

# Ensino Médio com Habilitação Profissional de TÉCNICO EM QUÍMICA

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

### CONCRETO COM ADIÇÃO PARCIAL DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Orientação:

Ana Paula Jacobasso Chamon

<b>Alunos</b>
Cauã Eduardo Barbosa Leopoldo Cauã Moraes de Carvalho Fernando Henrick Modesto Barros Giovana Napyt Komatsu

PIRACICABA - SP  
2024

Cauã Eduardo Barbosa Leopoldo  
Cauã Moraes de Carvalho  
Fernando Henrick Modesto Barros  
Giovana Napy Komatsu

# **CONCRETO COM ADIÇÃO PARCIAL DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química da escola ETEC Cel. Fernando Febeliano da Costa, orientado pelo professor Ana Paula Jacobasso, como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Química.

**PIRACICABA - SP  
2024**

Cauã Moraes de Carvalho  
Cauã Eduardo Barbosa Leopoldo  
Fernando Henrick Modesto Barros

Giovana Napty Komatsu

## CONCRETO COM ADIÇÃO PARCIAL DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso Técnico em  
Química da escola ETEC Cel. Fernando  
Febeliano da Costa, orientado pela  
professora Ana Paula Jacobasso, como  
requisito parcial para a obtenção do  
título de Técnico em Química.

### APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Ana Paula Jacobasso  
Coordenadora da Área e Presidente da Banca Examinadora



---

Prof. Wagner Fernando Ferreira – Examinador



---

Prof. Ulisses Aparecido Camargo Rosa – Examinador

Piracicaba – SP

2024

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus por nos conceder determinação, paciência, disposição e fé para realizar e concluir este projeto. Agradecemos, também, às nossas famílias e amigos, que nos ofereceram apoio constante ao longo desse percurso. Nosso especial agradecimento à nossa orientadora, Profa. Ana Paula Jacobasso Chamon, por sua paciência, por acreditar no nosso grupo até o final e por compartilhar conosco suas experiências e conhecimentos, sempre nos aconselhando e guiando com sabedoria.

Gostaríamos ainda, de expressar nossa gratidão aos professores Prof. Wagner Fernando Ferreira, Prof. Ulisses Aparecido Camargo Rosa, Prof. Josinei Venâncio Cordeiro, Prof. Felisberto Gonçalves Santos Junior e ao auxiliar técnico de laboratório, André Luis Cera, por sua valiosa contribuição, conhecimento e apoio ao longo deste processo.

Agradecemos especialmente à Usina de Açúcar e Álcool Granelli, localizada em Charqueada - SP, pela doação da matéria-prima essencial para este trabalho. Estendemos também nossa gratidão à empresa Prenko Produtos Refratários e Nano Compostos e ao aluno e colaborador Rafael Moral Giacomini, do curso Modular de Química da Etec. Coronel Fernando Febeliano da Costa, pelo auxílio inestimável tanto na parte teórica quanto na prática deste trabalho.

## RESUMO

A utilização de concretos de alto desempenho (CAD) vem apresentando uma demanda crescente na construção civil pois possuem alta resistência e reduzida permeabilidade, que resultam em alta durabilidade. Para o presente projeto decidimos produzir um concreto com adição parcial de cinza de bagaço de cana-de-açúcar denominado (CBC), expressivo subproduto das indústrias sucroalcooleiras. Existe um grande desafio em relação ao descarte desse resíduo e, de acordo com suas propriedades, apresenta grande potencial de ser utilizado como aditivo mineral em concretos, pois sua composição básica é dióxido de silício. A partir do proposto, esta pesquisa teve a finalidade de analisar e comparar o desempenho do concreto com adição de 20% de CBC em relação ao concreto padrão. As práticas realizadas foram determinações dos teores de ferro, cálcio e magnésio do CBC, absorção de água, resistência à compressão e resistência a ataques químicos. Através das análises foi possível concluir que em determinados casos, o concreto com adição de CBC apresentou resultados abaixo ou até mesmo próximo ao do concreto de referência porém para uma melhor compreensão do comportamento do concreto com adição de CBC ao longo do tempo, mais estudos devem ser feitos.

**Palavras-chave:** Concreto de alto desempenho, Cinza de bagaço de cana-de-açúcar, Sustentabilidade, Aditivo mineral, Resistência à compressão, Resistência química, Indústria da construção

## **ABSTRACT**

The use of high-performance concrete (HPC) has been increasing in the construction industry due to its high strength, reduced permeability, and enhanced durability. For this project, we decided to produce a concrete partially based on sugarcane bagasse ash (SBA), as this raw material is a byproduct of the sugar and ethanol industries, presenting a significant disposal challenge. Given its properties, it shows great potential as a mineral additive in concrete due to its silicon dioxide composition. This research aims to analyze and compare the performance of concrete with the addition of 20% SBA to that of standard concrete. The tests conducted included the determination of iron, calcium, and magnesium content in SBA, absorption, compressive strength, and resistance to chemical attacks. It was concluded that, in certain cases, the concrete with SBA addition showed results below or close to those of the reference concrete; however, this is an area that requires further study and extended testing and analysis time.

**KEY WORDS:** High-performance concrete, Sugarcane bagasse ash, Sustainability, Mineral additive, Compressive strength, Chemical resistance, Construction industry

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	7
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA .....	8
1.3 HIPÓTESES.....	8
1.4 OBJETIVO GERAL .....	8
1.5 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	9
<b>2. DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>9</b>
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
2.1.1 Concreto de cimento Portland .....	9
2.1.2 Cana-de-açúcar .....	9
2.1.2.1 Bagaço da Cana-de-açúcar.....	10
2.1.2.2 Cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar .....	10
2.1.2.3 Características químicas da cinza de bagaço de cana-de-açúcar.....	10
2.1.2.4 Vantagens da Cinza do Bagaço da Cana em relação ao concreto comum.....	11
<b>2.2 METODOLOGIA</b> .....	<b>11</b>
2.2.1 METODOLOGIA DO TEOR DE FERRO .....	12
2.2.1.1 Materiais e reagentes: .....	12
2.2.1.2 Procedimento.....	12
2.2.2 METODOLOGIA DO TEOR DE CALCIO E MAGNÉSIO.....	14
2.2.2.1 Materiais e Reagentes.....	14
2.2.2.2 Preparo da solução de $\text{Ca}^{2+}$ 0,010mol/L .....	28
2.2.2.3 Preparo e Padronização da solução de EDTA 0,010 mol/L .....	28
2.2.2.4 Preparo do Extrato .....	29

2.2.2.5	Determinação de Cálcio e Carbonato de Cálcio .....	30
2.2.2.6	Determinação de Magnésio e Carbonato de Magnésio.....	31
2.2.3	METODOLOGIA DA GRANULOMETRIA .....	31
2.2.3.1	Materiais e Reagentes.....	31
2.2.3.2	Análise das Cinzas.....	25
2.2.4	METODOLOGIA DO TESTE DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (SLUMP TEST)	
	25	
2.2.4.1	Materiais e Reagentes.....	25
2.2.4.2	Slump Test.....	27
2.2.5	METODOLOGIA DO PREPARO DO CONCRETO .....	27
2.2.5.1	Materiais e Reagentes.....	27
2.2.5.2	Preparo do Concreto .....	2
2.2.6	METODOLOGIA DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO (PENETRAÇÃO DE CLORETOS).....	3
2.2.6.1	Materiais e Reagentes.....	3
2.2.6.2	Ensaio de Resistência a Penetração de Cloretos .....	3
2.2.7.2	Ensaio de Resistência ao Ataque Químico .....	20
2.2.8	METODOLOGIA DA ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	22
2.2.8.1	Materiais e reagentes .....	22
2.2.8.2	Preparo do concreto seco .....	22
2.2.8.3	Preparo do concreto úmido.....	23
2.2.8.4	Determinação da porcentagem de água absorvida.....	24
2.2.9	METODOLOGIA DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO (ÁCIDO LÁTICO)	24
2.2.9.1	Materiais e Reagentes.....	24
2.2.10	METODOLOGIA DO TESTE DE RESISTENCIA .....	25
2.2.6.1	Materiais e Reagentes.....	25

