultantes dessa nova composição poderão modificar-se e apresentar um comportamento diferente do mesmo. Esse fato se comprova pela afirmação de Hoppe Filho et al. (2015), em que a utilização de adições minerais na composição do material ligante, quando substituído parcialmente o cimento, provoca alterações microestruturais que, por sua vez, interferem principalmente na distribuição do tamanho dos poros e na interconectividade dos mesmos, mas também na porosidade da matriz hidratada, influenciando positiva ou negativamente o ingresso de água para o interior da estrutura (HOPPE FILHO et al., 2015).

Para Silva Filho (1994), no ensaio de absorção, o mecanismo dominante é a sucção capilar. O autor ainda considera que esse experimento, em tese, consiste em monitorar o ganho de peso causado pela absorção. Segundo Petronilho e Sígolo (2011), a absorção por imersão representa a quantidade de volume poroso em geral obtido após secagem de um corpo de prova e posteriormente imerso em água até massa constante, medindo-se o aumento de massa, apresentado em função da massa do corpo de prova seco, em percentagem.

O mesmo ensaio considera e estuda as características de absorção relativa ao concreto de recobrimento das armaduras. Os indicativos em relação à qualidade do concreto desse

ensaio são confiáveis, apesar de não serem considerados de absorção pura, simplesmente por não envolverem o mecanismo de permeação. Para alguns autores, a maioria dos concretos de boa qualidade apresenta valores de absorção inferiores a 10% e para outros, 5% (PETRONILHO e SÍGOLO, 2011).

#### 4.3.2 Ataque dos Sulfatos ao Concreto

O estudo dos mecanismos de deterioração desenvolvidos em estruturas de concreto em função das reações do material com íons sulfato já é bastante antigo, tendo seu início na década de 20 e permanecendo até os dias de hoje, uma vez que sua complexidade química influencia na conclusão dos resultados. Há relatos de que a primeira experiência envolvendo sulfato, com o intuito de avaliar o fenômeno resultante desta exposição, já apontava a presença de Aluminato Tricálcio ( $C_3A$ ) correlacionado com a deterioração provocada por sulfatos (SILVA FILHO, 1994).

Em termo químicos, Silva Filho (1994) explica que esse fenômeno se origina do fato de que os íons  $SO_4^-$  penetram na rede de poros do concreto e se combinam com os aluminatos, especialmente o  $C_3A$ , provocando a expansão, responsável pelo aparecimento de tensões. Devido a esse processo, ocorre uma perda da rigidez e da resistência do concreto.

A explicação se completa com a de Bragança (2014), a qual afirma que a deterioração ocorre da reação dos produtos de hidratação do cimento com íons sulfeto presentes no meio, pela contaminação externa ou excessivamente em componentes do próprio concreto (ou argamassa), isto é, contaminação interna. Essas reações ocorrem em presença de umidade, promovendo a formação e o crescimento de compostos cristalinos no interior dos poros do material, que acarretam o aparecimento de fissuras no concreto.

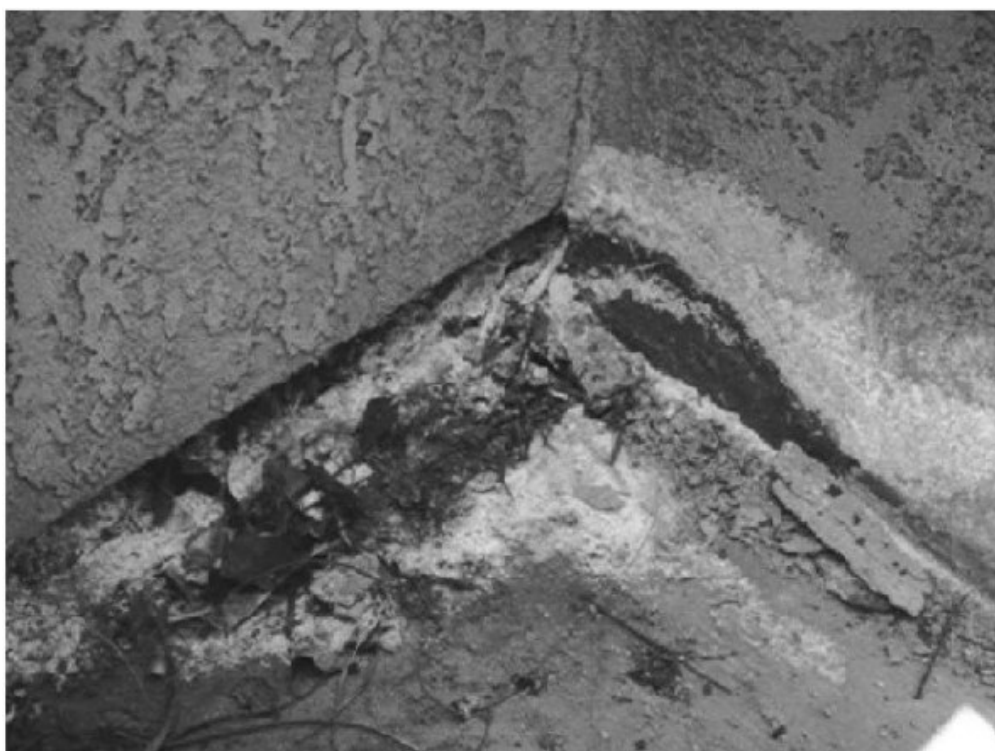
Da mesma forma, Hoppe Filho (2015) confirma que a causa de fissurações, perda de massa e, conseqüentemente, perda de resistência à compressão e de integridade do concreto pode ser determinada pela concentração de íons sulfato na solução aquosa dos poros, composição do cimento Portland utilizado, permeabilidade e absorção capilar de água, podendo, até mesmo, levar a estrutura ao colapso.

Em adição, Silva Filho (1994) informa que, baseado em relatos de estudos, a exposição do concreto a sulfatos causa uma expansão da massa que pode, com o tempo, ocasionar fissuração, fragilização e lascamento das camadas exteriores, desintegração do material e, como resultado, colapso da peça. De forma geral, a agressão se inicia nos cantos e arestas da peça, espalhando-se e penetrando progressivamente no concreto. Além disso, o mecanismo de



deterioração do concreto por reação com íons sulfato, por acarretar o aparecimento de fissuras no material, possibilitam maior interação da armadura de aço-carbono com os agentes agressivos, promovendo a aceleração do processo corrosivo (BRAGANÇA, 2014).

