



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LUIS EDUARDO RODRIGUES DE SOUSA  
NELIANA REZENDE PEIXOTO RIBEIRO CARMO**

**COMPARAÇÃO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO  
PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR CINZAS DO  
BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**PUBLICAÇÃO Nº: 06**

**GOIANÉSIA / GO  
2021**



**LUIS EDUARDO RODRIGUES DE SOUSA  
NELIANA REZENDE PEIXOTO RIBEIRO CARMO**

**COMPARAÇÃO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO  
PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR CINZAS DO  
BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**PUBLICAÇÃO Nº: 06**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: IGOR CÉZAR SILVA BRAGA**

**COORIENTADOR: IVANDRO JOSÉ DE FREITAS ROCHA**

**GOIANÉSIA / GO: 2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SOUSA, Luis Eduardo Rodrigues; CARMO, Neliana Rezende Peixoto Riberio.

Comparação de Argamassas com Substituição Parcial do Agregado Miúdo por Cinzas do Bagaço de Cana-de-açúcar. 2021, xvii, 53P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Argamassa de Revestimento	2. Traços alternativos
3. Resíduos	4. Resistência à compressão
I. ENC/FACEG	II. Comparação de Argamassas com Substituição Parcial do Agregado Miúdo por Cinzas do Bagaço de Cana-de-açúcar.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUSA, Luis Eduardo Rodrigues; CARMO, Neliana Rezende Peixoto Ribeiro. Comparação de Argamassas com Substituição Parcial do Agregado Miúdo por Cinzas do Bagaço de Cana-de-açúcar. TCC, Publicação 2021/2 Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 53p. 2021.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Luis Eduardo Rodrigues de Sousa e Neliana Rezende Peixoto Ribeiro Carmo

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Comparação de Argamassas com Substituição Parcial do Agregado Miúdo por Cinzas do Bagaço de Cana-de-açúcar.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2021

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Luis Eduardo Rodrigues de Sousa  
E-mail: luis\_eduardors28@outlook.com

---

Neliana Rezende Peixoto Ribeiro Carmo  
E-mail: neli.ana.rezende@gmail.com

**LUIS EDUARDO RODRIGUES DE SOUSA  
NELIANA REZENDE PEIXOTO RIBEIRO CARMO**

**COMPARAÇÃO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO  
PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR CINZAS DO  
BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

---

**IGOR CÉZAR SILVA BRAGA, Mestre (FACEG)  
(ORIENTADOR)**

---

**IVANDRO JOSÉ DE FREITAS ROCHA, Mestre (FACEG)  
(COORIENTADOR)**

---

**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**JÉSSICA NAYARA DIAS, Mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: GOIANÉSIA/GO, 24 de NOVEMBRO de 2021.**

*Dedicamos este trabalho aos nossos pais,  
irmãos e a todos que de alguma forma contribuíram  
com o nosso crescimento e aprendizagem.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer as seguintes pessoas:

Primeiramente aos meus familiares, minha mãe Maria Aparecida, meu pai Vicente e minha irmã Luma.

Quero dedicar meus agradecimentos também a minha colega de turma e amiga Raiane Duarte pelo fundamental papel para o desenvolvimento desse trabalho, disponibilizando seu tempo e cargo para a intermediar a coleta de material principal para o desenvolvimento dos estudos.

Gostaria de agradecer também o corpo docente da Faculdade evangélica de Goianésia, professor Me. Igor, Me. Eduardo e professor Ivandro.

*Luis Eduardo*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por me guiar desde o início desta caminhada, especialmente durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Nélio e Jordana, e ao meu irmão Davi por sempre acreditarem na minha capacidade e entenderem os momentos de dificuldade decorrentes da graduação.

Aos meus avós, Bené, Rita e Virma, e ao meu avó Davi, que com certeza se alegra no céu. À minha tia Helena, aos meus afilhados, Marina e Gustavo, ao Raphael e em especial à minha madrinha Marlana por sempre me encorajar a buscar conhecimento.

Aos amigos que fiz na faculdade e que com certeza levarei para toda a vida, Jean, Gabriel, Renato e Isabela Cristina. Aos que me apoiaram, principalmente durante este projeto, e não me deixaram desistir, Ana Luiza, Isabella Vitória, Victor Hugo, Déborah e Carolina. E também ao meu parceiro de quase todos os trabalhos, inclusive deste, Luis Eduardo.

Ao professor e orientador, Igor César, por ter aceitado o convite, por sua competência e pelos conhecimentos compartilhados. Ao coorientador, professor Ivandro, por todo apoio.

Ao professor Robson, e a todos os professores da Faculdade Evangélica de Goianésia que contribuíram com minha formação acadêmica.

Às professoras que marcaram minha vida estudantil, Valcilene, Andreia, Flávia, Adennycia e Patrícia Nara.

A todos os amigos que sempre torceram por mim e ofereceram apoio, sobretudo emocional, Helene, Kamila, Isadora, Karoliny, Quezia, Thaís, Fernanda, Rafael e Henrique.

*Neliana Rezende*

*“Nunca tenha certeza de nada,  
porque a sabedoria começa com a dívida.”*

*Freud*

## RESUMO

Atualmente o Brasil é o maior produtor sucroalcooleiro do mundo, liderando os setores de açúcar e álcool. Durante a produção desses insumos ocorre a geração de energia por meio da queima do bagaço da cana-de-açúcar nas caldeiras. Os resíduos desse processo são as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), que na maioria das vezes são descartadas de forma incorreta no meio ambiente. Visando aspectos ambientais e de desenvolvimento no ramo da construção civil, este trabalho tem como objetivo analisar a atuação da CBC como substituta parcial do agregado miúdo em argamassas de revestimento. As cinzas utilizadas para os ensaios propostos por esse trabalho foram coletadas na Usina Jalles Machado, localizada na Fazenda São Pedro - Rodovia GO-080 - Km 185 Zona Rural de Goianésia – GO. Foram definidos quatro traços de argamassa com substituição de 0, 0,5, 1,5 e 3% da areia fina utilizada como agregado miúdo por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar. Não houve a alteração da relação água/cimento e nem a utilização de aditivos. Foram realizados, no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, ensaios de índice de consistência com as argamassas no estado fresco e moldados diversos corpos de prova. Já no estado endurecido, foram executados os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, no Laboratório de Ensaios da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, obtendo valores de resistências para as idades de 14, 21 e 28 dias. Os resultados obtidos apontam que, das argamassas incorporadas com cinza do bagaço de cana-de-açúcar a que apresentou melhor desempenho foi a com 0,5% de substituição. Nos ensaios de tração à flexão, ela mostrou uma resistência superior ao traço de referência em todas as idades, cerca de 11,1%. No entanto, nos ensaios de compressão todos os traços alternativos, inclusive o de 0,5%, apresentaram resultados inferiores a resistência do traço de referência. Os valores de compressão caíram pelo menos 10%, levando em consideração todas as porcentagens de substituição em todas as idades. Portanto, conclui-se que, a pura substituição, sem adequações, do agregado miúdo por CBC não é vantajosa para a produção de argamassas, pois a resistência a compressão das mesmas sofreu significativas alterações negativas.

**Palavras-chave:** Argamassa de revestimento. Bagaço da cana-de-açúcar. Agregado miúdo. Resistência à tração.

## ABSTRACT

Brazil is currently the largest sugar-alcohol producer in the world, leading the sugar and alcohol sectors. During the production of these inputs energy is generated by burning sugarcane bagasse in boilers. The residues of this process are the sugarcane bagasse ash (SBA), which most of the time is disposed of incorrectly in the environment. Aiming at environmental aspects and development in the construction industry, this paper aims to analyze the performance of SBA as a partial substitute for fine aggregate in mortars for coating. The ashes used for the tests proposed by this work were collected at Usina Jalles Machado, located in Fazenda São Pedro - Highway GO-080 - Km 185 Rural Zone of Goianésia - GO. Four mortar traces were defined with replacement of 0, 0.5, 1.5 and 3% of the fine sand used as fine aggregate by sugar cane bagasse ash. There was no change in the water/cement ratio or use of additives. In the Laboratory of Materials and Structures at the Evangelical University of Goiás - UniEVANGÉLICA, consistency index tests were performed with the mortars in the fresh state and several specimens were molded. In the hardened state, tests for flexural tensile strength and compressive strength were performed in the Testing Laboratory of the Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, obtaining strength values for ages of 14, 21 and 28 days. The results obtained indicate that, of the mortars incorporated with sugarcane bagasse ash, the one that presented the best performance was the one with 0.5% of substitution. In the flexural traction tests, it showed a higher resistance than the reference mixture at all ages, about 11.1%. However, in the compression tests all alternative mixtures, including the 0.5%, showed lower results than the strength of the reference mixture. The compression values fell by at least 10%, taking into account all the percentages of substitution at all ages. Therefore, we conclude that the pure substitution, without adjustments, of the fine aggregate by SBA is not advantageous for the production of mortars, because their compressive strength suffered significant negative changes.