2.2.10.2 Teste de Resistencia .....	25
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
3.1 TEOR DE FERRO .....	30
3.2 TEOR DE CALCIO E MAGNÉSIO .....	30
3.3 GRANULOMETRIA .....	32
3.4 TESTE DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (SLUMP TEST).....	32
3.5 RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO (PENETRAÇÃO DE CLORETOS) .....	33
3.6 RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO (ÁCIDO LÁTICO) .....	34
3.7 ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	36
3.9 TESTE DE RESISTENCIA.....	1
3.10 TESTE DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (SLUMP TEST) .....	38
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>39</b>
<b>5.REFERENCIAS.....</b>	<b>40</b>

## LISTA DE IMAGENS

Imagem 1: Referência para o ponto de viragem.....	28
Imagem 2: Soluções de EDTA e extrato .....	29
Imagem 3: Solução com ERIOCROMO-T .....	29
Imagem 4: Coloração roxa indicada.....	30
Imagem 5: Resultados após titulação .....	31
Imagem 6: Preparo de solução de NaCl.....	18
Imagem 7: Concretos antes de ser submerso .....	19
Imagem 8: Concreto submerso .....	19
Imagem 9: Concreto após o período submerso.....	19
Imagem 10: Concreto seco .....	23
Imagem 11: Concreto submerso na água .....	23
Imagem 12: Preparo da solução de ácido lático.....	21
Imagem 13: Ácido lático 85% .....	21
Imagem 14: Baldes com a solução de ácido lático.....	21
Imagem 15: Baldes após submergir o concreto .....	22
Imagem 16: Concreto após o ataque químico .....	22
Imagem 17: Concreto na prensa .....	1
Imagem 18: Concreto após a ruptura.....	1
Imagem 19: Concreto após os testes de resistência .....	1
Imagem 20: Slump Test do Concreto com CBC.....	27
Imagem 21: Preparo do concreto .....	2
Imagem 22: Concreto de CBC .....	3
Imagem 23: Concreto Padrão .....	3
Imagem 24: Concretos após a ruptura vertical.....	33
Imagem 25: Solução de Nitrato de Prata.....	33
Imagem 26: Concreto após a aplicação do $\text{AgNO}_3$ .....	34

## LISTA DE TABELAS E GRAFICOS

Tabela 1: Cálculo do Teor% de $\text{Ca}^{2+}$ .....	30
Tabela 2: Cálculo do Teor% de $\text{Mg}^{2+}$ .....	31
Tabela 3: Pesagem dos concretos antes do ácido lático .....	35
Tabela 4: Pesagem dos concretos depois do ácido lático.....	35
Tabela 5: Perda de massa dos concretos depois do ácido lático.....	35
Tabela 6: Resultados do ensaio de resistência à compressão em $\text{Kgf/cm}^2$ .....	37
Tabela 7: Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa .....	37

## LISTA DE SIGLAS

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ASTM** - American Society for Testing and Materials

**CAD** - Concreto de Alto Desempenho

**CBC** - Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar

**C-S-H** - Silicato de Cálcio Hidratado

**CONAB** - Companhia Nacional de Abastecimento

**CO<sub>2</sub>** - Dióxido de Carbono

**EDTA** - Ácido Etilenodiaminotetracético

**HCl** - Ácido Clorídrico

**HNO<sub>3</sub>** - Ácido Nítrico

**MgO** - Óxido de Magnésio

**MPa** - Mega Pascal

**NBR** - Norma Brasileira Regulamentadora

**NH<sub>4</sub>OH** - Hidróxido de Amônio

**NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>** - Nitrato de Amônio

**NaCl** - Cloreto de Sódio

**SiO<sub>2</sub>** - Dióxido de Silício

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade o material mais utilizado pela humanidade é o concreto, proveniente do cimento Portland. Com o aumento do processo de Gentrificação isso acaba acarretando um sério problema onde a crescente demanda pela produção de cimento causa grandes impactos ao meio ambiente pois um dos principais constituintes do concreto, o clínquer, é gerado cerca de uma tonelada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), dentre outros gases, a cada tonelada produzida pelas indústrias cimentícias mundiais. Sob essa perspectiva, é de suma importância avaliar alternativas que causem menor impacto ao ambiente e para isso, este projeto visa analisar duas metodologias que tem como foco diminuir a emissão de gases através de uma mistura utilizando Cinza do Bagaço da Cana (CBC) e em substituição parcial ao cimento.

O concreto tem diversas aplicações dentro da engenharia civil e misturas contendo compostos aglomerantes e agregados juntamente com a água, tem sido empregadas nas construções estruturais visando melhorar a resistência às diversas degradações ambientais. O que condiciona isto são características como a alta resistência mecânica, o custo relativamente baixo, a versatilidade de formas e a rapidez no desenvolvimento da estrutura (GARTNER, 2004). E dentro de um cenário onde a liberação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) pela indústria de cimento é consequência da calcinação do calcário e da queima de combustíveis fósseis nas etapas da fabricação do clínquer (CORDEIRO, 2006), o uso de resíduos industriais e agroindústrias para substituir parte do cimento na fabricação de concretos e argamassas é de grande interesse pois além de reduzir os problemas ambientais associados à produção do clínquer, ainda contribui para a redução do custo ambiental da degradação dos resíduos agroindustriais. Diante disso, os materiais pozolânicos quando incorporados ao concreto trazem benefícios à reologia, durabilidade e às propriedades mecânicas dos materiais (CHUSILP, 2009).

Contudo o fato de o Brasil ser considerado o maior produtor de cana-de-açúcar e seus derivados (açúcar e etanol), é durante a extração do caldo da cana-de-açúcar é gerada grande quantidade de bagaço de cana, essa biomassa é de grande importância como fonte energética. No Brasil, cerca de 95% de todo bagaço produzido é queimado em caldeiras, gerando como resíduo a cinza de bagaço que por sua vez pode causar grandes problemas ambientais de descartada inadequadamente. Esta cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) é constituída basicamente de sílica,  $\text{SiO}_2$ , que faz com que

apresente grande potencial para ser utilizada como adição mineral em argamassas e concretos (CORDEIRO et al. 2).

Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, esses resíduos deveriam ser reaproveitados porém essa ideia ainda não está disseminada de forma abrangente. A grande área da Construção Civil vem se esforçando para conscientizar todas as cadeias envolvidas no processo sobre a problemática da geração de resíduos. A incorporação de minerais em concretos pode ter um efeito benéfico sobre algumas de suas propriedades e isso se dá devido ao refinamento dos poros e dos grãos, aumento da tortuosidade dos canais e redução da interconectividade dos poros. A substituição parcial dos agregados miúdos por CBC aumenta a resistência à compressão da argamassa entre 20% e 30% (LIMA et al.).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a resistência mecânica e a durabilidade de concreto com adição mineral de CBC em substituição parcial ao agregado miúdo através de ensaios de resistência ao ataque químico e penetração de cloretos.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

O uso de resíduos agroindustriais na construção civil tem ganhado destaque devido ao seu potencial para reduzir o impacto ambiental e promover práticas mais sustentáveis. Nesse contexto, o bagaço da cana-de-açúcar, um subproduto abundante da indústria sucroalcooleira, apresenta-se como uma matéria-prima passível para aplicação na construção civil, especialmente na produção de cimento.

A análise química do bagaço da cana é essencial para entender sua composição e viabilidade como aditivo na construção de cimento. A composição química do bagaço, incluindo a presença de sílica e outros óxidos, pode influenciar as reações de hidratação do cimento, afetando suas propriedades finais.

Ademais, o uso do bagaço da cana na fabricação de cimento pode contribuir para a redução de custos e o consumo de recursos naturais, além de diminuir a quantidade de resíduos gerados pela indústria.

## **1.2 PROBLEMA DE PESQUISA**

A indústria sucroalcooleira gera grande volume de resíduos e, mesmo após seu uso na queima para geração de energia, ainda apresenta resíduo com potencial risco ambiental, capaz de poluir o solo e a água se não for descartado adequadamente. Estas cinzas podem ser utilizadas na fabricação de concretos mais sustentáveis, substituindo parcialmente o cimento convencional. Tendo isso em vista como o uso de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) na substituição parcial do concreto pode reduzir os impactos ambientais, econômicos e substituir o concreto comum?

## **1.3 HIPÓTESES**

A substituição parcial do cimento convencional por cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) melhora a resistência e a durabilidade do concreto.

A utilização de CBC como aditivo em concretos reduz a emissão de CO<sub>2</sub> associada à produção de cimento Portland, contribuindo para a mitigação do impacto ambiental causado pela indústria da construção civil.