Silva Filho (1994) complementa que, além da ação de corrosão do concreto, os íons podem ser elementos agressivos à armadura. Mesmo que em intensidade menor que os cloretos em termos de agressividade, os sulfatos também podem causar danos à armadura, sendo assim recomendável a determinação dos teores no ambiente de exposição, o que deverá influenciar no cobrimento efetivo da peça. Nestas condições, Bragança (2014) ainda indica que a armadura de aço tende a despassivação, com a dissolução dos óxidos de magnetita e hematita formados, levando ao aumento da susceptibilidade do concreto armado aos processos corrosivos.



**Figura 1 - Deposição de material de eflorescência contendo sulfato na fundação de concreto exposta de uma residência**

**Fonte: Marchand et al. (2003)**

### 4.3.3 Resistência à compressão

A resistência à compressão dos concretos tem sido um parâmetro de dosagem e controle da qualidade dos concretos destinados a obras ordinárias. O motivo é a simplicidade do procedimento de moldagem dos corpos-de-prova e do ensaio de compressão, além de ser um parâmetro sensível às alterações de composição da mistura, permitindo inferir modificações em outras propriedades do concreto (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

A análise da resistência à compressão se faz necessária a partir do momento em que se admite sua inter-relação com a durabilidade do concreto. Essa inter-relação é constatada por Helene e Andrade (2007), ao afirmar que, geralmente, um concreto de resistência mais alta é potencialmente mais durável do que um concreto de resistência mais baixa, obtido com os mesmos materiais. Entretanto, não se pode afirmar que a resistência à compressão garante, por si só, uma medida suficiente da durabilidade do concreto, pois depende das camadas superficiais do concreto da estrutura.

## 5 METODOLOGIA DA PESQUISA

### 5.1 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados para composição do traço, como citado anteriormente no Capítulo 4, são: cimento, areia, CBC, brita, água, filer e superplastificante. Sendo assim, o traço unitário do CAA com CBC foi de 1: 1,8: 0,2: 2.21: 0,45: 0,40: 0,0055 (cimento: areia: CBC: brita: água: filer: superplastificante) e do CAA sem CBC, traço unitário de 1: 2: 2,12: 0,45: 0,40: 0,0055 (cimento: areia: brita: água: filer: superplastificante). Neste capítulo, será discutido sobre a caracterização dos materiais utilizados.

Para o cálculo das quantidades necessárias para a produção das amostras, levou-se em consideração o volume total de massa para a produção de 24 corpos de prova. A estimativa foi baseada nos dados de Molin Filho (2012), através da massa específica (com cinza: 2404,0kg/m<sup>3</sup>, sem cinza: 2393 kg/m<sup>3</sup>), utilizando-se a relação densidade é igual à massa dividida pelo volume, em conformidade com Chang (2009). Através do volume total necessário para a confecção dos corpos, calculou-se a massa total necessária e, conseqüentemente, a massa de cada material de acordo com a proporção estabelecida pelo traço.

#### a. Preparação da CBC

A CBC utilizada nesta pesquisa foi coletada na Usina Coopcana no distrito de São Carlos do Ivaí, região do Noroeste do Paraná, próxima a cidade de Maringá. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao laboratório e secas na estufa por durante 2 dias. Posteriormente, a amostra foi peneirada utilizando-se 100 por cento dos passantes na peneira com abertura de 0,595mm (#30). Após peneiramento de uma quantia suficiente para realização dos ensaios, as amostras foram armazenadas em recipientes plásticos hermeticamente vedados até o momento de sua pesagem.



**Figura 2- Cinza do bagaço da cana após secagem e peneiramento**

**Fonte: Autoria própria (2019)**

b. Cimento

Molin Filho (2012), em seu trabalho, utiliza o CP II E 32, o mesmo que será adotado neste trabalho. Informa que esta categoria “possui alta versatilidade de aplicação e na sua composição encontram-se escórias de alto forno. Possui baixo calor de hidratação e aumenta a resistência do cimento Portland comum, principalmente quanto aos ataques por sulfatos”. Além disso, a classe é a de maior disponibilidade comercial na região de estudo.

c. Aditivo Superplastificante

O superplastificante utilizado neste trabalho não foi o mesmo utilizado por Molin Filho (2012), que fez uso do superplastificante GLENIUM® 51, da empresa BASF S/A. O motivo foi a dificuldade em encontrá-lo em pequenas quantidades. O aditivo utilizado neste trabalho foi o CQ Flow da empresa Camargo Química, gentilmente doado pela empresa Concreto Itaipú Ltda, da cidade de Campo Mourão- PR.

De acordo com especificações do fabricante, a linha de aditivos CQ Flow é à base de policarboxilatos com alto teor de sólidos, podendo conter outras matérias-primas naturais secundárias, isenta de cloretos e pronta para uso. Foi desenvolvida especialmente para aplicação em concretos autoadensáveis (CAA), concretos de alto desempenho (CAD), concretos com fibras, pré-moldado e obras especiais em geral. Pode reduzir até 40% da água

de mistura, dependendo da dosagem, traço e característica dos materiais utilizados. É compatível com todas as classes de cimento Portland.



**Figura 3 - Especificações do Superplastificante CQ Flow**

**Fonte: Autoria própria (2019)**

#### d. Água

A água utilizada neste trabalho foi a mesma de abastecimento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, considerada, portanto, potável e de uso adequado para a confecção dos corpos de prova.

#### e. Agregados

- Agregado Miúdo

Molin Filho (2012) utilizou o agregado miúdo da areia de origem quartzosa da região de Maringá – PR. As mesmas características de agregado foram utilizadas para a confecção dos corpos de prova deste trabalho.

- Agregado Graúdo

Como agregado graúdo, duas categorias denominadas brita “A” e brita “B”, caracterizadas de acordo com a Figura 4.