**Keywords:** Coating mortar. Sugarcane bagasse. Kid's household. Tensile strength.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Cabana transitórios dos <i>Himbus</i> .....	4
<b>Figura 2</b> - Solicitações exercidas sobre superfícies externas de edificações.....	5
<b>Figura 3</b> - Influência do teor de ar incorporado na resistência de aderência de revestimentos de argamassa.....	11
<b>Figura 4</b> - Ilustração da aplicação de revestimento de duas camadas .....	14
<b>Figura 5</b> - Alternativas para revestimentos de parede .....	15
<b>Figura 6</b> - Consistência das argamassas .....	20
<b>Figura 7</b> - Efeito da temperatura de queima na reatividade da CBC.....	24
<b>Figura 8</b> - Peneiras utilizadas nos ensaios de granulometria.....	27
<b>Figura 9</b> - Curva Granulométrica do Agregado Miúdo .....	28
<b>Figura 10</b> - Curva Granulométrica da CBC.....	29
<b>Figura 11</b> - Preparação dos traços de argamassa .....	30
<b>Figura 12</b> - Argamassa no cone, na mesa de abatimento .....	32
<b>Figura 13</b> - Medição do espalhamento da argamassa.....	33
<b>Figura 14</b> - Espalhamento da argamassa após o ensaio de índice de consistência, amostra com traço T0,5 (a), traço T1,5 (b) e traço T3 (c).....	34
<b>Figura 15</b> - Índice de consistência.....	35
<b>Figura 16</b> - Corpos de prova já moldados .....	36
<b>Figura 17</b> - Prensa adaptada para o ensaio de tração na flexão .....	37
<b>Figura 18</b> - Corpos de prova após o ensaio de tração na flexão .....	39
<b>Figura 19</b> - Resistência à tração na flexão.....	43
<b>Figura 20</b> - Resistência à compressão .....	44
<b>Figura 21</b> - Valores médios da resistência à compressão em diferentes dias de rompimento.....	45

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> - Classificação das argamassas segundo a resistência à compressão.....	21
<b>Tabela 2</b> - Classificação das argamassas segundo a resistência à tração na flexão .....	22
<b>Tabela 3</b> - Composição química da cinza (% em peso).....	22
<b>Tabela 4</b> - Ensaio Granulométrico do Agregado Miúdo .....	27
<b>Tabela 5</b> - Ensaio Granulométrico da CBC .....	29
<b>Tabela 6</b> - Índice de consistência.....	34
<b>Tabela 7</b> - Comparação dos valores médios de resistência à tração na flexão .....	42
<b>Tabela 8</b> - Comparação dos valores médios de resistência à compressão.....	44
<b>Tabela 9</b> - Cargas máximas aplicadas à tração na flexão (Tf).....	52

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1</b> - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.....	7
<b>Quadro 2</b> - Requisitos fundamentais dos agregados para argamassas (IPQ, 2005; IPQ, 2010)	9
<b>Quadro 3</b> - Principais tipos de aditivos utilizados nas argamassas .....	10
<b>Quadro 4</b> - Classificação das argamassas.....	12
<b>Quadro 5</b> - Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção.....	12
<b>Quadro 6</b> - Classificação dos revestimentos .....	14
<b>Quadro 7</b> - Propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.....	17
<b>Quadro 8</b> - Influência dos componentes sobre as propriedades da argamassa.....	18
<b>Quadro 9</b> - Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas.....	19
<b>Quadro 10</b> - Normas Utilizadas.....	26

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- A/C – Água/cimento
- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- CBC – Cinzas do Bagaço da Cana-de-açúcar
- CP – Cimento Portland
- EN – Norma Europeia
- kN – Quilonewtons
- NBR – Norma Brasileira
- NP – Norma Portuguesa
- PIB – Produto Interno Bruto
- RDM – Revestimento Decorativo Monocamada
- REF – Traço de referência
- T0,5 – Traço com 0,5% de substituição
- T1,5 – Traço com 1,5% de substituição
- T3 – Traço com 3% de substituição
- Tf – Tonelada-força

**LISTA DE SÍMBOLOS**

CaO – Óxido de cálcio  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono  
Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxido de cromo  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxido de Ferro  
K<sub>2</sub>O – Óxido de potássio  
MnO – Óxido de manganês  
Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxido de escândio  
SiO<sub>2</sub> – Dióxido de silício  
SO<sub>3</sub> – Óxido sulfúrico  
TiO<sub>2</sub> – Dióxido de titânio  
V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – Pentóxido de vanádio  
ZnO – Óxido de zinco  
ZrO<sub>2</sub> – Dióxido de zircônio

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	2
<b>1.2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>2</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1 ARGAMASSA .....	4
2.2 ELEMENTOS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA .....	5
<b>2.2.1 Aglomerantes.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1.1 Cimento Portland.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2 Agregados .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.3 Adições .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.4 Aditivos .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.5 Água de Amassamento .....</b>	<b>10</b>
2.3 CLASSIFICAÇÕES DAS ARGAMASSAS .....	11
2.4 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO .....	13
<b>2.4.1 Funções .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.2 Classificações .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.3 Camadas de Revestimento .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.4 Propriedades.....</b>	<b>17</b>
2.5 RESÍDUOS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	22
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS .....	26
<b>3.1.1 Traço de Referência.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.2 Traço T0,5.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.3 Traço T1,5.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.3 Traço T3.....</b>	<b>31</b>
3.2 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA .....	31

3.3 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA .....	35
3.4 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA .....	36
<b>3.4.1 Resistência à tração na flexão .....</b>	<b>36</b>
<b>3.4.2 Resistência à compressão axial .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4.3 Obtenção dos resultados das resistências finais .....</b>	<b>40</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
4.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO .....	42
4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	43
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>47</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>52</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos ramos essenciais para a economia brasileira. Sendo um país em desenvolvimento, o Brasil demanda incentivos voltados especialmente para infraestrutura e moradia. Conseqüentemente o setor gera empregos, e influencia diretamente no PIB e atração de investimentos (FIALHO, 2014). O setor é responsável por 6,2% do PIB do país, e que o mesmo abrange 34% do total de indústrias nacionais, gerando cerca de 2,6 bilhões de vagas de emprego (FIGUERÊDO, 2017).

No ano de 2020, arrastando até 2021, o mundo sofreu uma crise epidemiológica que causou efeitos diretos na economia e conseqüentemente no mercado na construção civil. Para garantir a estabilidade do setor, o governo federal estabeleceu a construção civil como uma atividade essencial. Esses fatores levaram a uma expansão no setor, no entanto, o crescimento poderia ter sido ainda maior se a agressiva escassez e alta dos insumos gerados pela pandemia não tivesse acarretado atrasos e um encarecimento expressivo nos materiais e serviços (PEREIRA, 2020).

Segundo Pereira (2020), tendo em vista a crescente do mercado e a falta de materiais, tecnologias que possam substituir ou agregar de forma sustentável e econômica se tornam cada vez mais viáveis no mercado da construção civil. A argamassa cumpre um papel fundamental na proteção dos suportes das estruturas da construção a sustentabilidade do material depende diretamente da função que ele deve cumprir (FARIA, 2012).

Considerando assim o papel fundamental da argamassa e a falta de insumos necessários para a fabricação da mesma, foram analisadas formas alternativas para a adição de resíduos que possam gerar benefícios na argamassa de revestimento (PEREIRA, 2020). A utilização de resíduos de bagaço de cana-de-açúcar na incorporação da substância é um exemplo de material alternativo.

Os revestimentos além de contribuírem com a parte estrutural das edificações, com a proteção contra agentes climáticos, por meio da impermeabilização, também desempenham funções estéticas da arquitetura (ARAUJO, 2013).

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), que trata dos requisitos necessários à argamassas para assentamento e revestimento, argamassa é basicamente uma mistura de aglomerante, agregado e água, que pode ser produzida no local da obra ou em local específico. Sendo indicada não só para assentamento de alvenaria, bem como para aplicação em forma de revestimento de ambientes internos e externos como paredes, muros, fachadas entre outras variadas finalidades.

Conforme Botelho (2018), os resíduos agroindustriais geram problemas como custo para transporte e descarte, além do impacto ambiental, a reutilização dos mesmos na construção civil, especialmente em argamassas de revestimento, cumprirá não só um papel sustentável como econômico e financeiro.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização de resíduos de todas as espécies tem como objetivo eliminar a cultura do desperdício e exercitar a redução de perdas. Ou seja, a motivação dessa pesquisa tem bases ambientais e econômicas.

No parâmetro ambiental, a construção civil é responsável por uma grande quantidade de descartes, que podem ser em partes reutilizados ou reciclados de forma prática e eficiente para amenizar os custos e o impacto no meio ambiente. Santos (2008) ressalta a importância do reaproveitamento na construção civil, mercado esse que consome grande parcela de recursos naturais, podendo dessa forma apresentar uma diminuição significativa dos custos e produção de resíduos não reutilizáveis.

Partindo do cenário econômico atual, faz-se cada vez mais necessários métodos que venham atribuir uma redução considerável de custo na obra civil. Assim, adotar resíduos que agreguem em conglomerados como a argamassa, que representam, segundo dados de Santos (2008), 20% do preço total das obras de alvenaria, ocasiona de forma direta uma redução de custos com matéria prima.

## 1.2 OBJETIVOS

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo do trabalho consiste em avaliar por meios comparativos a trabalhabilidade e as resistências à tração na flexão e à compressão de argamassas de revestimento com substituição parcial do agregado miúdo por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em paralelo ao traço convencional.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo geral desse trabalho, será necessário:

- Estudar trabalhos sobre argamassas feitas com agregados não convencionais encontrados na literatura.
- Propor traços alternativos de argamassa com variadas porcentagens de substituição de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar;
- Desenvolver corpos de prova que serão submetidos a análise e testá-los com relação aos seus índices de consistência e resistências à tração na flexão e à compressão;
- Obter dados que permitam relacionar a influência da incorporação das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar na trabalhabilidade e resistência das argamassas, apresentar os resultados obtidos e concluir sobre as vantagens ou desvantagens da substituição.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ARGAMASSA

Segundo Alvares (2007), as memórias referentes as argamassas costumeiramente remontam Roma, porém o autor aponta que antes mesmo de seu apogeu, diversas outras civilizações já utilizavam técnicas que os permitiam construir, elevando paredes e revestindo-as. A priori com a intenção de proteção e defesa de bens, a alvenaria e seu respectivo revestimento foram, com o tempo, se tornando relevantes no cenário da construção. Há relatos da tribo seminômade *Himbus*, que viviam no deserto da Namíbia, que erguiam precárias habitações, apresentadas na Figura 1, com uma espécie de argamassa constituída de areia, dejetos de gado e palha. Em outras localidades, lamas argilosas acrescidas com pequenas porcentagens de areia também foram utilizadas para revestimento.