O concreto feito com a CBC apresenta menor resistência à altas variações de temperatura.

A substituição parcial de cimento convencional por CBC reduz o custo de produção do concreto, tornando-o uma alternativa viável economicamente para projetos de construção sustentável.

O concreto com adição parcial de CBC é mais indicado para aplicações em ambientes menos agressivos em comparação ao concreto padrão.

## **1.4 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste trabalho é comparar o desempenho de concretos sustentáveis utilizando como matéria-prima a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), em relação a um concreto convencional de cimento Portland (concreto padrão).

## **1.5 OBJETIVO ESPECÍFICO**

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Caracterizar o perfil dos minerais: Ferro, Cálcio e Magnésio do CBC;
- Comparar o desempenho do CBC em relação a um concreto padrão através das análises de absorção de água, resistência à compressão e resistência a ataques químicos.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Fundamentação Teórica**

#### **2.1.1 Concreto de cimento Portland**

Como um dos elementos principais para esse projeto, o concreto, segundo Couto et al. (2013), é o principal componente utilizado para as construções, sendo um elemento heterogêneo composto por cimento, água e agregados como pedra, areia etc., podendo ser acrescentado outros aditivos. É um material fundamental utilizado pelo homem na engenharia, que considerando o crescimento populacional, e o conseqüente aumento da construção civil, gerou um grande consumo de cimento, principal componente do concreto. Porém, o cimento carrega consigo grandes desvantagens como a emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em sua produção (ao utilizar o clínquer) e a extração de matéria-prima.

#### **2.1.2 Cana-de-açúcar**

Atualmente, o Brasil é responsável pela produção de cerca de 60% do álcool etílico consumido no planeta e é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e açúcar (CONAB, 2019). A cultura da cana-de-açúcar representa uma das principais atividades agrícolas e ocupa uma área plantada com aproximadamente 8,7 milhões de hectares para diversas finalidades, como indústria sucroalcooleira, produção de aguardente, forragem etc. Está distribuída por grande parte do território nacional segundo levantamento da safra 2024/25 pela CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento).

### **2.1.2.1 Bagaço da Cana-de-açúcar**

A agroindústria sucroalcooleira é uma das mais antigas atividades econômicas do Brasil e está relacionada aos principais eventos históricos do país. Tem como um de seus principais subprodutos o bagaço da cana-de-açúcar, o qual é constituído majoritariamente por celulose (38-50 %), hemicelulose (22-32 %) e lignina (17-32 %), apresenta umidade de 50% e devido aos grandes montantes de cana-de-açúcar processados no setor, tornam a quantidade gerada de bagaço significativa (COELHO, 1999 apud SOUZA, 2007). O bagaço gerado como subproduto acaba sendo utilizado nas próprias destilarias e usinas na cogeração de energia pois sua queima apresenta poder calorífico médio de 7,74 MJ/kg (1850 kcal/kg), tornando esta atividade altamente atrativa devido à expressiva geração de energia elétrica (SILVA et al., 2016; PANG et al., 2016; HUANG et al., 2016).

### **2.1.2.2 Cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar**

Como já citado antes e sendo o foco e o componente principal desse trabalho, as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar têm sua produção a partir de um processamento nas usinas, com isso o bagaço produzido em usinas é diferente dos que são para fins de garapa, feito a partir da pulverização da cana-de-açúcar, e a composição das cinzas corresponde mais de 60% de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) dependendo da matéria-prima. Segundo Almeida et al. (2015), e de acordo com Rebelato et al. (2013) as cinzas caracterizam-se com macro (P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Zn, Fe, Cu, Mn, B, Mo), sendo que este resíduo apresenta impacto para a atmosfera, água e solo. E sendo resíduo sólido não biodegradável, rico em sílica cristalina podem ter aplicações em processos na síntese de cerâmica (FARIA et al., 2012); aditivo ao cimento e argamassa (GANESAN et al., 2007) e até mesmo aplicações em processos de purificações demonstrando eficácia como adsorventes comerciais (Janos et al., 2003).

### **2.1.2.3 Características químicas da cinza de bagaço de cana-de-açúcar**

Normalmente, este subproduto é empregado como combustível em processos de cogeração de energia. Após a queima, sobram cinzas residuais cuja composição química revela a presença predominante de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ). Para cada tonelada de cana-

de-açúcar que alimenta o processo de moagem são gerados aproximadamente 26% de bagaço (umidade de 50%) e 0,62% de cinza residual (CORDEIRO, 2006).

Com base nestes índices, na última safra (2024/25), houve uma disponibilidade de cerca de 4,2 milhões de toneladas de cinza residual. Normalmente, apesar de ser um material de difícil degradação e que apresenta poucos nutrientes, as cinzas são descartadas na natureza de forma inadequada, utilizada como adubo nas lavouras de cana-de-açúcar (Sara Silva, 2024). Por ser constituída predominantemente de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), as cinzas podem ser utilizadas como matéria prima para a produção de materiais pozolânicos para concreto (SOUZA et al., 2007).

#### **2.1.2.4 Vantagens da Cinza do Bagaço da Cana em relação ao concreto comum**

Como já citado anteriormente umas das desvantagens da utilização de cimento comum é a emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na sua produção e a extração de recursos naturais, porém com a utilização das CBC isso irá implicar na redução da emissão além de dar um destino para os resíduos que são gerados na produção de agroindústria sucroalcooleira, e com a grande demanda por cimento no Brasil essa alternativa traz vantagens econômicas, sociais e ambientais (SA Lima, 2011).

## **2.2 METODOLOGIA**

Nesse processo de metodologia desenvolvemos e estruturamos análises voltados para composição química do CBC e realizamos testes para compararmos o desempenho do concreto com parcialmente de sua matéria substituída com CBC em relação ao concreto Padrão, a maioria das análises foram realizadas nos laboratórios de química da escola Etec. Coronel Fernando Febeliano da Costa, ademais tivemos auxílio da empresa Prenko Refratário para realizar as análises de Compressão, Granulometria e Slump Test.

## 2.2.1 Metodologia do Teor de Ferro

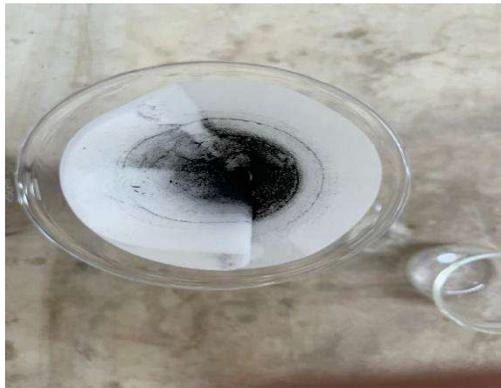
### 2.2.1.1 Materiais e reagentes:

- Bastão de vidro;
- Balança Analítica;
- Capela;
- Chapa de aquecimento;
- Erlenmeyer 250mL;
- Fita de pH;
- Funil analítico;
- Funil técnico;
- Garras;
- Papel alumínio;
- Papel de filtro qualitativo;
- Papel de filtro quantitativo;
- Papel tornassol;
- Pipeta de Pasteur;
- Pipeta graduada 2mL;
- Pipeta graduada 5mL;
- Pisseta;
- Suporte universal;
- Termômetro;
- Ácido clorídrico;
- Água destilada;
- Água oxigenada;
- Hidróxido de amônio;
- Nitrato de amônio (1%);

### 2.2.1.2 Procedimento

O procedimento foi realizado em duplicata. Inicialmente, 0,250 g das cinzas foram pesados e transferidos para um Erlenmeyer de 250 mL, ao qual foram adicionados 50 mL de água destilada com o objetivo de solubilizar a amostra. Dado que não houve solubilização, procedeu-se à digestão da amostra por meio da adição de 5 mL de HCl concentrado, aquecendo a mistura até a ebulição na tentativa de dissolução. Como ainda restaram resíduos sólidos, a solução foi filtrada para um segundo Erlenmeyer de 250 mL e diluída com mais 100 mL de água, seguida da adição de 2 mL de solução de HCl concentrado e 2 mL de peróxido de hidrogênio a 3%.