Características	Unidade	brita "A"	brita "B"
Massa Específica ( $\gamma_s$ )	kg/m <sup>3</sup>	2705,6	2877,1
Absorção do Agregado (ABS)	%	3,81	1,91
Massa Unitária Solta (MU)	kg/m <sup>3</sup>	1461,5	1464,2
Massa Unitária Compactada (MU)	kg/m <sup>3</sup>	1594,7	1649,3
Diâmetro Máximo Característico ( $\phi_{mix}$ )	mm	19	12,5
Módulo de Finura	%	7,1	6,8

Figura 4- Caracterização da Brita utilizada por Molin Filho (2012)

Fonte: Molin Filho (2012)

A brita utilizada neste trabalho foi disponibilizada pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão. Para melhor análise dos resultados, foram realizados os ensaios de determinação da composição granulométrica e determinação da massa específica aparente seca do agregado graúdo, que serão descritos a seguir.

- Ensaio de Determinação da Composição Granulométrica

Para a realização deste ensaio, tomou-se como base a ABNT NBR 7217:1987, seguindo o roteiro sugerido pela mesma. Sendo assim, tomou-se a amostra, umedeceu-a e a levou à estufa. Depois de seca ao natural, a amostra foi levada ao conjunto de peneiras, com abertura de ordem crescente da base para o topo e com fundo adequado para o conjunto, sendo colocada sobre a peneira superior.

Nesse momento, a amostra foi submetida à agitação mecânica e posteriormente à agitação manual. A agitação manual foi feita separadamente, peneira por peneira, com tampa e fundo falso encaixados, a começar pela superior e seguir a ordem. Após cerca de 1 minuto de agitação em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto no vertical e inclinado, retirou-se o material retido na peneira e o identificou. Com o auxílio de uma escova, foi removido o material retido na peneira, sendo que o material removido pelo lado interno foi acrescido ao não passante, ou seja, à amostra já identificada. O material passante e o material anexo à peneira na parte inferior foram adicionados à próxima peneira para submetê-la ao mesmo processo e assim sucessivamente até a verificação de todo o conjunto de peneiras.

Feito isso, prosseguiu-se para o cálculo da porcentagem média retida em cada peneira e porcentagem média retida acumulada em cada peneira. Os resultados obtidos encontram-se na

Tabela 1. A dimensão máxima característica diz respeito à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Sendo assim, de acordo com os resultados, obteve-se um D.M.C. de 19 mm. Para encontrar o módulo de finura, foram somadas as porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras de série normal, e o resultado dividido por 100. A classificação do agregado seguiu a ABNT NBR 7211:2009, cujo intervalo apontou o material em questão como Brita do tipo 1.

**Tabela 1 - Determinação da composição granulométrica do agregado graúdo**

PENEIRA # (mm)	PESO RETIDO (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
25,00	0,00	0,00	0,00
19,00	10,00	2,00	2,00
12,50	243,00	48,60	50,60
9,50	158,00	31,60	82,20
5,60	87,00	17,40	99,60
4,80	2,00	0,40	100,00
2,40	-	-	100,00
1,20	-	-	100,00
0,60	-	-	100,00
0,30	-	-	100,00
0,15	-	-	100,00
Fundo	0,00	-	100,00
Total	500,00	100,00	
Dimensão Máxima Característica (D.M.C) = 19 mm			
Classificação do agregado - BRITA 1			
Módulo de Finura (M.F)			6,84

**Fonte: Autoria própria (2019)**

- Ensaio de Determinação da Massa Específica Aparente Seca do Agregado Graúdo

Para a realização deste ensaio, seguiu-se os padrões estabelecidos pela ABNT NBR NM 53:2009, sendo necessário um recipiente com volume mínimo de acordo com o tipo de agregado, uma amostra previamente seca em estufa, balança com precisão de 0,01g e uma régua para o nivelamento da amostra no recipiente. Para maior precisão dos cálculos, foram consideradas 3 amostras (A, B e C).

**Tabela 2 - Determinação da massa específica do agregado graúdo**

MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA		
AMOSTRA	VOLUME RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> )	PESO DA AMOSTRA (g)
A	3710,93	6296,00
B	3839,73	6278,00
C	3895,53	6454,00
MÉDIA	3839,73	6296,00
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> ) =		1,64

**Fonte: Autoria própria (2019)**

Com a média das leituras apresentadas na Tabela 6, determinou-se a massa específica, sendo esta, o resultado da divisão entre peso da amostra em gramas e volume do recipiente em centímetros cúbicos. Portanto, efetuando os cálculos chegou-se à conclusão de que a massa específica deste agregado é 1,64 g/cm<sup>3</sup>.

Analisando os parâmetros do material utilizado por Molin Filho (2012) e os resultados obtidos pelos ensaios citados acima, pode-se concluir que os mesmos apresentam características próximas, de forma que não interfira na comparação dos resultados.

f. Filer

O filer calcário escolhido no trabalho de Molin Filho (2012) é o de origem calcítica pois, apesar de não ser o mais fácil de encontrar comercialmente, é o mais indicado de acordo com o autor. Suas características são encontradas na Figura 5.



<b>Fabricante:</b>	CAZANGA
<b>Nome:</b>	CALCÁRIO CALCÍTICO
<b>Função:</b>	Aplicações na indústria de construção e de alimentação animal
<b>Base química:</b>	<b>CaO:</b> mínimo de 51,8%
	<b>MgO:</b> máximo de 1%
	<b>Ca:</b> mínimo de 37%
	<b>Mg:</b> máximo de 0,63%
<b>Base granulométrica:</b>	94% passante em peneira 325 <i>mesh</i> 94% menores que 45 $\mu$ m (0,045mm)
<b>Cor:</b>	Branca

**Figura 5- Informações sobre o filer calcário calcítico**

Fonte: Molin Filho (2012)

Buscou-se utilizar dos mesmos padrões do material. Sendo assim, a descrição de acordo com o fabricante encontra-se a seguir:

- Calcário Calcítico KRAEMER: extraído de jazida puramente de rocha calcítica, passando por processo de beneficiamento livre de impurezas e com garantia de qualidade.

- Garantias:

CaO: 42 a 45%

MgO: 2 a 4%

PN: 85%

PRNT: 75%

Além disso, a amostra de filer foi peneirada utilizando 100 por cento dos passantes na peneira com abertura de 0,595mm (#30). Após peneiramento de uma quantidade suficiente para realização dos ensaios, as amostras foram armazenadas em recipientes plásticos hermeticamente vedados até o momento de sua pesagem.