**Figura 1** - Cabana transitórios dos *Himbus*.



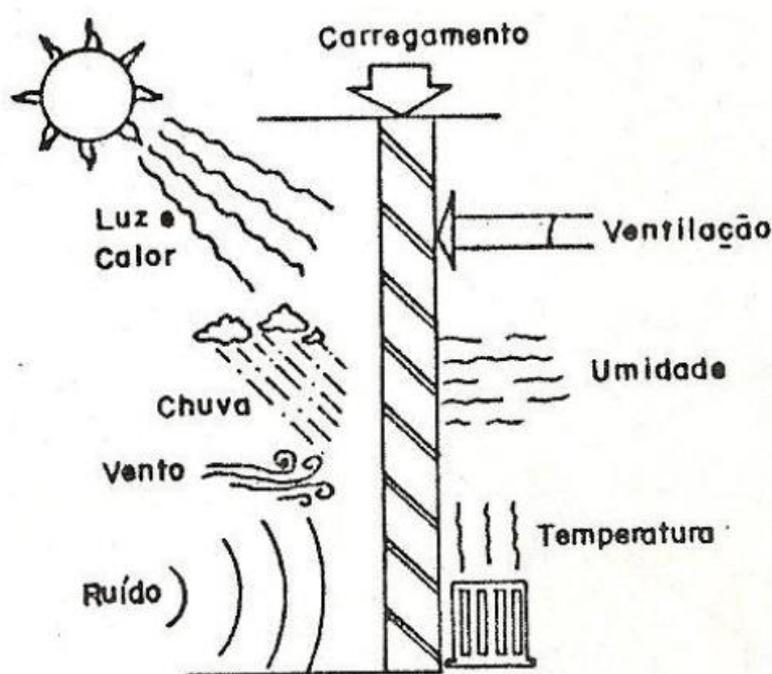
Fonte: ALVARES (2007).

Na NBR 13529 (ABNT, 2013), que diz respeito a terminologia de argamassas para revestimento de paredes e tetos, encontrasse a definição de argamassa de revestimento como uma “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. De

acordo com a mesma norma, a argamassa é composta pelos seguintes elementos: aglomerantes, agregados, adições, aditivos e água.

De acordo com Carasek (2010, p.901) a argamassa de revestimento de parede tem como funções cruciais a proteção da estrutura e da alvenaria externa contra intemperismos, o auxílio ao sistema de vedação, como por exemplo no isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo e resistência a desgastes e abalos (Figura 2). Além disso exerce importante função de regularização e base para acabamentos.

**Figura 2** - Solicitações exercidas sobre superfícies externas de edificações.



Fonte: BAUER, E. (1987).

Segundo Tusset (2010), existe uma relação indissociável e direta entre a qualidade do sistema de revestimento e a habitabilidade das edificações, observando aspectos como salubridade, conforto e durabilidade. Desta maneira torna-se indispensável o gerenciamento da qualidade dos revestimentos.

## 2.2 ELEMENTOS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA

As características e proporções dos materiais utilizados para composição da argamassa influenciam diretamente sobre os aspectos e propriedades das mesmas tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido. Por esse motivo é essencial conhecer as funções de cada material

e assim fazer escolhas assertivas de seus tipos e dosagens de acordo com os resultados esperados (MATOS, 2013).

### **2.2.1 Aglomerantes**

Conforme Dachery (2015), os aglomerantes são materiais ligantes utilizados para corporalizar os grãos agregados nas argamassas. Os mesmos têm a função incorporar os materiais e contribuem na plasticidade da argamassa. Os aglomerantes mais comumente empregados são o cimento Portland, caracterizado como agregado hidráulico, que endurece pela ação exclusiva da água, e a cal, um aglomerante aéreo, ou seja, se solidifica a partir de reações com o anidrido carbônico do ar.

Usualmente, no Brasil, as argamassas utilizam o cimento como aglomerante, apenas em algumas regiões a cal é incorporada a mistura. A principal colaboração do cimento nas propriedades das argamassas é em sua resistência mecânica, na retenção de água e em sua plasticidade. Já com a inclusão da cal a argamassa ganha melhor trabalhabilidade e maior potencial de absorção de deformações, porém com isso reduz sua capacidade de resistência mecânica e aderência (SILVA, *et al.*, 2016).

#### **2.2.1.1 Cimento Portland**

Andreatta *et al.* (2016), alega que o Cimento Portland (CP) começou a ser estudado no Brasil, por volta de 1890, por Antônio Proost Rodovalho. Desde essa época a indústria cimenteira cresceu e se desenvolveu muito, em 2015 foram produzidas por mês 5 milhões de toneladas de cimento. Atualmente há uma gama de opções de cimento a depender de suas adições pureza, finura, além de outros fatores. O cimento é definido como uma substância ligante com a capacidade de unir diferentes materiais em uma estrutura condensada.

O CP é um material genérico, porém devido as suas diversas composições químicas, ao serem hidratados apresentam propriedades diferentes (NEVILLE e BROOKS, 2013). A norma que trata dos requisitos do cimento Portland, NBR 16697 (ABNT, 2018), caracteriza os mesmos de acordo com seu tipo de adição e suas propriedades especiais, como mostra o Quadro 1.

### **2.2.2 Agregados**

De acordo com Carasek (2011), os agregados representam cerca de 60 a 80% dos materiais utilizados para composição da argamassa e por esse motivo devem ser escolhidos

cuidadosamente. Os mesmos influenciam no comportamento da argamassa fresca e em no desempenho final do revestimento. O agregado mais comumente usados é a areia natural, porém areias artificiais têm sido cada vez mais estudadas.

**Quadro 1** - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.

<b>Designação normalizada (tipo)</b>	<b>Subtipo</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classe de resistência</b>	<b>Sufixo</b>
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 c	RS a ou BC b –
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI d	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 c	
	Não estrutural	CPB	–	–

Sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais. Sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais. As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215. Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento. Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018)

A análise da curva granulométrica e das massas específicas dos agregados são fundamentais para a escolha do traço (SANTOS, 2014). Ainda de acordo com o autor, o intuito é preencher com cimento, cal e água os vazios deixados pelo agregado, além de estabelecer o teor de ar incorporado vantajoso para a argamassa.

Segundo Oliveira (2015), deficiências na curva granulométricas, ou seja, curvas não contínuas ou excesso de finos impactam diretamente nas proporções de aglomerantes e de água

dos traços. As irregularidades demandam mais água de amassamento, o que impacta na resistência mecânica da mistura e aumenta sua retração por secagem.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), conforme citado por Tokudome (2020, p.15) o formato e a textura das partículas dos agregados afetam de modo direto as propriedades da argamassa no estado fresco, considerando que nesta etapa é observado o comportamento da mesma durante todo o estágio de aplicação, ou seja, em diversas fases reológicas. Já após o endurecimento da argamassa deve-se observar seu desempenho durante as solicitações de uso.

Analisando o formato das partículas dos agregados, quanto mais desformes forem os grãos, mais ásperas serão as superfícies por eles impressas. Nesses casos a trabalhabilidade é comprometida e a mistura é indicada para chapiscos e emboços. Se houver a necessidade de uma argamassa com melhor trabalhabilidade e compacidade, recomenda-se a busca de grãos mais arredondados, com menores superfície específica e atrito interno (OLIVEIRA, 2015).

Segundo Matias (2014), a norma portuguesa de especificação NP EN 13139, que trata sobre agregados para argamassas, estabelece as propriedades adequadas para os agregados e fíleres que serão utilizados em argamassas, sejam elas para rebocos internos e externos, alvenarias, fechamento de juntas, assentamento, reabilitação e entre outros. O Quadro 2 aponta quais os requisitos esse tipo de agregado deve atender.

### **2.2.3 Adições**

Conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013), adições são materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração na definição das proporções.

Para Botelho *et al.* (2013), o reaproveitamento adequado de resíduos por meio de adições nas argamassas, explorando propriedades de materiais que seriam meramente descartados, ocasiona não só vantagens econômicas, mas também benefícios ao meio ambiente.

De acordo com Costa (2017), é documentado que a cinza volante foi o primeiro material utilizado como adição, porém por não ser um componente abundante a indústria cimentícia engajou-se na busca de matérias suscetíveis à essa aplicação. Nos dias de hoje são comumente usados para esse fim o fíler, o calcário e a escória de alto forno, ou seja, rejeitos industriais de origem mineral.

### **2.2.4 Aditivos**

Os aditivos são substâncias que alteram dadas propriedades de misturas como concretos, argamassas, pastas e grautes quando nelas incorporados. Essa substância é utilizada em pequenas quantidades, em regra atingindo até 5% da massa do cimento (MATOS, 2013). Costa (2016), afirma que segundo o Manual do Revestimento da ABCP os principais tipos de aditivos utilizados nas argamassas e suas aplicabilidades determinantes são apresentadas no Quadro 3.

**Quadro 2** - Requisitos fundamentais dos agregados para argamassas (IPQ, 2005; IPQ, 2010).

<b>Características fundamentais</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Norma de ensaio/requisito</b>
Forma, dimensão e massa volúmica das partículas	Dimensão nominal	Classificação em d/D d - dimensão mínima D - dimensão máxima
	Granulometria	EN 933-1 (CEN, 2012b)
	Forma das partículas	EN 933-3 (CEN, 2012c)
	Massa volúmica das partículas	EN 1097-6 (CEN, 2013a)
Limpeza do agregado	Teor de conchas	NP EN 933-7 (IPQ, 2002)
	Teor de finos	NP EN 933-7 (IPQ, 2002)
	Equivalente de areia	EN 933-8 (CEN, 2012d)
	Azul-de-metileno	EN 933-9 (CEN, 2013b)
Composição química	Teor de cloretos	EN 1744-1 (7) (CEN, 2012a)
	Teor de sulfatos solúveis em ácido	EN 1744-1 (12) (CEN, 2012a)
	Teor total de enxofre	EN 1744-1 (11) (CEN, 2012a)
	Constituintes que alteram o tempo de presa	EN 1744-1 (14, 15) (CEN, 2012a)
Estabilidade dimensional	Matéria solúvel em água	EN 1744-1 (16) (CEN, 2012a)
Absorção de água	Absorção de água	EN 1097-6 (CEN, 2013a)
Substâncias perigosas	Presença de substâncias perigosas	Regulamentação nacional
Durabilidade ao gelo-degelo	Resistência ao gelo-degelo	EN 1367-1 (CEN, 2007) e EN 1367-2 (IPQ, 2013)
Durabilidade à reatividade álcalis-sílica	Reatividade álcalis-sílica	EN 13139 – Anexo D (IPQ, 2005; IPQ, 2010)

Fonte: Adaptado de MATIAS (2014)

**Quadro 3** - Principais tipos de aditivos utilizados nas argamassas.

<b>Tipos de Aditivos</b>	<b>Funções</b>
Redutores de água (plastificante)	São utilizados para melhorar a trabalhabilidade da argamassa sem alterar a quantidade de água.
Retentores de água	Reduzem a evaporação e a exsudação de água da argamassa fresca e conferem capacidade de retenção de água frente à sucção por bases absorventes.
Incorporador de ar	Formam microbolhas de ar, estáveis, homoganeamente distribuídas na argamassa, aumentando a trabalhabilidade e atuando a favor da permeabilidade.
Retardadores de pega	Retardam a hidratação do cimento, proporcionando um tempo maior de utilização.
Aumentadores de aderência	Proporcionam aderência química ao substrato.
Hidrofugantes	Reduzem a absorção de água da argamassa, mas não a tornam impermeável e permitem a passagem de vapor d'água.