Imagem: Papel qualitativo após filtração



Fonte: Autor próprio

A solução foi, então, aquecida a  $70^{\circ}\text{C}$ , adicionando-se 3 g de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . A mistura continuou sob aquecimento até atingir  $95^{\circ}\text{C}$ , momento em que  $\text{NH}_4\text{OH}$  concentrado foi adicionado gradualmente, sob agitação constante, até um leve excesso, indicado pela mudança da coloração do papel de tornassol de rosa para azul. Como a mudança de coloração não foi observada, uma fita de pH foi utilizada para assegurar a condição desejada.

Foi adicionada solução de  $\text{NH}_4\text{OH}$  até que o pH atingisse o valor de 8, e a solução foi fervida por mais um minuto, a fim de promover a deposição de um precipitado que indicaria a presença de ferro. Contudo, não houve formação de precipitado, o que levou à interrupção do procedimento.

Imagem: Comparação da fita de pH (rosa) com a anterior papel tornassol



Fonte: Autor próprio

## 2.2.2 Metodologia do Teor de Calcio e Magnésio

### 2.2.2.1 Materiais e Reagentes

- Balão volumétrico de 100mL;
- Balão volumétrico de 250mL;
- Balança Analítica;
- Bastão;
- Bequer de 10mL;
- Bureta;
- Capela;
- Chapa de aquecimento;
- Erlenmeyer de 250mL
- Fita de pH;
- Funil analítico;
- Funil técnico;
- Hidróxido de Sódio (NaOH);
- Solução tampão (pH 10);
- Trietanolamina;
- Garras;
- Papel de filtro qualitativo;
- Pipeta de Pasteur;
- Pisseta;
- Suporte universal;
- Ácido Clorídrico (HCl);
- Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>)  
concentrado;
- CALCON;
- Carbonato de Cálcio (CaCO<sub>3</sub>);
- EDTA;
- ERIOCROMO T;

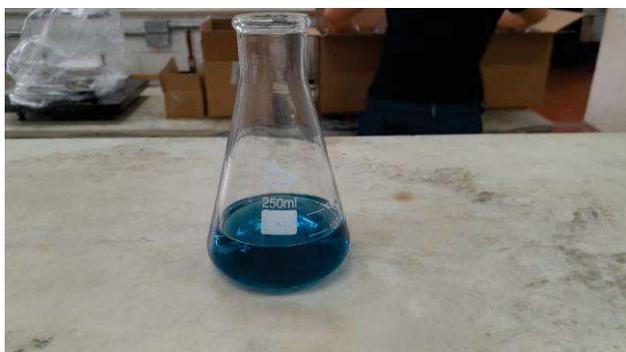
### 2.2.2.2 Preparo da solução de $\text{Ca}^{2+}$ 0,010mol/L

Primeiramente, calculou-se a massa de  $\text{CaCO}_3$  necessária para preparar 100 mL de uma solução a 0,010 mol/L. A quantidade determinada foi então pesada em uma balança analítica e transferida para um Erlenmeyer de 250 mL, onde se adicionou uma pequena quantidade de água destilada. Em seguida, sob exaustão na capela,  $\text{HCl}$  concentrado foi adicionado gradualmente, gota a gota, até que a efervescência cessasse, formando uma solução homogênea. A solução obtida foi então transferida para um balão volumétrico de 100 mL, e o volume ajustado até a marca de aferição com água destilada.

### 2.2.2.3 Preparo e Padronização da solução de EDTA 0,010 mol/L

Para auxiliar na percepção do ponto de viragem, foram adicionadas 3 gotas de solução de Eriocromo T em um Erlenmeyer de 250 mL, seguido de 100 mL de água destilada. A solução foi agitada até obter uma coloração azul, estabelecendo um ponto de referência para a titulação (titulação em branco).

Imagem 1: referência para o ponto de viragem



Fonte: Autor próprio

Posteriormente, calculou-se a massa necessária para preparar uma solução de EDTA a 0,010 mol/L. A quantidade calculada foi pesada em uma balança analítica e transferida para um balão volumétrico de 250 mL (Imagem 2), onde a solução foi preparada. Em outro Erlenmeyer de 250 mL, foram pipetados 20 mL da solução de  $\text{Ca}^{2+}$  a 0,010 mol/L, aos quais se adicionaram 75 mL de água destilada e 5 mL de solução tampão a pH 10, verificando-se o pH da mistura, que foi ajustado para 10.

Imagem 2: Soluções de EDTA e extrato



Fonte: Autor próprio

Em seguida, foram adicionadas 3 gotas de Eriocromo T, resultando em uma coloração rosada na solução. A titulação foi então realizada com a solução de EDTA até o ponto de viragem, indicado pela mudança de coloração para azul. Essa análise foi conduzida em triplicata para assegurar a reprodutibilidade dos resultados.

Imagem 3: Solução com ERIOCROMO-T



Fonte: Autor próprio

#### 2.2.2.4 Preparo do Extrato

Pesou-se 500 mg de Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar (CBC) em uma balança analítica e transferiu-se para um Erlenmeyer de 250 mL. Sob capela, foram adicionados 10

mL de solução de HCl concentrado e 10 gotas de HNO<sub>3</sub> concentrado. Em seguida, posicionou-se um funil na boca do Erlenmeyer e a mistura foi aquecida por 5 minutos em uma chapa aquecedora, até que o material se dissolvesse completamente. Após a dissolução, foram adicionados 30 mL de água destilada. A solução foi deixada esfriar à temperatura ambiente, seguida de filtragem direta para um balão volumétrico de 250 mL, no qual o volume foi ajustado até a marca de aferição com água destilada.

### 2.2.2.5 Determinação de Cálcio e Carbonato de Cálcio

Transferiram-se 10 mL do extrato obtido anteriormente para um novo Erlenmeyer de 250 mL, ao qual foram adicionados 100 mL de água destilada e 5 mL de solução de NaOH 0,5 mol/L. O pH foi verificado utilizando papel indicador, com o objetivo de garantir que o pH se elevasse a 12, ajustando-se conforme necessário com a pipeta de Pasteur. Em seguida, adicionaram-se 3 gotas de trietanolamina, e 0,5 g de Calcon foram pesados em papel alumínio. Imediatamente, a solução apresentou coloração azul, que, após algum tempo e leve agitação, se transformou em uma coloração roxa, conforme esperado.

Imagem 4: Coloração roxa indicada



Fonte: Autor próprio

Por fim, a titulação foi realizada utilizando a solução de EDTA 0,01 mol/L até o ponto de viragem, indicado pela coloração azul. Essa coloração azul deve permanecer estável por pelo menos 30 segundos, mesmo após agitação vigorosa. A prática foi realizada em triplicata para garantir a precisão e reprodutibilidade dos resultados.

Imagem 5: Resultados após titulação



Fonte: Autor próprio

### 2.2.2.6 Determinação de Magnésio e Carbonato de Magnésio

Transferiram-se 10 mL do extrato obtido anteriormente para um novo Erlenmeyer de 250 mL, ao qual foram adicionados 100 mL de água destilada e 5 mL de solução tampão pH 10. O pH foi verificado utilizando papel indicador, para garantir que o pH se elevasse a 10. Em seguida, adicionaram-se 10 gotas de trietanolamina e 3 gotas de Eriocromo T, resultando em uma coloração lilás ou rosa. Por fim, a titulação foi realizada rapidamente utilizando a solução de EDTA 0,01 mol/L, até o ponto de viragem, indicado pela mudança de cor para azul. Essa coloração azul deve permanecer estável, mesmo após 30 segundos de forte agitação. A prática foi realizada em triplicata para assegurar a precisão e reprodutibilidade dos resultados.

### 2.2.3 Metodologia da Granulometria

#### 2.2.3.1 Materiais e Reagentes

- Cinzas de bagaço de cana (CBC);
- Peneiras (mesh 80, 100 e 200);
- Balança técnica;
- Espátula;
- Agitador de balanças;
- Recipiente;
- Estufa;

### **2.2.3.2 Análise das Cinzas**

Pesaram-se 200 g de CBC (Cinza do Bagaço de Cana-de-Açúcar) e, em seguida, levou-se para a estufa a 60°C por 12 horas, com o objetivo de remover a umidade. Após o processo de secagem, a CBC foi retirada da estufa, peneirada e preparada para análise granulométrica. Para isso, foram separadas 100 g de CBC, que foram distribuídas entre as peneiras de malhas 80, 100 e 200. Iniciou-se a separação pela peneira de malha 80, realizando agitação por 10 minutos para garantir a adequada separação granulométrica.