**Figura 6 - Peneiramento do filer**

**Fonte: Autoria própria (2019)**

## 5.2 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os roteiros e procedimentos utilizados nesta fase da pesquisa foram fundamentados nos mesmos adotados por Molin Filho (2012) e adaptados de acordo com as necessidades dos objetivos, para que haja maior padronização dos resultados, uma vez que os dados obtidos no trabalho do autor serviram de base para comparação dos resultados obtidos no presente trabalho.

Para a produção dos corpos de prova foram necessários: 1 betoneira; 1 carro-de-mão; 1 concha metálica; 1 balança com capacidade de  $100\text{kg} \pm 20\text{g}$ ; 24 moldes cilíndricos, 1 balança de precisão com capacidade de  $5\text{kg} \pm 0,01\text{g}$ , recipientes para medir e coletar os materiais e 2 pessoas para operacionalização.

Antes de executar a mistura do concreto na betoneira, foi realizada a medição de umidade dos agregados secos ao ar livre e obtida a quantidade de água presente por massa, a fim de considerar a mesma nos cálculos das quantidades de materiais. Posteriormente, lançou-

se aproximadamente 1 litro de água do interior da betoneira, em funcionamento, para umedecimento das paredes simulando um processo de imprimação e removeu-se o excesso de água, após a finalização do processo, para evitar acúmulo no interior.

Logo em seguida, foram inseridas a areia, a brita e a água de absorção dos agregados na betoneira e misturadas por 30 segundos. Prosseguiu-se para a inserção do cimento e o filer aos agregados e novamente misturados por 30 segundos. Adicionou-se água correspondente a 90% (já considerando a água de absorção dos agregados) do total, com mistura por 1,5 minutos – lembrando-se de substituir a porcentagem de água já presente no agregado, pois este já foi adicionado. Por fim, foram acrescentados o superplastificante e a água restante (10%) e misturados por dois minutos.

Foram levadas em consideração as notificações de Molin Filho (2012), as quais demandam que, entre a etapa de adição de areia, brita e água e entre a etapa de adição de cimento e filer, a betoneira é desligada por no máximo 15 segundos para adição dos materiais – nos demais intervalos não há interrupções. O roteiro de produção apresentou aproximadamente tempo total de 5 minutos de operação da betoneira, conforme descrito pelo autor.



**Figura 7 – Moldagem dos corpos de prova**

**Fonte: Autoria Própria (2019)**



Seguindo a ABNT NBR 5738/2003, após a moldagem, os moldes foram transportados e colocados sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra causa que pudesse perturbar o concreto. Durante as primeiras 24 horas, os corpos de prova foram armazenados em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar perda de água do concreto. Passado 24 horas após o momento de moldagem, os corpos foram desmoldados, imediatamente identificados e armazenados em câmara úmida à temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C e umidade relativa do ar superior a 95% até o momento do ensaio.



**Figura 8 - Corpos de prova logo após desmoldagem**

**Fonte: Autoria própria (2019)**

À esquerda, encontra-se o CAA com incorporação da CBC e, à direita, o CAA sem a incorporação da CBC. Apenas para fins de caracterização, é possível observar a diferença da coloração de ambos, sendo que a explicação para esta ocorrência é a influência da própria cinza, material de cor escura, como observado na Figura 2.

### 5.3 ENSAIOS DOS CORPOS DE PROVA

Nesta fase foram realizados os seguintes ensaios para obtenção dos resultados:

- a. Absorção por imersão aos 28 dias (3 CPs);
- b. Ataque aos sulfatos por imersão aos 14 e aos 28 dias (3 CPs em cada idade);
- c. Ensaio de compressão aos 28 dias (3 CPs).

#### 5.3.1 Absorção De Água Por Imersão

A realização esteve em conformidade com a ABNT NBR 9778:1987. Para a realização do ensaio, foi utilizada uma balança; e estufa, com dimensões internas apropriadas para armazenar as amostras à temperatura de  $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ .

O procedimento foi dividido em duas partes. A primeira consistiu na determinação da massa das amostras ao ar e, posteriormente, a manutenção das mesmas em estufa à temperatura de  $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  por 72h. Foram registradas as massas das amostras após permanência na estufa de 24h, 48h e 72h, após resfriadas ao ar seco à temperatura de  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ .

A segunda parte iniciou-se após completa a secagem em estufa e determinação da massa. As amostras foram imergidas em água à temperatura de  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ , durante 72h. Nas primeiras 4 horas, as amostras foram mantidas com 1/3 de seu volume imerso, 2/3 nas 4h subsequentes, sendo completamente imersas nas 64h restantes. Foram feitos os registros das massas das amostras, decorridas 24h, 48h e 72h de imersão, sendo que as pesagens foram efetuadas após enxugar a superfície das amostras com toalha absorvente.



**Figura 9 - Ensaio de Absorção de água por Imersão**

**Fonte: Autoria própria (2019)**

### 5.3.2 Ataque de Sulfatos por Imersão

Este ensaio baseou-se nas recomendações da ASTM C1012 (1987). Os materiais e equipamentos utilizados foram o sulfato de sódio, caixa de cimento amianto impermeabilizada com resina epóxi.

Nesta técnica de exposição a sulfatos, os corpos de prova foram completamente imersos em uma solução agressiva de sulfato de sódio diluído à 5% em água potável, seguindo recomendações. Os corpos de prova de concreto foram armazenados em um recipiente impermeabilizado com resina epóxi, para que o mesmo não sofresse a ação corrosiva da solução.





**Figura 10 - Corpos de prova em exposição à solução de sulfato**

**Fonte: Autoria própria (2019)**

O controle da agressão causada por sulfatos foi efetuado através do monitoramento da variação da resistência à compressão, uma vez que essa propriedade foi obtida anteriormente à submissão dos CPs ao ataque dos sulfatos, facilitando a comparação de resultados.

Além disso, o ensaio foi ajustado de acordo com os objetivos deste trabalho e disponibilidade de tempo. Dessa forma, os corpos de prova foram ensaiados a 21 dias (7 de cura mais 14 dias de exposição) e a 35 dias (7 de cura mais 28 dias de exposição). Sendo assim, foi possível analisar uma progressiva influência dos sulfatos no concreto.