Fonte: Adaptado de COSTA (2016)

O aditivo incorporador de ar é um dos tipos mais utilizados nas argamassas de revestimento. O mesmo atua reduzindo riscos de fissuração uma vez que, como mostrado na Figura 3, formam microbolhas de ar que são homoganeamente distribuídas na argamassa agindo no ganho de trabalhabilidade e na diminuição da água de emassamento. Todavia, esse tipo de aditivo se incorporados em altos teores podem gerar revestimentos com resistência superficial inadequada e danificar a aderência da argamassa na estrutura, como apresentado na Figura 3. Na média de 20 a 25% de teor de ar incorporado há melhora na aderência e trabalhabilidade das argamassas, tendo em vista que ocorre um aumento em sua extensão da ligação. Acima dessa porcentagem de incorporação de ar as argamassas podem começar a apresentar problemas como a queda da resistência superficial e prejuízos na aderência com o substrato (CARASEK, 2011).

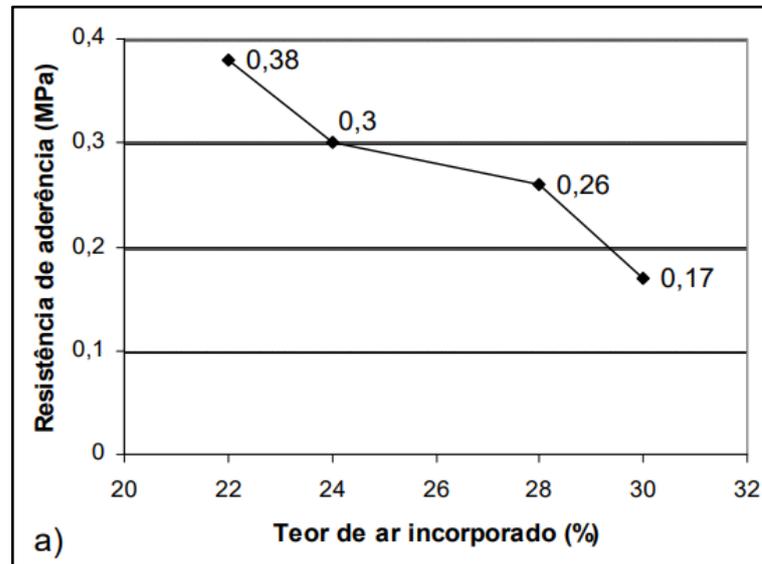
### **2.2.5 Água de Amassamento**

Para Dachery (2015), a água tem como função dar trabalhabilidade às misturas e também se encarrega da hidratação dos aglomerantes garantindo a coesão e endurecimento das massas por meio da ocorrência de reações químicas.

No cotidiano das obras, comumente é feito a adição de água nas misturas até obterem a consistência desejada da massa, atingindo assim a trabalhabilidade considerada ideal. Porém, é

importante que seu teor atenda o traço pré-estabelecido para a argamassa. Vale ressaltar que a água potável, sem contaminações e demasia de sais solúveis, é a indicada pra misturas que tem como substrato o CP (OLIVEIRA, 2015).

**Figura 3** - Influência do teor de ar incorporado na resistência de aderência de revestimentos de argamassa.



Fonte: Carasek (2011).

Os sais minerais solúveis são um problema na água de emassamento pois aceleram o tempo de pega da argamassa e pode inclusive gerar eflorescências na superfície revestida. Pelo motivo cito é vedada a utilização de água do mar ou mesmo de água não tratada sem antes a realização de testes que averiguem sua qualidade. Carasek (2011), certifica que as redes de abastecimento municipal são as fontes mais confiáveis para a obtenção de água potável para esse fim.

Segundo Castro e Martins (2016), a água de emassamento desempenha a função de hidratação do cimento. Durante a aplicação, a mesma tem relação direta com a regularização e desempenho das argamassas, além de afetar positivamente em seu tempo de aplicação. E, durante a cura, ao influir nas reações dos aglomerantes, a água de emassamento também influencia certas propriedades das argamassas já em seu estado endurecido.

### 2.3 CLASSIFICAÇÕES DAS ARGAMASSAS

De acordo com Carasek (2010), há diversos fatores que podem ser utilizados para a classificação das argamassas, entre eles os apresentados do Quadro 4.

**Quadro 4** - Classificação das argamassas.

<b>Critério de classificação</b>	<b>Tipo</b>
Quanto à natureza do aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa aérea</li> <li>• Argamassa hidráulica</li> </ul>
Quanto ao tipo de aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa de cal</li> <li>• Argamassa de cimento</li> <li>• Argamassa de cimento e cal</li> <li>• Argamassa de gesso</li> <li>• Argamassa de cal e gesso</li> </ul>
Quanto ao número de aglomerantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa simples</li> <li>• Argamassa mista</li> </ul>
Quanto à consistência da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa seca</li> <li>• Argamassa plástica</li> <li>• Argamassa fluida</li> </ul>
Quanto à plasticidade da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa pobre ou magra</li> <li>• Argamassa média ou cheia</li> <li>• Argamassa rica ou gorda</li> </ul>
Quanto à densidade de massa da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa leve</li> <li>• Argamassa normal</li> <li>• Argamassa pesada</li> </ul>
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa preparada em obra</li> <li>• Argamassa industrializada</li> <li>• Argamassa dosada em central</li> <li>• Mistura semi pronta para argamassa</li> </ul>

Fonte: Adaptado de CARASEK (2010, p.895)

Carasek (2010), também categoriza as argamassas de acordo com a função que será desempenhada pela mesma, como pode ser observado no Quadro 5.

**Quadro 5** - Classificação das argamassas segundo as suas funções na construção.

<b>Função</b>	<b>Tipos</b>
Para construção de alvenarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa de assentamento</li> <li>• Argamassa de fixação (ou encunhamento) -alvenaria de vedação</li> </ul>
Para revestimento de paredes e tetos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa de chapisco</li> <li>• Argamassa de emboço</li> <li>• Argamassa de reboco</li> <li>• Argamassa de camada única</li> <li>• Argamassa para revestimento decorativo monocamada</li> </ul>
Para revestimento de piso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa de contra piso</li> <li>• Argamassa de alta resistência para piso</li> </ul>
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa de assentamento de peças de cerâmica-colante</li> <li>• Argamassa de rejuntamento</li> </ul>
Para recuperação de estruturas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argamassa de reparo</li> </ul>

Fonte: Adaptado de CARASEK (2010, p.895)

## 2.4 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

### 2.4.1 Funções

Recena (2008, *apud* COSTA, 2016), estabelece que as argamassas não são elementos isolados e sim parte integrante da estrutura. De acordo com Oliveira (2015), o revestimento de argamassa tem como finalidade regularizar e impermeabilizar superfícies, desempenhar papel de isolante térmico e acústico, auxiliando assim na vedação, contribuir na estanqueidade à água e gases, além do favorecer a estética dos acabamentos. A argamassa de revestimento prepara paredes, pisos e tetos para receber pintura, cerâmicas, laminados, dentre outros.

De acordo com Baia e Sebbatini (2008), a má execução da estrutura pode afetar negativamente as funções da argamassa. As mesmas não são encarregadas de ocultar falhas grosseiras e de corrigir o desaprumo e desalinhamento da base (*apud* COSTA, 2016).

### 2.4.2 Classificações

A NBR 13529 (ABNT, 2013), classifica os tipos de revestimento de acordo com os critérios apresentados no Quadro 6.

### 2.4.3 Camadas de Revestimento

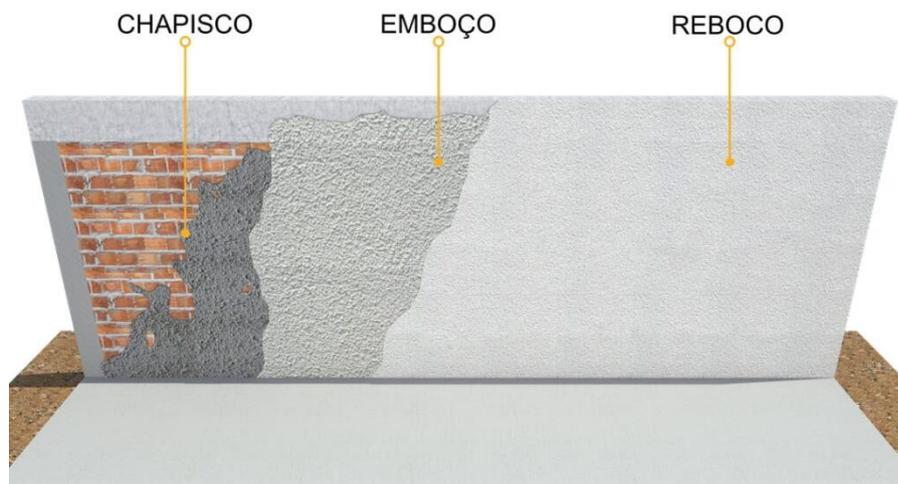
A classificação dos revestimentos de argamassa de acordo com o número de camadas define se os mesmos serão formados pela nominada massa única que, de acordo com Grochot (2012), deve desempenhar tanto a função de regularização da base, quanto de acabamento, ou por duas camadas, como mostra a Figura 4, sendo uma delas exclusivamente regularizadora da base, denominada emboço, e a segunda camada encarregada pelo acabamento, o reboco. Independentemente do número de camadas, elas normalmente são aplicadas sobre o chapisco, que é o preparo da base.