Após a agitação, pesou-se a quantidade de material retido em cada peneira. A porcentagem do material retido em cada malha foi calculada com base na relação entre o peso do material retido e o peso inicial da amostra.

### **2.2.4 Metodologia do Teste de abatimento do tronco de cone (slump test)**

#### **2.2.4.1 Materiais e Reagentes**

- Aditivo (superplastificante);
- Água Destilada;
- Areia;
- Bacia;
- Balança;
- Baldes;
- Brita
- Cimento;
- Cinza do Bagaço da Cana (CBC);
- Placa de Acrílico;
- Cone;

### 2.2.4.2 Slump Test

Inicialmente, a massa do concreto a ser analisada foi preparada em um balde. Em seguida, uma placa de acrílico higienizada foi disposta em uma superfície plana e nivelada. O cone foi colocado sobre a placa de acrílico, e o concreto preparado foi despejado dentro do cone até que estivesse completamente preenchido. Após essa etapa, o cone foi erguido, permitindo que o concreto escorresse pela superfície da placa de acrílico. Após o escorrimento completo, foi medido o diâmetro médio da região formada pelo concreto, com o objetivo de determinar a fluidez e o comportamento do material.

Imagem 6: Slump Test do Concreto com CBC



Fonte: Auto próprio

### 2.2.5 Metodologia do Preparo do Concreto

#### 2.2.5.1 Materiais e Reagentes

- Aditivo (superplastificante);
- Água Destilada;
- Areia;
- Bacia;
- Balança;
- Baldes;
- Brita;
- Cimento;
- Cinza do Bagaço da Cana (CBC);
- Copos plásticos;

### 2.2.5.2 Preparo do Concreto

Seguindo uma tabela base de dosagem do concreto, foram pesadas as quantidades de cada material em duplicata, utilizando uma balança de precisão. Após a pesagem, os materiais foram adicionados em uma bacia. Inicialmente, a brita e o CBC (Cinza do Bagaço de Cana-de-Açúcar) foram misturados manualmente por 5 minutos. Em seguida, foi adicionada a areia, juntamente com metade da quantidade de água, e a mistura foi realizada por mais 1 minuto. Após essa etapa, o cimento foi incorporado à mistura, juntamente com o restante da água, e a mistura foi continuada por 3 minutos. Por fim, foi adicionado o aditivo, que foi misturado por 13 minutos.

Após o preparo do concreto, a massa final foi dividida em 15 copos plásticos, com capacidade aproximada de 150 ml cada, e os copos foram armazenados em uma câmara úmida improvisada, onde os corpos de prova permaneceram em processo de cura.

Imagem 7: Preparo do Concreto



Fonte: Autor próprio

Imagem 8: Concreto de CBC



Fonte: Autor próprio

Imagem 9: Concreto Padrão



Fonte: Autor próprio

## 2.2.6 Metodologia da Resistência ao Ataque Químico (Penetração de Cloretos)

### 2.2.6.1 Materiais e Reagentes

- Concreto;
- Balança técnica;
- Cloreto de Sódio;
- Água destilada;
- Espátula;
- Béquer 250ml;
- Béquer 600ml;
- Funil;
- Proveta de 500 ml;
- Balde;

### 2.2.6.2 Ensaio de Resistência a Penetração de Cloretos

Este ensaio foi realizado após o período de cura de 7 dias dos concretos. Os concretos foram retirados, secos ao ar por 24 horas e, em seguida, pesados em uma balança técnica. Após a pesagem, foi preparada uma solução de cloreto de sódio a 10% em um balão volumétrico de 2 L. Para isso, em um béquer de 250 mL, foi pesada a massa de 202 g de cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) com pureza de 99%, valor obtido por meio do cálculo utilizando a fórmula apropriada.

$C_1$  = concentração a ser diluída

$V_1$  = volume(L) necessário para a diluição

$C_2$  = concentração desejada

$V_2$  = volume (L)

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$99 \cdot V_1 = 10 \cdot 2$$

$$99 \cdot V_1 = 20$$

$$V_1 = \frac{20}{99}$$

$$V_1 = 0,202 L$$

$$V_1 = 202 ml$$

Imagem 10: Preparo de Solução de NaCl



Fonte: Autor próprio

Imagem 11: Concretos antes de ser submerso



Fonte: Autor próprio

Imagem 12: Concreto submerso



Fonte: Autor próprio

Com o auxílio de um béquer de 600 mL, dissolveu-se a massa de NaCl em etapas, transferindo a solução para o balão volumétrico com o auxílio de um funil. O volume foi completado com água destilada até a marca de aferição. Após a preparação da solução, esta foi transferida para um balde, onde o concreto foi imerso até a metade e mantido por um período de 3 dias. Ao final desse período, os concretos foram retirados da solução e submetidos a um processo de secagem por 2 dias.

Imagem 13: Concreto após o período submerso



Fonte: Autor próprio

### 2.2.7.2 Ensaio de Resistência ao Ataque Químico

Este ensaio foi realizado após o período de cura de 7 dias dos concretos. Os concretos foram retirados, secos ao ar por 24 horas e, em seguida, pesados em uma balança técnica. Após a pesagem, foi preparada uma solução de ácido láctico a 14% em um balão volumétrico de 2 L. Para isso, em uma proveta de 500 mL, foi medido o volume de 330 mL de ácido láctico a 85%, valor obtido por meio do cálculo utilizando a fórmula apropriada.

$C_1$  = concentração a ser diluída

$V_1$  = volume(L) necessário para a diluição

$C_2$  = concentração desejada

$V_2$  = volume (L)

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$85 \cdot V_1 = 14 \cdot 2$$

$$85 \cdot V_1 = 28$$

$$V_1 = \frac{28}{85}$$

$$V_1 = 0,329 L$$

$$V_1 \cong 330 ml$$

Imagem 14: Preparo da Solução de Ácido Lático



Fonte: Autor próprio

Imagem 15: Ácido Lático 85%



Fonte: Autor próprio

O volume de ácido láctico encontrado foi transferido para o balão volumétrico com o auxílio de um funil e uma baqueta de vidro, e o volume foi completado com água destilada até a marca de aferição. Após a preparação da solução, esta foi transferida para um balde, no qual o concreto foi imerso por 5 dias. Ao final desse período, os concretos foram retirados do recipiente que continha a solução ácida e lavados para remover os resíduos de concreto e os sais solúveis. Após o processo de lavagem, os concretos foram deixados secar ao ar livre por 6 dias. Após esse tempo de secagem, foi realizada uma nova pesagem, a partir da qual foi calculada a perda de massa do concreto.

Imagem 16: Baldes com a Solução de Ácido Lático



Fonte: Autor próprio

Imagem 17: Baldes após submergir o concreto



Fonte: Autor próprio

Imagem 18: Concreto após o ataque químico



Fonte: Autor próprio

## 2.2.8 Metodologia da Absorção de Água

### 2.2.8.1 Materiais e reagentes

- Balde;
- Concreto;
- Estufa;
- Água;
- Balança Técnica;

### 2.2.8.2 Preparo do concreto seco

O concreto, inicialmente não úmido, foi colocado na estufa para secagem até que toda a água infiltrada presente no material fosse evaporada. Após o processo de secagem, o concreto foi pesado, obtendo-se o peso do concreto seco ( $P_s$ )

Imagem 19: Concreto Seco



Fonte: Autor próprio

### 2.2.8.3 Preparo do concreto úmido

Após a secagem, o concreto foi submerso em um balde por cerca de 24 horas. Em seguida, o concreto com infiltração foi retirado e pesado, obtendo-se o peso do concreto saturado ( $P_{sat}$ ).