### 5.3.3 Resistência à Compressão

Para controle da sanidade dos traços, realizou-se o ensaio de resistência à compressão, que seguiu as normas da ABNT NBR 5739:1994. O material necessário nesse procedimento foi a máquina de ensaio de resistência à compressão modelo EMIC.

Para iniciar o ensaio, garantiu-se que as faces dos pratos de carga e do corpo de prova estivessem limpas e secas, antes do posicionamento do mesmo. O corpo de prova foi cuidadosamente centralizado no prato inferior, com auxílio dos círculos concêntricos de referência. A escala de força escolhida para o ensaio se deu com uma carga compreendida no

intervalo de 10% a 90% do fundo de escala e teve como base resultados de resistência à compressão obtidos por Molin Filho (2012), correspondente a escala de 35 MPa aos 28 dias.

A aplicação da carga ocorreu de forma contínua e sem choques, com velocidade de carregamento de 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s. Não foram efetuados ajustes nos controles da máquina enquanto o corpo de prova deformava-se rapidamente ao aproximar-se de sua ruptura. Foi levado em consideração a tolerância de tempo para o ensaio, que depende da idade de ruptura, em concordância com ABNT NBR 5739:1994, como mostra a Tabela 3.

**Tabela 3 - Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade de ruptura**

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

**Fonte: ABNT NBR 5739:1994**

O cálculo da resistência à compressão foi obtido dividindo-se a carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, sendo o resultado expresso com aproximação de 0,1 MPa.



**Figura 11 - Submissão dos corpos de prova ao ensaio de compressão**

**Fonte: Autoria própria (2019)**



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A realização experimental foi baseada nos traços de Concreto Autoadensável sugeridos por Molin Filho (2012) como já citado anteriormente e apresentado no subitem 4.1.1. Devido a isso, priorizou-se a discussão quanto ao ensaio de resistência à compressão, pois através deste, além de analisar a sanidade dos corpos, também serve de referência para confirmar a padronização dos experimentos.

### 6.1 VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Após submeter os corpos aos ensaios, os dados foram extraídos e processados de acordo com a ABNT NBR 12655: 2006 para uma correta classificação do CAA, em conformidade com a ABNT NBR 8953:2015. Os dados obtidos estão apresentados Tabela 4.

**Tabela 4 - Resistência à compressão aos 28 dias para os traços s/ CBC e c/ CBC.**

Corpos de Prova		Resistência à Compressão ( $f_c$ ) (MPa)	Resistência à Compressão Média ( $f_{cm}$ ) (MPa)	Resistência à Compressão Característica ( $f_{ck}$ ) (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
Traço s/ CBC	CP1	39,69	39,48	37,96	0,92
	CP2	38,47			
	CP3	40,27			
Traço c/ CBC	CP1	40,86	40,12	38,63	1,49
	CP2	41,10			
	CP3	38,41			

**Fonte: Autoria própria (2019)**

Os dados da Tabela 4 apontam para uma diferença de 0,98 MPa a mais para o concreto de traço com CBC. Apesar disso, através da ABNT NBR 8953:2015, a classificação de ambos concretos se enquadra no grupo I e classe C35, uma vez que as resistências à compressão características ( $f_{ck}$ ) são maiores que 35 MPa e menores que 40 MPa.

Como referência, Molin Filho (2012), obteve em seu trabalho uma resistência à compressão característica ( $f_{ck}$ ) de 38,56 MPa para o traço sem CBC e de 39,75 MPa para o traço com CBC, apontando uma diferença de 1,19 MPa a mais para o concreto de traço com

CBC. A classificação para ambos os concretos produzidos pelo autor, bem como concluído pelo mesmo, enquadra-se no grupo I e classe C35.

Portanto, conclui-se que as propriedades dos concretos confeccionados neste trabalho indicam concordância com as propriedades dos concretos cujos os traços foram estudados e sugeridos por Molin Filho (2012). Confirmada a padronização dos experimentos, seguir-se-á para análise de absorção de água.

## 6.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio de absorção realizado de acordo com a metodologia descrita no subitem 5.3.1 – Absorção De Água Por Imersão – resultou nos dados que podem ser observados na Tabela 5.

**Tabela 5 - Resultado do ensaio de absorção de água por imersão aos 28 dias**

	Concreto	Massa seco na estufa (g)	Massa após 24 horas (g)	Massa após 48 horas (g)	Massa após 72 horas (g)	Absorção de água por imersão (%)
s/ CBC	CP1	3643,000	3721,000	3737,000	3748,000	2,882
	CP2	3662,000	3730,000	3740,000	3750,000	2,403
	CP3	3666,000	3740,000	3754,000	3763,000	2,646
c/ CBC	CP1	3672,000	3769,000	3781,000	3789,000	3,186
	CP2	3665,000	3755,000	3767,000	3774,000	2,974
	CP3	3679,000	3812,000	3829,000	3830,000	4,104

**Fonte: Autoria própria (2019)**

Segundo Petronilho e Sígolo (2011), alguns autores, como Neville (1995), consideram que a maioria dos concretos de boa qualidade apresentam valores de absorção inferiores a 10%, enquanto que outros pesquisadores limitam esse valor a 5%. Nessas condições, ao analisar os valores de absorção de água por imersão obtidos no ensaio, pode-se concluir que todas as amostras, de forma geral, são consideradas de boa qualidade.

De acordo com Helene (1993), a durabilidade do concreto pode ser classificada conforme indicado pela Tabela 6.

**Tabela 6 - Durabilidade do concreto levando em consideração o teor de absorção de água**

Classificação do concreto	Teor de absorção de água
Durável – Alto desempenho	$\leq 4,2\%$
Convencional	$4,2\% \leq a \leq 6,2\%$
Deficiente	$\geq 6,2\%$

Fonte: Adaptado de Helene (1993)

Conforme a classificação sugerida, todas as amostras ensaiadas apresentaram a classificação de concreto durável – alto desempenho, pois os teores de absorção de água se encontram menores do que 4,2%.