Existe ainda o chamado RDM, revestimento decorativo monocamada, que é uma argamassa industrializado que atende conjuntamente as funções de regularização de base e decoração. O mesmo pode ser aplicado em camadas ente 13 e 30mm (VIEIRA, 2019). As possibilidades de revestimento de parede citadas estão ilustradas na Figura 5, sendo (a): emboço + reboco + pintura; Figura, (b): camada única + pintura; (c): revestimento decorativo monocamada (RDM).

**Quadro 6** - Classificação dos revestimentos.

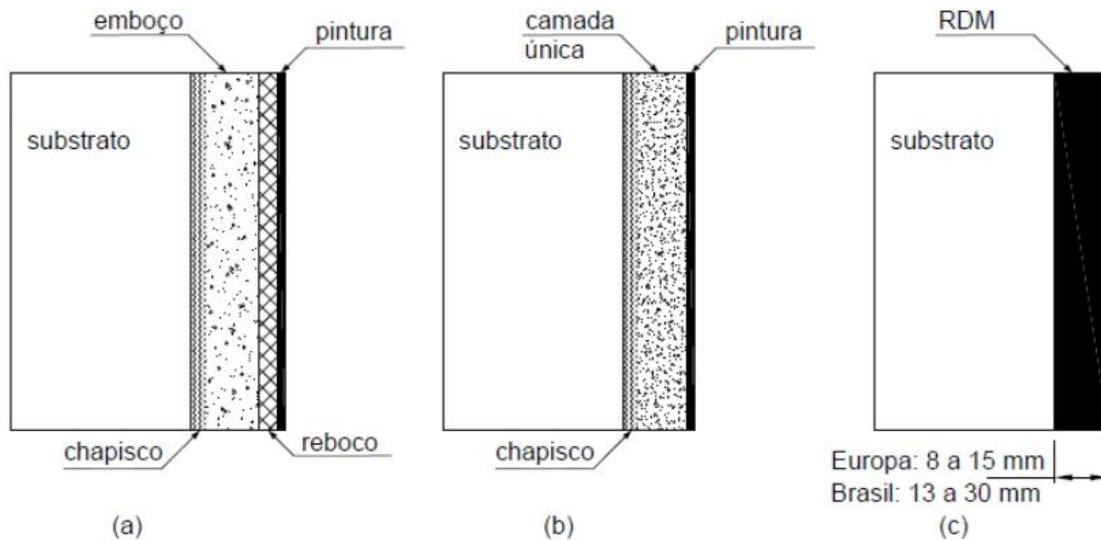
<b>Tipo</b>	<b>Critério de classificação</b>
Revestimento de camada única	Número de camadas aplicadas
Revestimento de duas camadas	
Revestimento com contato com o solo	Ambiente de exposição
Revestimento externo	
Revestimento interno	
Revestimento comum	Comportamento à umidade
Revestimento de permeabilidade reduzida	
Revestimento hidrófugo	
Revestimento de proteção radiológica	Comportamento a radiações
Revestimento termoisolante	Comportamento ao calor
Camurçado	Acabamento de superfície
Chapiscado	
Desempenado	
Sarrafeado	
Imitação travertino	
Lavado	
Raspado	

Fonte: NBR 13529 (ABNT, 2013).

**Figura 4** - Ilustração da aplicação de revestimento de duas camadas.

Fonte: Construindo Casas (2021).

**Figura 5** - Alternativas para revestimentos de parede.



Fonte: Adaptado de CARASEK (2010, p.900).

#### 2.4.3.1 Chapisco

O chapisco é caracterizado pela NBR 13529 (ABNT, 2013), como uma camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.

Para Dachery (2015), a principal propriedade do chapisco é proporcionar aderência entre o substrato e o revestimento argamassado, mas o mesmo também auxilia na estanqueidade da vedação.

A uniformização de bases com superfícies muito lisas, com porosidade inadequada, sucção muito alta ou muito baixa e exposição a condições mais severas (revestimentos externos) necessitam fundamentalmente de uniformização. Porém, por ser uma camada optativa, vinculada às características dos substratos, por vezes o chapisco não é considerado como camada de revestimento (GROCHOT, 2012).

A NBR 7200 (ABNT, 1998), sobre os procedimentos de execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas, define que a aplicação do chapisco deve ocorrer com uma consistência fluida, para melhorar a aderência na interface revestimento-base e para que a pasta de cimento adentre com maior facilidade na base. Orienta-se que o chapisco não cubra totalmente a base e que seja aplicado por lançamento.

#### 2.4.3.2 Emboço

A definição de emboço de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013) é: camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final.

De acordo com Oliveira (2015), a espessura ideal para que o emboço desempenhe suas funções de proteção da estrutura e da alvenaria contra intempéries e contribuição com a estanqueidade integrando o sistema de vedação das edificações é de 15 mm a 25 mm. Um emboço de alta performance deve apresentar necessariamente boa trabalhabilidade, permeabilidade e aderência e baixa retração.

Dado que o reboco é destinado a receber camadas subsequentes, o mesmo deve apresentar porosidade e textura superficial apropriadas à aderência do acabamento final que será utilizado. Essas propriedades são definidas pela granulometria dos insumos e pela técnica de execução (SANTOS, 2014). É orientado pela NBR 7200 (ABNT, 1998) que o emboço seja aplicado com no mínimo três dias de idade do chapisco; ou dois dias em locais de clima quente e seco, com temperatura acima de 30°C.

#### 2.4.3.3 Reboco

Conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013) reboco é uma camada revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final. Complementando esta definição a NBR 13749 (ABNT, 2013), apresenta diversos tipos de acabamento da superfície que podem ser executados pelo reboco, sendo eles: desempenado, camurçado, raspado, chapiscado, lavado ou tratado com produtos químicos.

Como a pintura é aplicada diretamente sobre o reboco é importante que a argamassa utilizada apresente um alto grau de absorção de deformações para que não surjam fissuras, especialmente em aplicações externas. Nesse caso, a resistência também é uma propriedade relevante, evitando ao máximo danos, tendo em vista que o reboco está sujeito a desgastes que pode ser provocado por agentes agressivos ou atividades de usuários (SABBATINI, 1990 *apud* GROCHOT, 2012). Oliveira (2015), afirma que o reboco é uma fina camada de revestimento que quando bem executado deve dispor de no máximo 5mm de espessura.

#### 2.4.3.4 Camada Única

De acordo com Carasek (2010), a camada única, também conhecida como massa única ou reboco paulista é o revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base. Nos dias de hoje, no Brasil, esta é a alternativa mais empregada.

Para Santos (2014) é importante que durante a execução do reboco paulista a argamassa juntamente com seu método de aplicação resulte em um revestimento capaz de cumprir a função do emboço, de regularizar a base, e do reboco, de garantir o acabamento final da superfície.

#### 2.4.4 Propriedades

Para que os revestimentos de argamassa cumpram corretamente suas funções é necessário que eles apresentem algumas propriedades específicas. Ao entender essas propriedades e os aspectos que as influenciam é possível analisar o comportamento dos revestimentos destinados a cada situação específica (MACIEL *et al.*, 1998 *apud* GROCHOT, 2012).

De acordo com Dachery (2015), há uma distinção entre as propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido. Costa (2016), ainda citando os mesmos autores, demonstra essa diferenciação de forma didática no Quadro 7.

**Quadro 7** - Propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.

<b>Estado fresco</b>	<b>Estado endurecido</b>
Massa específica e teor de ar	Aderência
Trabalhabilidade	Capacidade de absorver deformações
Retenção de água	Resistência mecânica
Aderência inicial	Resistência ao desgaste
Retração na secagem	Durabilidade

Fonte: Adaptado de Costa (2016)

Matos (2013), afirma que as dosagens e características dos materiais utilizados nos traços das argamassas exercem forte influência sobre as propriedades das mesmas em ambos estados, fresco e endurecido. O Quadro 8 aponta essa interferência.

A seguir a explanação de algumas propriedades das argamassas de revestimento de parede que apresentam relevância para o desenvolvimento do trabalho em questão, assim como suas influências nas características e vida útil das edificações.

**Quadro 8** - Influência dos componentes sobre as propriedades da argamassa.

Estado	Propriedade	Componentes				
		Cimento	Cal	Areia		Água
				Grossa	Fina	
Fresco	Fluidez	+	+	o	o	++
	Plasticidade	+	++	-	+	o
	Coessão	+	++	-	+	o
	Retenção de água	+	++	-	+	o
Endurecido	Tensão de aderência	++	o	o	o	o
	Extensão de aderência	-	++	-	+	+
	Durabilidade da aderência	-	++	o	o	o
	Resistência à compressão	++	-	+	-	-

(++) Indica que aumenta bastante; (+) Indica que aumenta; (-) Indica que diminui; (o) Indica que tem pouca influência. Fonte: Matos (2013).

#### 2.4.4.1 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade é uma propriedade que se responsabiliza pelas condições de execução, ou seja, sua forma de aplicação em obra, e também pelo desempenho adequado do revestimento em serviço. Caso a trabalhabilidade não seja satisfatória e conseqüentemente sua aplicação não for da forma ideal, haverá prejuízo de outras propriedades da argamassa em seu estado endurecido, que dependem de sua aplicação caindo assim o nível de desempenho do revestimento (CARASEK, 2010).

A definição de argamassa “trabalhável” é dada quando o pedreiro consegue executar bem seu trabalho, garante a adesão apropriada a base e um impecável acabamento superficial (CARASEK, 2010). Ainda de acordo com a autora, um conjunto de diversas outras propriedades como: consistência, plasticidade, retenção de água e de consistência, coessão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial é que caracteriza a argamassa (Quadro 9).