Imagem 20: Concreto Submerso na Água



Fonte: Autor próprio

#### 2.2.8.4 Determinação da porcentagem de água absorvida

Com os dados das pesagens do concreto seco e úmido, foi calculada a porcentagem de absorção de água utilizando a seguinte fórmula:

$$A(\%) = \frac{(P_{sat} - P_s)}{P_s} \cdot 100$$

Onde:

- $P_{sat}$  – é a massa do concreto saturada (úmido)
- $P_s$  – é massa do concreto seco

#### 2.2.9 Metodologia da Resistência ao Ataque Químico (Ácido Lático)

##### 2.2.9.1 Materiais e Reagentes

- |                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| - Concreto;         | -Capela;        |
| - Balança técnica;  | - Béquer 250ml; |
| - Ácido lático;     | -Funil;         |
| - Água destilada;   |                 |
| -Proveta de 500 ml; |                 |
| - Bastão de Vidro;  |                 |

## 2.2.10 Metodologia do Teste de Resistencia

### 2.2.6.1 Materiais e Reagentes

- Concreto (curado por 14 dias);
- Estufa;
- Prensa Universal;

#### 2.2.10.2 Teste de Resistencia

Após o processo de cura de 14 dias, os corpos de prova foram levados para a estufa a 60°C com o objetivo de eliminar qualquer resquício de umidade. Após o tempo de secagem, os concretos foram rompidos com o auxílio de uma prensa para determinar a resistência à compressão e a tensão de ruptura. A resistência à compressão foi calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$\sigma_c = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot D^2}$$

$\sigma_c$  = Tensão de ruptura (Mpac)

P= carga de ruptura lida na prensa (T)

D= diâmetro do corpo de prova (mm)

Imagem 21: Concreto na prensa



Fonte: Autor próprio

Imagem 22: Concreto após a ruptura



Fonte: Autor próprio

Imagem 23: Concreto após os testes de resistência

Com cinza/Sem cinza



Fonte: Autor próprio

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Teor de Ferro

Conforme descrito no procedimento, a análise foi interrompida após a adição de  $\text{NH}_4\text{OH}$  e o aquecimento da solução por mais 1 minuto, com a expectativa de que ocorresse a formação de um precipitado indicativo da presença de ferro. No entanto, tal precipitado não se formou. Como o procedimento foi realizado em duplicata, cada etapa foi cuidadosamente verificada. Com base na ausência de precipitado e nos resultados obtidos, concluímos que não há ferro presente na CBC (Cinza do Bagaço de Cana-de-Açúcar).

#### 3.2 Teor de Calcio e Magnésio

Após realizar as titulações, obtivemos os seguintes volumes para a Titulação do Cálcio: 1,3 mL, 0,9 mL e 1,2 mL. Calculando a média desses valores, encontramos o volume médio necessário para a titulação do Cálcio. Utilizando esse volume médio, realizamos o cálculo para determinar o Teor de Óxido de Cálcio ( $\text{CaO}$ ) presente na CBC.

Tabela 1: Cálculo do Teor% de  $\text{Ca}^{2+}$

1ª Etapa: Cálculo do Teor% de $\text{Ca}^{2+}$	
$\text{Ca}^{2+} = \text{EDTA}$	$\text{Ca}^{2+}$ Extrato
$n = n$	0,4049055472g - 10ml
$\frac{m}{M} = N \cdot V$	$m = 250\text{ml}$
$\frac{m}{40,078} = 0,108 \cdot 0,0013$	$m = 0,12263868\text{g } \text{Ca}^{2+}$
$\frac{m}{40,078} = 0,0001224$	$\text{Ca}^{2+}$ Cinza
$m = 0,0001224 \cdot 40,078$	0,12263868g - 0,500g
$m = 0,0049055472\text{g } \text{Ca}^{2+}$	$T = 100\text{g}$
	$T = 24,8\% \text{Ca}^{2+}$
2ª Etapa: Cálculo do Teor% de $\text{CaCO}_3$	
$\text{Ca}^{2+}$	$\text{CaCO}_3$
40,078g -	100,58g
24,8% -	$T\%$
$T\% = 61,23\% \text{CaCO}_3$	
3ª Etapa: Cálculo do Teor% de $\text{CaO}$	
$\text{Ca}^{2+}$	$\text{CaO}$
40,078g -	56,068g
24,8% -	$T\%$
$T\% = 34,7\% \text{CaO}$	

Fonte: Autor Próprio

Para determinar o Teor de Óxido de Magnésio (MgO), realizamos o mesmo processo, mas com a diferença de subtrair a média do volume gasto na titulação do Cálcio da média dos volumes gastos na titulação do Magnésio, que foram: 1,4 mL, 1,7 mL e 1,6 mL.

Tabela 2: Cálculo do Teor% de Mg<sup>2+</sup>

### 1ª Etapa: Cálculo do Teor% de Mg<sup>2+</sup>

$$Mg^{2+} = EDTA$$

$$n = n$$

$$\frac{m}{M} = M \cdot V$$

$$\frac{m}{24,305} = 0,108 \cdot 0,00043$$

$$\frac{m}{24,305} = 0,0004644$$

$$m = 0,0004644 \cdot 24,305$$

$$m = 0,011287242g \text{ Mg}^{2+}$$

$$Mg^{2+} \quad Extrato$$

$$0,0011287242g - 10ml$$

$$m - 250ml$$

$$m = 0,028218105g \text{ Mg}^{2+}$$

$$Mg^{2+} \quad Cinza$$

$$0,028218105g - 0,500g$$

$$T - 100g$$

$$T = 5,64\%$$

### 2ª Etapa: Cálculo do Teor% de MgCO<sub>3</sub>

$$Mg^{2+} \quad MgCO_3$$

$$24,305g - 84,29g$$

$$5,64\% - T\%$$

$$T\% = 19,6\% \text{ MgCO}_3$$

### 3ª Etapa: Cálculo do Teor% de MgO

$$Mg^{2+} \quad MgO$$

$$24,305g - 40,495g$$

$$19,6\% - T\%$$

$$T\% = 32,6\% \text{ MgCO}_3$$

Fonte: Autor Próprio

A análise revelou um alto teor de CaO e MgO na CBC, o que não era esperado inicialmente. A presença de um alto teor de Óxido de Magnésio (MgO) pode ser preocupante, pois pode levar a uma expansão retardada no concreto. Isso ocorre porque o MgO reage lentamente com a água, formando o óxido de magnésio hidratado (brucita), o que compromete a durabilidade e resistência do concreto. Por esse motivo, a ASTM C150, uma norma que define os requisitos para o cimento, estabelece um limite para a quantidade de MgO presente, a fim de evitar esse problema.

Por outro lado, o Óxido de Cálcio (CaO) é um componente desejado em altas quantidades no concreto, uma vez que é um dos principais ingredientes dos cimentos. A presença de CaO contribui para a formação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), que é o principal responsável pela resistência e durabilidade do concreto. Assim, a presença de CaO é benéfica para a qualidade do concreto.

### **3.3 Granulometria**

A análise granulométrica das cinzas do CBC revelou que o material é classificado como mesh 80, o que indica que seus grãos possuem tamanho suficiente para passar por uma peneira com abertura de 0,18 mm. Esse resultado demonstra que o CBC é um material muito fino, o que pode influenciar sua aplicação como agregado miúdo em concretos.

De acordo com a NBR 7211:2019, para que um agregado miúdo seja considerado adequado, ele deve atender a uma distribuição granulométrica específica, cujos grãos devem passar pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficar retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. A classificação como mesh 80 sugere que o CBC pode apresentar um módulo de finura abaixo desse intervalo, tornando-o fino demais para uso direto como agregado miúdo. No entanto, o CBC pode ter potencial como adição mineral (pozolana), dependendo de sua composição química e comportamento no concreto. Avaliações complementares são necessárias para determinar seu uso ideal.

### **3.4 Teste de abatimento do tronco de cone (slump test)**

Após a análise de abatimento do concreto, realizamos a medição do diâmetro da dilatação do concreto após a retirada do cone de teste, e o valor obtido foi 11 cm de abertura. Esse resultado não é ideal, pois o valor está abaixo do esperado para um concreto com boa fluidez e trabalhabilidade.

A causa principal desse resultado pode ser atribuída ao aditivo adicionado à mistura. O aditivo parece ter retenção excessiva de água, o que dificulta a fluidez do concreto e compromete a sua trabalhabilidade. Isso ocorre porque a água retida pelo aditivo não é suficiente para promover uma boa movimentação das partículas do concreto, resultando em um abatimento inferior ao desejado.

Esse comportamento pode indicar que o aditivo utilizado não é o mais adequado para garantir a fluidez necessária, e talvez seja necessário ajustar a dosagem ou buscar outro tipo de aditivo que favoreça a mobilidade do concreto sem comprometer outras propriedades, como a resistência. Além disso, é importante considerar a compatibilidade do aditivo com os outros materiais usados no concreto para otimizar a mistura e garantir um bom desempenho nas etapas de execução.