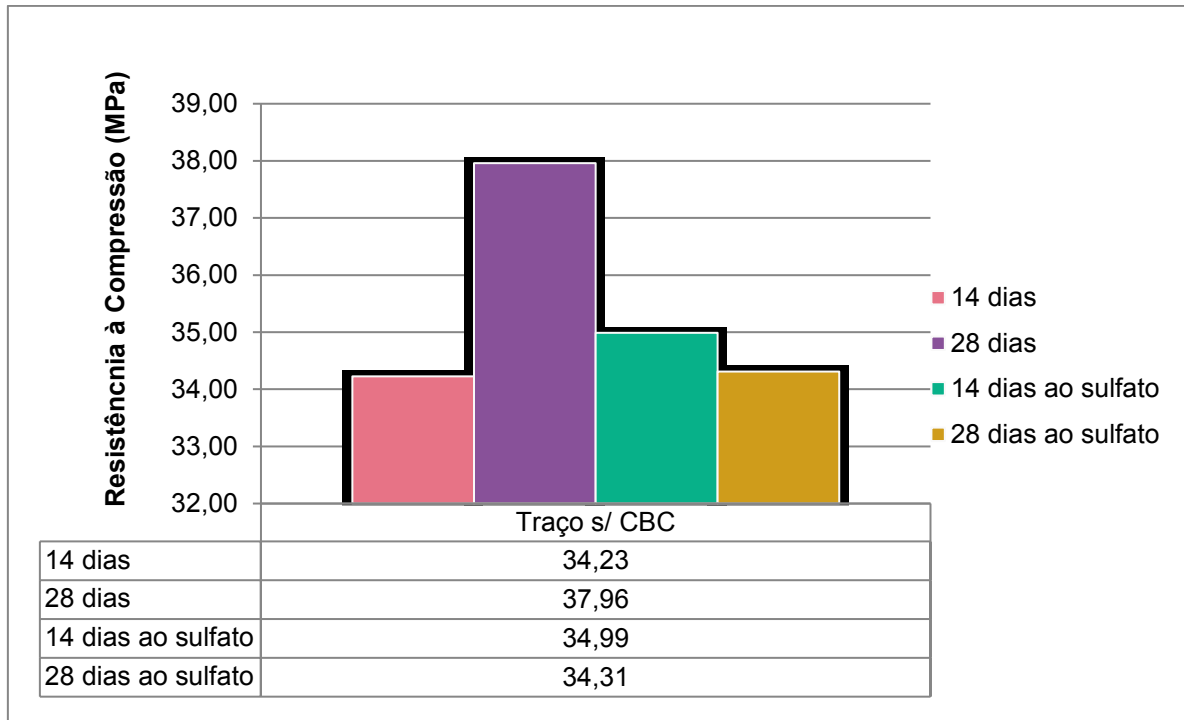
Contudo, deve-se evidenciar que o teor médio de absorção de água do concreto de traço sem CBC foi menor, se comparado ao teor médio de absorção de água do concreto de traço CBC, sendo igual a 2,644 e 3,422 respectivamente.

### 6.3 ATAQUE DOS SULFATOS

Após submeter os corpos de prova ao ensaio de ataque dos sulfatos por imersão, como já descrito no subitem 5.3 – Ataque de Sulfatos por Imersão, os dados foram medidos através do ensaio de resistência à compressão. Com o objetivo de compreender o caso, pode-se comparar as resistências à compressão obtidas em ambiente de cura natural ao de ambiente de 7 dias de cura e envelhecimento em ambiente com concentração de sulfato (de 14 e 28 dias).

Observa-se que, no ensaio de resistência à compressão, não foram ensaiados corpos de prova para 14 dias de idade. Isso porque a ABNT NBR 6118:2014 prevê cálculos teóricos para estimativa de resistência à compressão do concreto para idades menores que 28 dias, a partir da resistência à compressão característica  $f_{ck}$  de 28 dias.

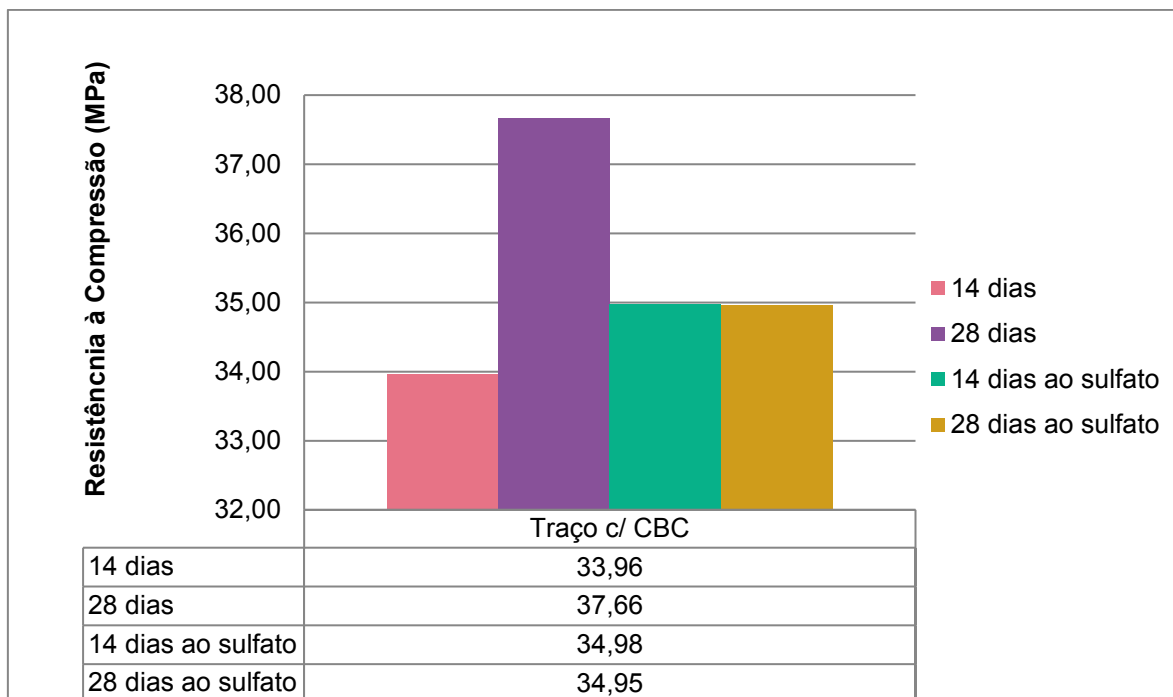
Dessa forma, os resultados obtidos serão apresentados logo a seguir, sendo que na Figura 12 encontram-se os dados referentes ao traço s/ CBC e na Figura 13 encontram-se os dados referentes ao traço c/ CBC.