Segundo Rago e Cincotto (1997, *apud* Silva, C. *et al*, 2016) as principais propriedades capazes de expressar a trabalhabilidade são a plasticidade e consistência. Os métodos de ensaio definidos para a determinação pelas mesmas avaliam a trabalhabilidade em forma de valores indicativos.

**Quadro 9** - Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas.

<b>Propriedades</b>	<b>Definição</b>
Consistência	É a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação de cargas.
Plasticidade	É a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação.
Retenção de água e de consistência	É a capacidade de a argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água.
Coesão	Refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante.
Exsudação	É a tendência de separação da água (pasta) da argamassa, de modo que a água sobe e os agregados descem pelo efeito da gravidade. Argamassas de consistência fluida apresentam maior tendência de exsudação.
Densidade da massa	Relação entre a massa e o volume do material.
Adesão inicial	União inicial da argamassa no estado fresco ao substrato.

Fonte: Carasek (2010, p.905).

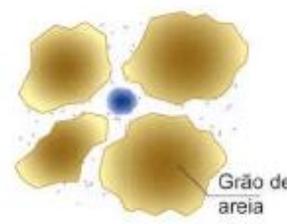
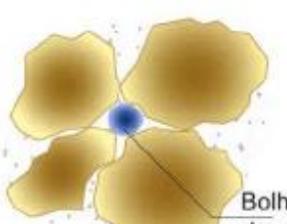
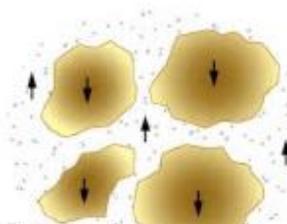
Santos (2014) considera a trabalhabilidade uma propriedade subjetiva das argamassas, uma vez que não existe um padrão ideal para sua utilização. Desta forma, a facilidade de mobilidade, a coesão e a resistência à exsudação ou à segregação são determinadas pela consistência e plasticidade.

A classificação das argamassas de acordo com sua consistência está exemplificada na Figura 6 (MATOS, 2013). As argamassas produzidas para realização desse trabalho serão classificadas como plásticas.

Avaliando qualitativamente a trabalhabilidade das argamassas de revestimento, Costa (2016) apresentam os seguintes aspectos:

- Deixa penetrar facilmente a colher de pedreiro sem ser fluida;
- Mantem-se coesa ao ser transportada, mas não adere a colher ao ser lançada;
- Distribui-se facilmente e preenche todas as reentrâncias da base;
- Não endurece rapidamente quando aplicada.

**Figura 6** - Consistência das argamassas.

<b>CONSISTÊNCIA</b>	Argamassa Seca	A pasta aglomerante somente preenche os vazios entre os agregados, deixando-os ainda em contato. Existe o atrito entre as partículas que resulta em uma massa áspera.	
	Argamassa Plástica	Uma fina camada de pasta aglomerante “molha” a superfície dos agregados, dando uma boa adesão entre eles com uma estrutura pseudo-sólida.	
	Argamassa Fluida	As partículas de agregado estão imersas no interior da pasta aglomerante, sem coesão interna e com tendência de depositar-se por gravidade (segregação). Os grãos de areia não oferecem nenhuma resistência ao deslizamento, mas a argamassa é tão líquida que se espalha sobre a base, sem permitir a execução adequada do trabalho.	

Fonte: Matos (2013)

#### 2.4.4.2 Retenção de Água

A NBR 13277 (ABNT, 2005) é a responsável por prescrever como será realizada a determinação da retenção de água para argamassas de revestimento de paredes e tetos. Carasek (2010) afirma que essa propriedade associasse a capacidade da argamassa, enquanto fresca, de manter sua trabalhabilidade ao ser submetida a situações que ocasionem perda de água de amassamento, por evaporação ou por absorção pela base.

De acordo com Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2003), conforme citado por Matos (2013), a retenção de água indevida, quando insuficiente ocasiona o enrijecimento da argamassa, atrapalhando ou até impossibilitando a aplicação da mesma. Já o elevado índice de retenção de água dificulta a percolação da água dificultando a aderência da argamassa.

A argamassa com retenção de água adequada tem seu endurecimento retardado, possibilitando a adequada hidratação do cimento e influenciando positivamente sua resistência mecânica, aderência e capacidade de absorver deformações (COSTA, 2016).

#### 2.4.4.3 Resistência Mecânica

No estado endurecido, uma das principais propriedades das argamassas é a resistência mecânica, a mesma é definida como a capacidade da argamassa de suportar tensões simultâneas, e de múltiplas origens, de tração, compressão e cisalhamento (SELMO, 1989 *apud* BOTELHO *et al.*, 2019).

Costa (2016), afirmam que a resistência mecânica tem relação direta com os agregados e aglomerantes utilizados na argamassa. E que também há influência pela sua forma de aplicação. Dachery (2015), citando os mesmos autores assegura que a redução da parcela de agregado na argamassa a resistência mecânica aumenta e a relação água/cimento varia.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), entre outras divisões, as argamassas podem ser classificadas de acordo com a resistência à compressão (Tabela 1) e à tração na flexão (Tabela 2).

**Tabela 1** - Classificação das argamassas segundo a resistência à compressão.

<b>Classe</b>	<b>Resistência à Compressão Axial (MPa)</b>
P1	≤ 2,0
P2	1,5 a 3,0
P3	2,5 a 4,5
P4	4,5 a 6,5
P5	5,5 a 9,0
P6	> 8,0

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

**Tabela 2** - Classificação das argamassas segundo a resistência à tração na flexão.

Classe	Resistência à Tração na Flexão (MPa)
R1	$\leq 1,5$
R2	1,0 a 2,0
R3	1,5 a 2,7
R4	2,0 a 3,5
R5	2,7 a 4,5
R6	$> 3,5$

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

## 2.5 RESÍDUOS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Araújo Lima *et al.* (2011), reconhece que o bagaço da cana-de-açúcar é o resíduo mais atrativo da indústria sucroalcooleira, pois tem um grande poder energético. Desta forma, as indústrias utilizam essa fonte de energia nos processos produtivos do álcool e do açúcar. As cinzas residuais desse procedimento é um dos principais problemas enfrentados pelas usinas, tendo em vista que não há possibilidade de redução das mesmas. Nesse sentido, a viabilidade da transformação da CBC (Cinzas do Bagaço da Cana-de-açúcar) em um material pozolânico ou reativo é muito necessária (*apud* ZANELLA *et al.*, 2019).

Lombardi (2019) afirma que a substituição, mesmo que parcial, dos agregados miúdos por CBC, em argamassas e concretos, além de reduzir os resíduos que seriam descartados, também preserva os recursos naturais não renováveis.

A queima do bagaço da cana, para a geração de energia, origina uma grande quantidade de cinza pesada, que fica depositada no fundo das caldeiras. Estas cinzas são compostas principalmente por materiais inorgânicos, como mostrado na Tabela 3 (VASCONCELOS, 2013).

**Tabela 3** - Composição química da cinza (% em peso).

SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
83,7	6,5	6,15	1,18	1,16	0,68	0,30	0,094	0,081	0,04	0,037	0,029

Fonte: Vasconcelos (2013).

Vasconcelos (2013), define a CBC como um material pulverulento que pode apresentar diversas tonalidades de cinza. Sua temperatura de combustão depende do teor de umidade do bagaço utilizado, podendo variar de 300°C a 1000°C. A temperatura de queima da cinza é inversamente proporcional a sua concentração de carbono, lembrando que cinzas com menor concentração de carbono são mais claras e com concentração elevadas são mais escuras.

As cinzas, majoritariamente siliciosas, produzidas no estado amorfo e com finura adequada podem ser utilizadas como adição mineral. Sua resposta durante a utilização depende da sua composição química, a mesma é influenciada pelas propriedades do produto que gerou a cinza, pelo solo e pelo processo de obtenção das cinzas (BESSA, 2011).

De acordo com Cordeiro (2006, *apud* VASCONCELOS, 2013) a CBC com sua reduzida granulometria, elevada porosidade e composição rica em silicatos e aluminatos possui um grande potencial para incorporação, como adição, ao cimento Portland.

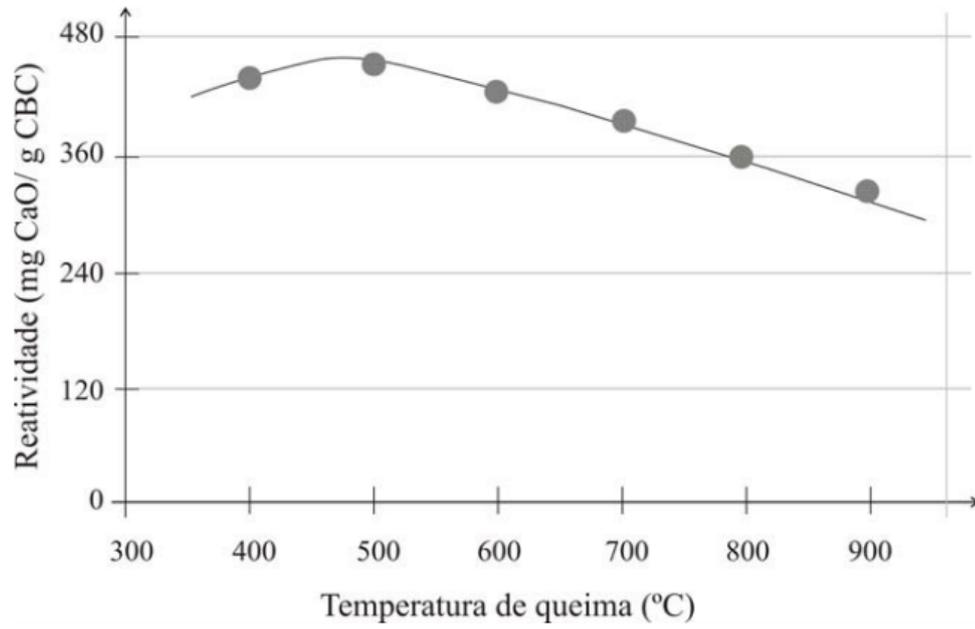
Bessa (2011), separa as adições minerais em material cimentante, material pozolânico e material não reativo, de acordo com suas propriedades físico-químicas. A CBC é considerada pozolânica, ou seja, sozinha possui pouco ou nenhum valor cimentício, mas ao ser umedecida, em temperatura ambiente, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio e forma compostos com propriedades cimentícias.