### 3.5 Resistência ao Ataque Químico (Penetração de Cloretos)

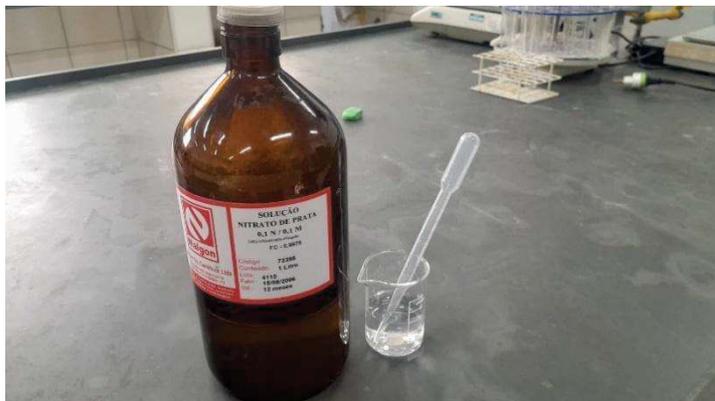
Ao final do ciclo de análise, realizamos um corte no concreto e aplicamos uma solução de nitrato de prata a 0,1 M. O concreto foi então levado a um local bem iluminado para revelar as áreas que sofreram o ataque de íons cloreto. A formação de uma coloração mais clara nas regiões indicou onde ocorreu a penetração desses íons, permitindo a visualização dos pontos afetados.

Imagem 24: Concretos após a ruptura vertical



Fonte: Autor próprio

Imagem 25: Solução de Nitrato de Prata



Fonte: Autor próprio

Imagem 26: Concreto após a aplicação do  $\text{AgNO}_3$



Fonte: Autor próprio

A análise revelou que o concreto contendo CBC apresentou uma resistência superior à penetração dos íons cloreto em comparação a outros materiais. No entanto, de acordo com a norma ABNT 6118 (2007), as penetrações observadas não representam um risco imediato de corrosão para as armaduras de concreto, pois os valores obtidos ficaram abaixo dos limites especificados pela norma. Esse resultado é positivo, uma vez que indica que, embora tenha ocorrido alguma penetração de cloreto, ela não é suficientemente significativa para comprometer a durabilidade e a integridade das armaduras no curto ou médio prazo.

### **3.6 Resistência ao Ataque Químico (Ácido Láctico)**

Após o ciclo submerso no ácido láctico e o tempo de secagem, retiramos os concretos e realizamos uma nova pesagem para avaliar a perda de massa. Através da subtração das massas antes e depois do processo, conseguimos quantificar essa perda.

Tabela 3:Pesagem dos concretos antes do Ácido Lático

Traços	CBC (20%)	Padrão
1	369	377
2	370	357
3	330	390

Fonte: Autor Próprio

Tabela 4:Pesagem dos concretos depois do Ácido Lático

Traços	CBC (20%)	Padrão
1	246.6	260.4
2	241.6	260.5
3	225	266.6

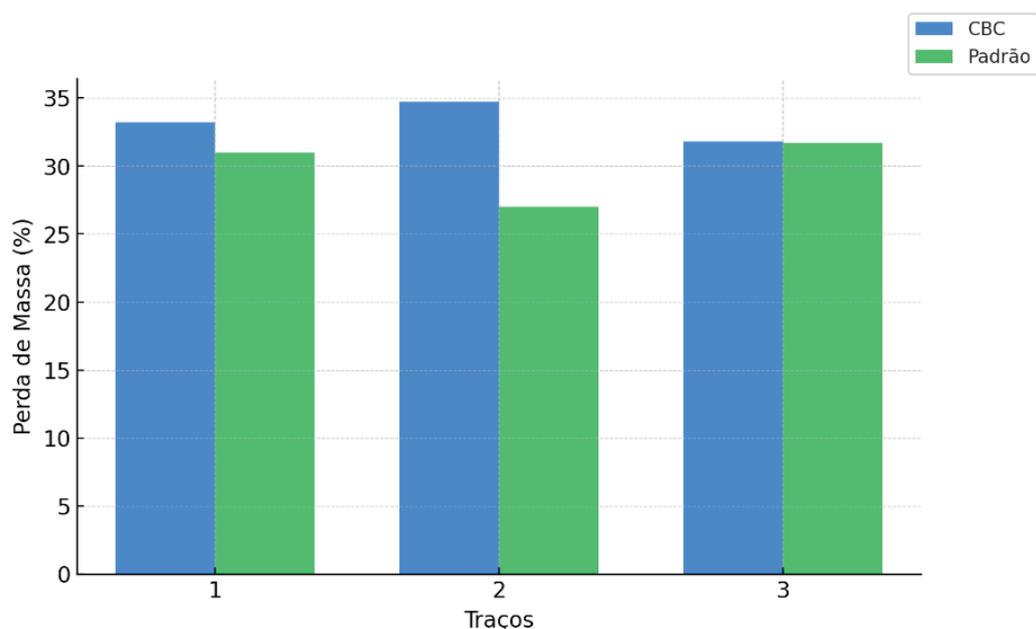
Fonte: Autor Próprio

Tabela 5:Perda de massa dos concretos depois do Ácido Lático

Perda de Massas (%)	1	2	3
CBC (20%)	33.2	34.7	31.8
Padrão	31	27	31.7

Fonte: Autor Próprio

Figura 1: Perda de Massa (%) por ataque químico



Fonte: Autor Próprio

Ao analisar as diferenças nas perdas de massa, concluímos que o concreto contendo CBC sofreu um ataque mais significativo, perdendo mais massa em comparação com o concreto de referência. Isso nos leva a inferir que os concretos com CBC em sua composição parcial têm uma resistência inferior à penetração de agentes agressores, o que implica em uma menor capacidade de impermeabilização. Embora as diferenças de perda de massa entre os dois tipos de concreto não tenham sido extremamente distantes, essa tendência sugere que o uso de CBC pode comprometer a durabilidade do concreto, especialmente em ambientes mais agressivos.

### 3.7 Absorção de Água

Após o período de imersão na água, retiramos os concretos e realizamos uma nova pesagem. Com os valores obtidos, calculamos a absorção de água usando as massas dos concretos secos e saturados, e a partir desses dados, tiramos a média para determinar a porcentagem de absorção.



CBC

$$A\% = \frac{1067 - 982}{982} \cdot 100$$

$$A\% = \frac{85}{982} \cdot 100$$

$$A\% = 0,0865 \cdot 100$$

$$A\% = 8,65\%$$

PADRÃO

$$A\% = \frac{1146 - 1077}{1077} \cdot 100$$

$$A\% = \frac{69}{1077} \cdot 100$$

$$A\% = 0,0640 \cdot 100$$

$$A\% = 6,40\%$$

Os resultados mostraram que o concreto com 20% de cinza na sua composição apresentou uma maior retenção de água, o que é um ponto negativo, pois indica que sua estrutura é mais porosa. De acordo com a Norma 9778, concretos estruturais de boa qualidade devem ter uma absorção de água entre 3% e 6%. Para concretos expostos a ambientes mais agressivos, como áreas sujeitas a condições severas, a absorção recomendada deve ser abaixo de 3%. Já para concretos comuns, que não são aplicados em estruturas, uma absorção de até 7% é tolerada.

Esse dado indica que o concreto com 20% de cinza pode não ser adequado para aplicações em ambientes mais agressivos, já que sua absorção de água é maior do que o recomendado para essas condições, o que pode comprometer sua durabilidade e resistência a agentes externos.

### 3.9 Teste de Resistencia

Após o teste de resistência à compressão, os valores obtidos foram em Kgf/cm<sup>2</sup>. Para calcular a tensão de ruptura em Mega Pascal (MPa), realizamos a conversão multiplicando os valores em Kgf/cm<sup>2</sup> por 0,0981, que é o fator de conversão para MPa. A partir disso, obtemos os resultados em MPa.