**Figura 12 - Resistência à Compressão dos CP de envelhecimento natural e ao sulfato, idades de 14 dias e 28 dias, traço s/ CBC**

**Fonte: Autoria própria (2019)**

Os dados indicam que a resistência à compressão do concreto em estudo, envelhecido em ambiente concentrado com sulfatos, apresenta um aumento de 0,76 MPa para 14 dias de imersão e redução de 3,65 MPa para 28 dias de imersão, quando comparado ao concreto de referência. Ademais, observa-se que o envelhecimento em água apresenta um ganho da resistência nas idades estudadas, enquanto que o envelhecimento ao sulfato apresenta redução da mesma. Em outras palavras, no primeiro ambiente de submersão, a relação resistência e tempo de envelhecimento são diretamente proporcionais; em contrapartida, no segundo caso, a relação resistência e tempo de envelhecimento são inversamente proporcionais.



**Figura 13 - Resistência à compressão dos CP de envelhecimento natural e ao sulfato, idades de 14 dias e 28 dias, traço c/ CBC**

**Fonte: Autoria própria (2019)**

Na composição contendo CBC, os dados do gráfico indicam que a resistência à compressão do concreto em estudo, envelhecido em ambiente concentrado com sulfatos, apresenta um aumento de 1,02 MPa para 14 dias de imersão e redução de 2,71 MPa para 28 dias de imersão quando comparado com o concreto de referência. Em adição, observa-se que o concreto envelhecido em água apresenta um ganho da resistência nas idades estudadas, ao passo que o envelhecimento ao sulfato apresenta redução da mesma. Ou seja, no primeiro ambiente de submersão, a relação resistência e tempo de envelhecimento são diretamente proporcionais; em contrapartida, no segundo caso, a relação resistência e tempo de envelhecimento são inversamente proporcionais.

Portanto, pode-se concluir que, nesta etapa da pesquisa, o comportamento de ambos os traços estudados são semelhantes no que diz respeito à redução das resistências, sugerindo que a incorporação de CBC no concreto não interfere substancialmente na durabilidade do mesmo.

Para melhor análise e comparação dos resultados, na Tabela 7 encontra-se o resumo das resistências obtidas, os coeficientes de variação e os índices de redução de ambos os traços, para ambas as idades.

**Tabela 7 - Resumo das compressões, coeficientes de variação (C.V.) e índices de redução (I.R.) dos concretos de traço s/ CBC e traço c/ CBC, para as idades de 14 e 28 dias.**

	Concreto	$f_{cm}$ em água (MPa)	$f_{ck}$ em água (MPa)	C.V.	Desvio padrão (MPa)	$f_{cm}$ em sulfato (MPa)	$f_{ck}$ em sulfato (MPa)	C.V.	Desvio Padrão (MPa)	I.R.
14 dias	Traço s/ CBC	-	34,23	-	-	36,75	34,99	2,33	1,07	1,02
	Traço c/ CBC	-	33,96	-	-	34,98	34,98	2,51	0,91	1,03
28 dias	Traço s/ CBC	39,48	37,96	2,33	0,92	37,74	34,31	5,51	2,08	0,90
	Traço c/ CBC	40,12	37,66	3,71	1,49	38,37	34,95	5,40	2,07	0,93

Fonte: Autoria própria (2019)

Observa-se que, para a idade de 14 dias, a resistência à compressão média ( $f_{cm}$ ) em água e o coeficiente de variação não constam na Tabela 7, uma vez que a resistência à compressão desse caso foi obtida diretamente através do  $f_{ck}$  de 28 dias e não através de ensaios. Entretanto, os demais coeficientes de variação calculados para os casos são menores do que 15%. Sendo assim, os dados são considerados homogêneos ou de baixa dispersão, já que o parâmetro analisa a dispersão em termos relativos.

Analisando os índices de redução, é possível observar que: aos 14 dias de ensaio ao ataque de sulfatos, o concreto s/ CBC apresentou uma aumento da resistência à compressão de 2% em relação ao referencial adotado; aos 14 dias de ensaio ao ataque de sulfatos, o concreto c/ CBC apresentou um aumento da resistência à compressão de 3% em relação ao referencial adotado; aos 28 dias de ensaio ao ataque de sulfatos, o concreto s/ CBC apresentou uma redução da resistência à compressão de 10% em relação ao referencial adotado; e por fim, aos 28 dias de ensaio ao ataque de sulfatos, o concreto c/ CBC apresentou uma redução da resistência à compressão de 7% em relação ao referencial adotado.

Como os índices de redução tiveram um comportamento semelhante, pode-se concluir que a adição de CBC, nas idades de 14 e 28 dias, não contribuiu, nem prejudicou a resistência à compressão do concreto.

## 6.4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os objetivos deste trabalho foram atingidos.

A comparação do valor da resistência à compressão, alcançada pelas dosagens sugeridas por Molin Filho (2012) para a idade de 28 dias de cura, provam que as propriedades dos CAA produzidos, tanto no presente trabalho quanto no do autor, apresentam propriedades semelhantes, uma vez que a classificação para ambos os traços (com e sem CBC) se enquadram ao grupo I e classe C35.

Ademais, foi possível relacionar a influência dos parâmetros de composição no potencial de absorção das argamassas desses concretos. O resultado dessa análise mostra que o teor médio de absorção de água do concreto de traço sem CBC foi menor, comparado ao teor médio de absorção de água do concreto de traço com CBC, sendo igual a 2,644 e 3,422 respectivamente. Entretanto, ambos os resultados são considerados aceitáveis e positivos em termos de absorção de água e influência na durabilidade.