Segundo Vasconcelos (2013), para aumentar a reatividade da CBC o usineiro pode controlar a temperatura da queima do bagaço, para que assim a sílica permaneça no estado amorfo e o que o carbono seja eliminado. Levando em consideração que altas temperaturas garantem grande parte da liberação do CO<sub>2</sub> e a conversão do SiO<sub>2</sub> ao estado cristalino.

No trabalho realizado por Cordeiro *et. al.* (2008) os autores analisaram que a temperatura de queima influencia na reatividade das cinzas (Figura 7), além da percepção que a atividade pozolânica e a resistência a compressão das argamassas cresceu proporcionalmente ao seu tempo de moagem, sendo que a cana moída por 240 minutos apresentou os melhores resultados (*apud* BESSA, 2011).

Para a realização da testagem da influência da substituição parcial do agregado miúdo por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em argamassas de revestimento, será de grande importância a caracterização granulométrica tanto da areia fina quanto da CBC. Além disso, é essencial analisar o índice de consistência de cada uns dos traços a serem ensaiados. Serão realizados testes de resistência à tração na flexão e resistência à compressão em um traço referência e em mais três traços com diferentes porcentagens de CBC.

**Figura 7** - Efeito da temperatura de queima na reatividade da CBC.



Fonte: Bessa (2011).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho teve como escopo a testagem de argamassas para revestimento de parede, sendo elas classificadas como argamassas simples de cimento, definidas quanto à natureza como hidráulicas, com consistência plástica, plasticidade média e densidade de massa normal. Levando em consideração o preparo realizado em obra.

Para classificar o desempenho das argamassas de revestimento em estudo, foi utilizado o método de medição *in loco* através do modelo de corpos de prova. O tipo de argamassa escolhido para a realização do estudo foi a argamassa produzida em obra, que apresenta uma mistura formada apenas por cimento, areia e água. Além dos materiais básicos que constituem tal mistura, foram inseridos de forma substitutiva a CBC.

O cimento escolhido para a fabricação dos traços foi o cimento Portland CPII-F 32. Já que o mesmo contém alto teor de clínquer e grau de finura adequado indicado para argamassas de revestimento. O material escolhido é fabricado pela empresa Votorantim Cimentos, e pertence a linha de produtos correspondente ao Cimento Tocantins.

A areia escolhida para compor o traço foi a areia natural fina, usual em revestimentos feitos de argamassa dosada em obra.

A água utilizada nos traços foi fornecida pela empresa de abastecimento local, a Companhia de Saneamento de Goiás (SANEAGO).

Para efeito comparativo, ocorreu a definição de um traço referência, além de três traços alternativos, com diferentes porcentagens de substituição do agregado por cinzas do bagaço da cana-de-açúcar. O primeiro traço contendo apenas os materiais básicos da argamassa dosada em obra (cimento, areia e água), e os demais traços contendo substituição de CBC nas porcentagens, 0,5%, 1,5% e 3% na massa do agregado miúdo.

Inicialmente, as porcentagens de substituição seriam de 10%, 20% e 30%. Porém ao realizar a testagem prévia não foi possível fazer essas dosagens devido as propriedades da cinza, que sugam bastante água. A porcentagem foi sendo gradualmente diminuída até que fosse possível rodar a argamassa sem a alteração do fator *a/c*.

Foram moldados oito corpos de prova, de mesma dimensão, para cada traço, totalizando 32 unidades. Os mesmos foram testados quanto a sua resistência de forma gradativa de acordo com o tempo de cura, nas idades de 14, 21 e 28 dias.

Para que houvesse o mínimo de variação possível nos resultados, todos os corpos de prova foram fabricados no mesmo dia e sob mesmas condições. Os mesmos foram dosados e moldados no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Evangélica de Goiás–

UniEVANGÉLICA. Os ensaios de resistência, por sua vez, foram realizados no Laboratório de Ensaios da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG.

Para a caracterização dos materiais utilizados, a metodologia de fabricação dos corpos de prova e a testagem dos corpos de prova foram utilizadas as Normas Regulamentadoras apresentadas no Quadro 10.

**Quadro 10 - Normas Utilizadas.**

<b>Ensaio</b>	<b>Norma Regulamentadora</b>
Preparo da mistura de argamassa para a realização de ensaios	ABNT NBR 16541:2016
Caracterização dos matérias quanto a granulometria	ABNT NBR 7211:2009
Preparo da mistura e determinação do índice de consistência	ABNT NBR 13276:2016
Determinação da resistência à compressão axial	ABNT NBR 13279:2005
Determinação da resistência à tração na flexão	ABNT NBR 13279:2005

Fonte: Autores (2021)

### 3.1 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS

O traço de referência foi composto por cimento Portland CP II-F, agregado miúdo (areia fina) e água. A proporção para o mesmo foi de 1:3, assim para cada unidade de cimento utilizado foram adicionados ao traço 3 unidades de areia fina. A água acrescida foi definida através do ensaio de abatimento, conforme a NBR 13267 (ABNT, 2016), realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Evangélica de Goiás– UniEVANGÉLICA. A relação água/cimento (a/c) utilizada no traço referência, e em todos os demais traços, foi de 1:0,5844.

A areia utilizada no experimento foi a areia fina de origem natural, adquirida no município de Goianésia/GO, mas proveniente do município de Faina/GO. Para sua caracterização foi realizado o ensaio de granulometria de acordo com os requisitos prescritos na NBR 7211 (ABNT, 2009).

O material foi mensurado e levado a estufa que foi programada para uma temperatura de 110°C, por um período de 14 horas, tempo suficiente para atingir uma massa constante. Após a secagem, o material foi pesado novamente e levado para o peneiramento com toda série de peneiras posicionadas de forma decrescente, como mostra a Figura 8. Depois do peneiramento cada peneira foi pesada com a quantidade de areia retida. O resultado do ensaio de

granulométrico é dado pela Tabela 4 e sua respectiva curva granulométrica é apresentada na Figura 9.

**Figura 8** - Peneiras utilizadas nos ensaios de granulometria.



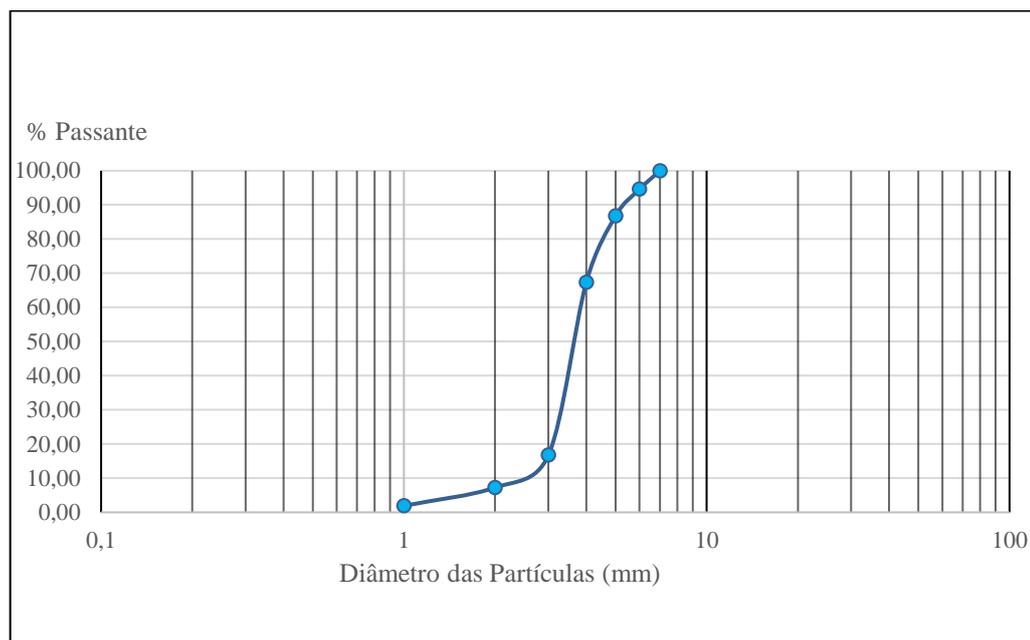
Fonte: Autores (2021).

**Tabela 4** - Ensaio Granulométrico do Agregado Miúdo.

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Massa Retida (g)</b>	<b>Massa Retida em Porcentagem (%)</b>	<b>Porcentagem Acumulada (%)</b>
4,75	4,45	1,90	1,90
2,36	12,54	5,35	7,25
1,18	22,22	9,48	16,73
0,60	118,49	50,56	67,29
0,30	45,67	19,49	86,78
0,15	18,33	7,82	94,60
Fundo	12,63	5,39	99,99

Fonte: Autores (2021).

Através dos dados apresentados na Tabela 4 foi traçado a curva granulométrica do agregado miúdo, apresentada pelo gráfico da Figura 9.

**Figura 9** - Curva Granulométrica do Agregado Miúdo.

Fonte: Autores (2021).

A Tabela 4 e o Gráfico da Figura 9 apresentam dados com um aumento repentino no acúmulo de grãos com mesmo diâmetro, mostrando que o material tem uma característica de agregado miúdo típico, com grãos em sua maioria em dimensões micrométricas.

Para a substituição do resíduo do bagaço de cana-de-açúcar nos traços de argamassa, também foi realizado de forma prévia um ensaio de classificação granulométrica, conforme os requisitos especificados na norma NBR 7211 (ABNT, 2009). Lembrando que a classificação do tipo de agregado correspondente ao resíduo analisado pode variar entre grossa, média, fina e muito fina.