Tabela 6: Resultados do ensaio de resistência à compressão em Kgf/cm<sup>2</sup>

Traços	CBC (20%)	Padrão
1	65,0	82,35
2	70,26	67,80
3	25,26	76,74

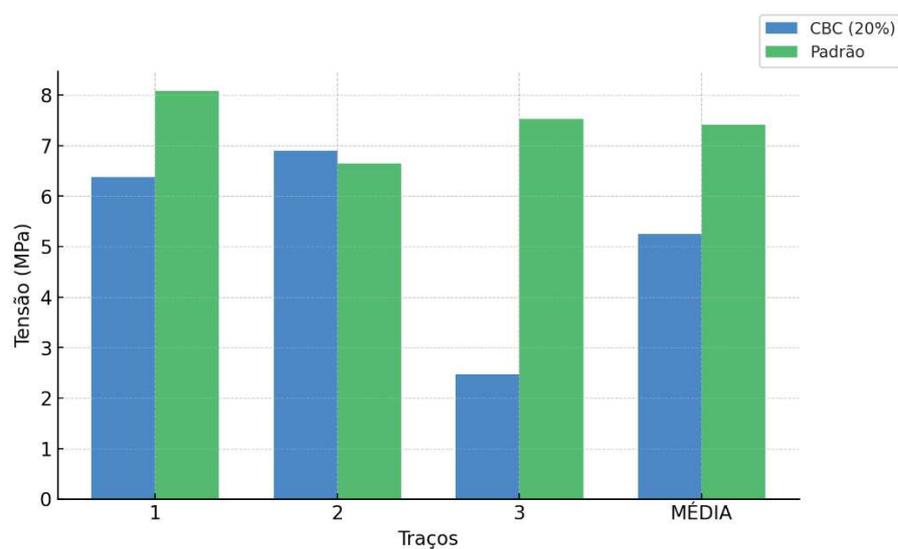
Fonte: Autor Próprio

Tabela 7: Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa

Traços	CBC (20%)	Padrão
1	6.3743	8.0758
2	6.8902	6.6489
3	2.4772	7.5256
<b>MÉDIA =</b>	<b>5.247233333</b>	<b>7.416766667</b>

Fonte: Autor Próprio

Figura 2: Gráfico dos resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa



Fonte: Autor Próprio

Ao analisar os resultados, percebemos que os concretos com adição de cinzas apresentaram valores abaixo do esperado. Essa diminuição na resistência pode ser atribuída à aditivação com o aditivo utilizado, que pode ter interferido na reação química do concreto ou afetado a coesão entre os materiais, comprometendo a resistência final do concreto.

Esse resultado sugere que, embora a adição de cinzas tenha um potencial positivo em certas propriedades do concreto, como a sustentabilidade, seu impacto na resistência à compressão deve ser cuidadosamente monitorado, especialmente quando combinada com aditivos. Fatores como o tipo de aditivo, sua dosagem e o processo de cura podem influenciar negativamente a resistência do concreto, e isso deve ser considerado ao se projetar concretos com cinzas em sua composição.

### **3.10 Teste de abatimento do tronco de cone (Slump Test)**

Após a análise de abatimento do concreto, realizamos a medição do diâmetro da dilatação do concreto após a retirada do cone de teste, e o valor obtido foi 11 cm de abertura. Esse resultado não é ideal, pois o valor está abaixo do esperado para um concreto com boa fluidez e trabalhabilidade.

A causa principal desse resultado pode ser atribuída ao aditivo adicionado à mistura. O aditivo parece ter retenção excessiva de água, o que dificulta a fluidez do concreto e compromete a sua trabalhabilidade. Isso ocorre porque a água retida pelo aditivo não é suficiente para promover uma boa movimentação das partículas do concreto, resultando em um abatimento inferior ao desejado.

Esse comportamento pode indicar que o aditivo utilizado não é o mais adequado para garantir a fluidez necessária, e talvez seja necessário ajustar a dosagem ou buscar outro tipo de aditivo que favoreça a mobilidade do concreto sem comprometer outras propriedades, como a resistência. Além disso, é importante considerar a compatibilidade do aditivo com os outros materiais usados no concreto para otimizar a mistura e garantir um bom desempenho nas etapas de execução.

#### **4. CONCLUSÃO**

Portanto, ao decorrer das análises e ensaios apresentados podemos concluir que os concretos com adição parcial de 20% de sua composição por Cinzas de Bagaço de Cana demonstraram resultados abaixo do esperado, por mais que muitos deles estivessem próximos comparados as Referências, em relação as Normas estabelecidas para os concretos e construção civil ele não se encaixa como um concreto indicado e de bom uso, mas devemos levar em conta que essa tese necessita de mais tempo e estudo pois a matéria prima nesse caso a Cinzas de Bagaço de Cana é pouco estudada para esse tipo de aplicação e como o objetivo desse trabalho é olhar a necessidade de dar um aproveitamento de resíduos como este a fim de auxiliar o meio ambiente, indicamos para testes futuros um estudo mais a fundo com este resíduos, para verificar a qualidade ao longo do tempo e em grandes quantidades, de forma que possamos reduzir ainda mais os agregados utilizados nesses concretos, e levantar estudos específicos em relação ao custo final para a construção civil em comparação aos concretos convencionais, e não apenas para concretos mais sim para outras aplicações, esse Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo também inspirar pesquisas e trabalhos em cima de resíduos que são subprodutos ou descartados de maneira inadequada ou até mesmo sem direcionamento, e dar a eles através de análises e testes um aproveitamento e uma utilidade na sociedade.

## 5.REFERENCIAS

CIMENTO – Produção mundial pode dobrar sem aumentar CO2. Disponível em: <https://www.poli.usp.br/noticias/1527-cimento-producao-mundial-pode-dobrar-sem-aumentar-co2.html>. Acesso em: 23 out. 2024.

DELALIBERA, R. G. et al. Análise da viabilidade da utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento Portland. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, n. 3, 2014. doi:10.5216/reec.V9i3.32023.

FERNANDES, S. E. et al. Cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral em concretos para verificação de sua durabilidade. Matéria (Rio de Janeiro), v. 20, n. 4, p. 909–923, 2015.

FERNANDES, S. E. Concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/dac8e2b8-ca49-4c9f-9f01-17422c9895d8/content>. Acesso em: 28 ago. 2024.

LIMA, Evandro da Silva; FALCI, Diego Renan; SILVA, Rafael Sousa da; SILVA, Patrícia Tavares. Comunicação interatrial: abordagem atual. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, São Paulo, v. 111, n. 5, p. 685-693, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/SpMK9CYmLPV7yL7fTj8GH7k/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 set. 2024.

LTDA, T. E. E. Target Normas: Visualização gratuita - NBR 16605. Disponível em: <https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/11971/identificar/visitante>. Acesso em: 6 nov. 2024.

MACIEL, D. L. O.; SILVA, J. S.; OMENA, J. C. R.; CAVALCANTE, J. R. D.; et al. Reutilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na confecção de concreto: uma revisão narrativa. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cdgexatas/article/download/9119/4277/27478>. Acesso em: 18 set. 2024.

SILVA, S. Moagem de cana atinge 48,80 milhões de toneladas na segunda quinzena de junho - Unica - Safras & Mercado. Disponível em: <https://safras.com.br/moagem-de-cana-atinge-4880-milhoes-de-toneladas-na-segunda-quinzena-de-junho-unica/>. Acesso em: 20 jul. 2024.

Standard specification for Portland cement. Disponível em: <https://www.astm.org/standards/c150>. Acesso em: 25 out. 2024.

VANDERLEI, R. Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Romel-Vanderlei/publication/277170409\\_Estudo\\_das\\_caracteristicas\\_fisicas\\_e\\_quimicas\\_da\\_cinza\\_do\\_bagaco\\_de\\_cana-de-acucar\\_para\\_uso\\_na\\_construcao/links/59dbdebc458515e9ab452313/Estudo-das-caracteristicas-fisicas-e-quimicas-da-cinza-do-bagaco-de-cana-de-acucar-para-uso-na-construcao.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Romel-Vanderlei/publication/277170409_Estudo_das_caracteristicas_fisicas_e_quimicas_da_cinza_do_bagaco_de_cana-de-acucar_para_uso_na_construcao/links/59dbdebc458515e9ab452313/Estudo-das-caracteristicas-fisicas-e-quimicas-da-cinza-do-bagaco-de-cana-de-acucar-para-uso-na-construcao.pdf). Acesso em: 16 jul. 2024.

Vista do Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na produção de concreto sustentável. Disponível em: <https://periodicos.saolucas.edu.br/index.php/dialogos/article/view/23/356>. Acesso em: 18 set. 2024.

Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-deacucar/item/download/1208\\_70e861d4ccc431c8aeb5e9b68d25d2f5](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-deacucar/item/download/1208_70e861d4ccc431c8aeb5e9b68d25d2f5). Acesso em: 17 set. 2024.