Por fim, conclui-se que, ao comparar os resultados obtidos da influência do ataque de sulfatos no concreto autoadensável, quando substituído parcialmente o Cimento Portland Composto por cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), o desempenho de ambos os traços estudados sugere que a incorporação da CBC no CAA não interfere significativamente na durabilidade do mesmo. Esse fato também pode ser observado através dos índices de redução que apresentaram comportamento semelhante para ambos os traços, aos 14 e 28 dias de envelhecimento em concentração de sulfato.

Em suma, a avaliação final do trabalho foi positiva tendo em vista que a incorporação da CBC no CAA não contribuiu nem prejudicou a durabilidade do mesmo, no que diz respeito ao ataque de sulfatos. Em adição, a incorporação deste material na indústria da construção civil contribui para a destinação de resíduos industriais, tecnologia e desenvolvimento de novos materiais e redução de custos na produção de concreto.

## 6.5 SUGESTÃO PARA FUTUROS TRABALHOS

Com o intuito de complementar os resultados obtidos e contribuir para esta área da ciência, sugere-se:

- Análise de ataque aos sulfatos utilizando cimento de outras categorias, principalmente os cimentos próprios para resistir o ataque aos sulfatos.

- Análise dos demais parâmetros de durabilidade, como o ensaio de carbonatação e de ataque aos cloretos.
- Análise de custos que a incorporação deste material traria na indústria da construção civil.



## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C1012: test method for length change of hydraulic-cement mortars exposed to a sulfate solution. Philadelphia, 1987.

ANDRADE, Jairo Jose de Oliveira. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco.** Porto Alegre, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768: **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland- Requisitos.** ABNT, 2008. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 7211:2009 **Agregados para concreto – Especificação.** ABNT, 2009. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53:2009: **Agregado graúdo: Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** ABNT, 2009. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900-1: **Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos.** ABNT, 2009. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778:1987: **Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão: índice de vazios e massa específica.** ABNT, 1987. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** ABNT, 1994. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** ABNT, 2008. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: **Concreto para fins estruturais- Classificação por grupo de resistência**. ABNT, 2015. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. ABNT, 2006. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217: **Determinação de composição granulométrica dos agregados**. ABNT, 1982. Rio de Janeiro, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. ABNT, 2003.

BARROS, Pedro Gustavo dos Santos et al. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto auto-adensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito**. 2008.

BRAGANÇA, Mariana D. **Avaliação e monitoramento dos mecanismos de deterioração do concreto exposto aos íons cloreto e sulfato e o efeito da adição de Nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> por espectroscopia de impedância eletroquímica**. Curitiba, 2014.

CACURO, Thiago A.; WALDMAN, Walter R. **Cinzas da Queima de Biomassa: Aplicações e Potencialidades**. Revista Virtual de Química, v. 7, n. 6, p. 2154-2165, 2015.

CAMPOS, Ana Mara Da Rocha. **Estudo da agressividade do ar atmosférico de Fortaleza/CE**. Dissertação (Mestrado Universidade Federal Do Ceará). Fortaleza, 2016.

CHANG, Raymond. **Química geral**. AMGH Editora, 2009.

CORDEIRO, Guilherme Chagas; TOLEDO FILHO, Romildo Dias; FAIRBAIRN, Eduardo de Moraes Rego. **Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios**. Characterization of sugar cane bagasse ash for use as pozzolan in cementitious materials. Química Nova, v. 32, n. 1, p. 82-86, 2009.

CORDEIRO, Guilherme Chagas. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. 2006. Tese de Doutorado. Tese Doutorado. Ciências em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

ESTADÃO. **Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar**. Disponível em <<http://www.neomundo.org.br/2018/06/21/brasil-e-o-maior-produtor-mundial-de-cana-de-acucar/>> Acesso em 30 out. 2018.

HELENE, Paulo RL. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo, v. 231, p. 14, 1993.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de cimento Portland**. Isaia, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON, v. 2, p. 905-944, 2007.

HOPPE FILHO, J. et al. **Ataque de matrizes cimentícias por sulfato de sódio: adições minerais como agentes mitigadores**. Cerâmica, São Paulo, v. 61, n. 358, p. 168-177, Junho 2015.

FAZZAN, J. V. et al. **Análise Da Viabilidade De Utilização Da Cinza Do Bagaço De Cana-De-Açucar Como Adição Mineral Em Argamassas Cimentícias**. 2014.

FERREIRA, Rui Miguel; JAJALI, Said. **Betão autocompactável: influência dos superplastificantes (carboxilatos modificados) na fluidez e deformabilidade das pastas ligantes**. 2002.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, v. 102, 2000.

MACEDO, P. C. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MANUEL, Paulo Jorge Miguel. **Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concretos auto-adensáveis**. 2005.

MARCHAND, Jacques; ODLER, Ivan; SKALNY, Jan P. **Sulfate attack on concrete**. CRC Press, 2003.

MARQUES, Ana Carolina. **Concreto auto-adensável: caracterização da evolução das propriedades mecânicas e estudo da sua deformabilidade por solicitação mecânica, retração e fluência**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MATEUS, Ricardo. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. 2004. Tese de Doutorado.

MOLIN FILHO, R G. D. **Concreto autoadensável com a utilização da cinza do bagaço de cana**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2012.

MOREIRA, Amacin Rodrigues. **Apostila de tecnologia do concreto**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2004.

NEVILLE, Adam. **Cement and Concrete: Their Interrelation in Practice - Advances in Cement and Concrete**. Editors: Michael W. Grutzeck and Shondeep L. Sarkar. American Society of Civil Engineers, 1994.

NEVILLE, Adam M. **Properties of concrete**. Fourth edition. Longman, Edinburgh, 1995.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. Bookman Editora, 2013.

PAULA, Marcos Oliveira. **Potencial da cinza do bagaço da cana de açúcar como material de substituição parcial ao cimento Portland**. 2006. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. p – 20.

PETRONILHO, Edson; SÍGOLO, Caio. **Durabilidade do concreto- Princípios fundamentais para projetar e executar estruturas duráveis**. 2011.

SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da. **Durabilidade do concreto à ação de sulfatos: análise do efeito da permeação de água e da adição de microssílica.** 1994.

SOUZA, Zilmar José de; AZEVEDO, Paulo Furquim de. **Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas.** Revista de Economia e Sociologia rural, v. 44, n. 2, p. 179-199, 2006.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena. **Concreto auto-adensável.** São Paulo: PINI, 2008