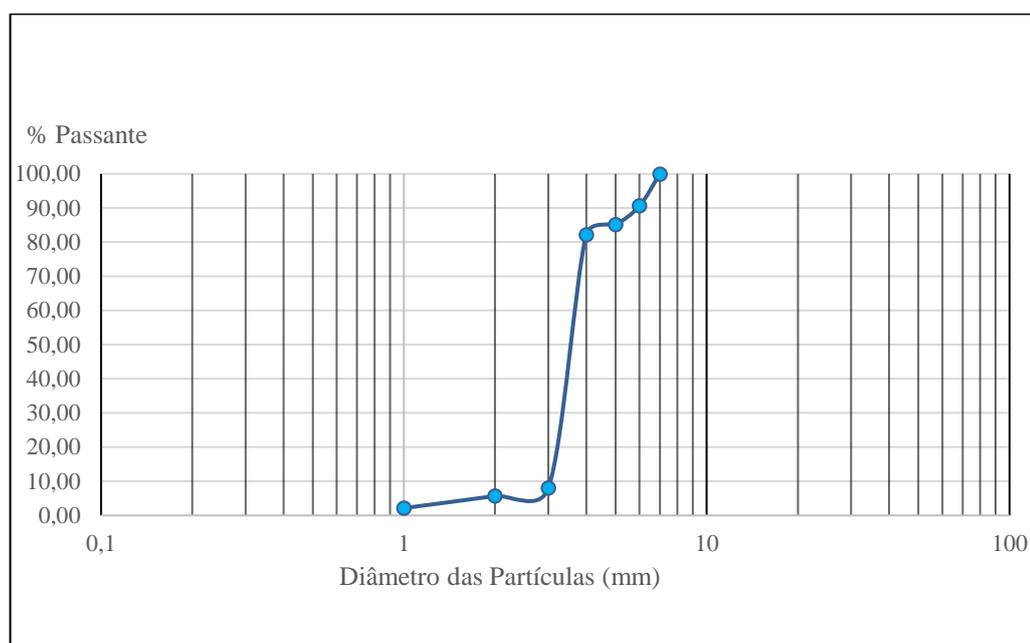
A CBC foi primeiramente levado à estufa de secagem por um período de 14h, com a temperatura ajustada em 110 °C. Em seguida, a CBC foi retirada da estufa e devidamente pesada e mensurada.

Com o resíduo completamente seco deu-se início ao peneiramento do material, que foi feito utilizando as peneiras definidas pela NBR 7211 (ABNT, 2009). A retenções em cada peneira estão apresentadas na Tabela 5, assim como sua curva granulométrica está contida no gráfico da Figura 10.

**Tabela 5** - Ensaio Granulométrico da CBC.

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Massa Retida (g)</b>	<b>Massa Retida em Porcentagem (%)</b>	<b>Porcentagem Acumulada (%)</b>
4,75	5,05	2,15	2,15
2,36	8,31	3,54	5,69
1,18	5,47	2,33	8,02
0,60	173,8	74,16	82,18
0,30	7	2,99	85,17
0,15	12,83	5,47	90,64
Fundo	21,89	9,34	99,98

Fonte: Autores (2021)

**Figura 10** - Curva Granulométrica da CBC.

Fonte: Autores (2021).

Através da análise dos dados do gráfico da Figura 10 pode-se observar uma curva granulométrica descontínua, caracterizando um material com um acúmulo de grãos com mesmo diâmetro, contendo 74,16% da massa retida na peneira com abertura de 600 $\mu$ m. Esta característica da areia utilizada se aproxima as dos grãos da CBC.

Os corpos de prova com traço com substituição mantiveram a mesma proporção de água/cimento (0,5844) do traço de referência, e o agregado, por sua vez, teve parte de sua massa substituída pelo resíduo do bagaço de cana-de-açúcar.

Foram executados quatro traços de argamassa para realização dos ensaios, cada um deles com características específicas. O primeiro traço, denominado REF, foi fabricado apenas com os materiais que compõem a argamassa simples dosada em obra (cimento, areia e água). O mesmo foi utilizado como parâmetro para os demais traços produzidos.

O segundo traço, já com a adição do CBC, foi identificado com P0,5 e teve uma parcela correspondente a 0,5% do agregado miúdo substituído por cinza do bagaço de cana-de-açúcar, mantendo a mesma relação a/c do traço REF. O traço T1,5 corresponde ao traço com uma porcentagem de substituição de 1,5% da massa da areia utilizada no traço REF por CBC, mantendo a mesma relação a/c. E a última variação de traço, nomeada T3, apresentou substituição de 3% da massa do agregado miúdo por CBC, mantendo a relação a/c do traço referência.

### 3.1.1 Traço de Referência

Para o traço de referência adotou-se a quantidade de 465g de cimento, 1350g de areia fina e 263g de água, ou seja, uma relação água/cimento de 0,5844. A partir do traço estipulado foi confeccionada a argamassa de acordo com o que definido pela NBR 16541 (ABNT, 2016).

As quantidades de cimento e areia foram introduzidas na argamassadeira, juntamente com 75% do total de água a ser utilizada. A mesma foi acionada na velocidade baixa por 30s. Logo em seguida a velocidade do equipamento foi alterada para alta e manteve-se o processo de misturar por 60s.

Após o tempo estipulado o material foi misturado e homogeneizado à mão (Figura 11a) e colocado novamente no equipamento, juntamente com os 25% restantes de água. A argamassadeira foi novamente acionada, na velocidade baixa, durante 60s (Figura 11b).

**Figura 11** - Preparação dos traços de argamassa.



Fonte: Autores (2021).

### **3.1.2 Traço T0,5**

O traço T0,5 foi desenvolvido seguindo o mesmo passo a passo utilizado para o traço de referência. Não houve variação do fator água/cimento estabelecido, diferenciando-se apenas pela substituição parcial do agregado miúdo por CBC.

A substituição de parte da areia nesse corpo de prova representou 0,5% de sua massa total utilizada no traço de referência. Desta forma, o traço T0,5 apresentou 6,75g de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar. As quantidades de cimento, areia e água utilizadas foram respectivamente 450g, 1343,25g e 263g.

### **3.1.3 Traço T1,5**

Para a fabricação do segundo traço com adição de CBC foi utilizado uma massa de 20,25g de cinzas, que representou 1,5% da massa de areia utilizado no traço de referência. A massa dos demais matérias utilizadas nesse corpo de provas foram 450g de cimento, 1329,75g de areia e 263g de água.

### **3.1.3 Traço T3**

Representando 3% do volume total de agregado miúdo adicionado a mistura, a CBC utilizada no T3 apresentou uma massa de 40,5g. A relação a/c se manteve idêntica a do traço de referência, e as proporções de insumos utilizadas foram de 450g de cimento, 1309,5g de areia e 263g de água.

## **3.2 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA**

Após a fabricação dos traços de argamassa, o material foi levado para mesa de consistência para a realização do ensaio de abatimento, seguindo as orientações da NBR 13276 (ABNT, 2016).

Os preparativos dos ensaios foram realizados da mesma maneira tanto para o traço de referência, quanto para os traços com adição de CBC. Sendo assim, misturas feitas em cada traço específico seguiram os mesmos parâmetros e condições para serem fabricadas.

Logo após a retirada do material da argamassadeira, com a mesa de abatimento e o tronco cônico previamente preparados, umedecidos com um pano, e o molde posicionado no

centro da mesa, a argamassa foi inserida de forma gradativa e dividida em três parcelas iguais de volume.

Após o preenchimento de cada terço dentro do cone a argamassa foi golpeada com um soquete metálico, de forma que o material fosse comprimido. O número de golpes foram respectivamente 15, 10 e 5 vezes consecutivas, a cada nova camada que foi adicionada, como especifica a NBR 13276 (ABNT, 2016).

A primeira parcela de argamassa foi inserida no molde cônico, logo após foram aplicados 15 golpes com o soquete, em seguida a segunda parcela de argamassa foi inserida e adensada com 10 golpes, a terceira e última parcela de argamassa foi adicionada e golpeada 5 vezes.

Posteriormente foi realizado o rasamento da argamassa, ou seja, a retirada do seu excesso da parte superior do cone, com o auxílio de uma régua metálica, finalizando como está apresentado na Figura 12. Imediatamente o cone é retirado de forma horizontal para que seja dado início ao acionamento da mesa para índice de consistência.

**Figura 12** - Argamassa no cone, na mesa de abatimento.



Fonte: Autores (2021)

A mesa para índice de consistência utilizada no ensaio foi de acionamento manual, portanto o acionamento foi realizado em um período de 30 segundos, no qual a mesa foi acionada 30 vezes consecutivas.

Imediatamente após a última queda foi aferido com o auxílio de um paquímetro o espalhamento da argamassa em 3 posições de diâmetros diferentes, como mostra a Figura 13.

Os dados foram recolhidos e analisados de acordo com o que determina a NBR 13276 (ABNT, 2016),

**Figura 13** - Medição do espalhamento da argamassa.



Fonte: Autores (2021)

O experimento foi repetido com diferentes quantidades de água, para a determinação do traço ideal. O abatimento foi calculado através da média das três circunferências do corpo de prova. O ensaio que apresentou a quantidade ideal de água da mistura foi o que obteve o abatimento de 169,5mm, resultado de uma adição de 263g de água.

Através do método citado definiu-se que o traço de referência correspondeu a uma mistura com proporções de 1:3:0,584, cuja as quantidades adotadas foram de 465g de cimento, 1350g de areia e 263g de água.

O ensaio para a obtenção do índice de consistência foi realizado com o traço referência e com todos os traços alternativos. O mesmo foi calculado com a média dos resultados obtidos a partir da medição dos diâmetros do espalhamento. Para que isso fosse possível, cada traço passou rigorosamente pelos procedimentos descritos no item 3.1.1 deste trabalho, obtendo-se assim as referidas argamassas, lembrando que para cada traço foi utilizada sua respectiva porcentagem de substituição por CBC. Em seguida os traços foram submetidos ao teste de abatimento explicado neste item.

Os resultados dos ensaios de índice de consistência, com a média de três medidas diâmetros, expressa em milímetros, arredondados ao número inteiro mais próximo, definido pela NBR 13276:2016, estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6** - Índice de consistência.

<b>Traço</b>	<b>Média dos diâmetros (mm)</b>
REF	169
T0,5	145
T1,5	123
T3	108

Fonte: Autores (2021).

Levando em consideração que o índice de consistência ideal de uma argamassa de revestimento está entre 160 e 170 mm, nenhum dos traços que foram parcialmente substituídos por CBC apresentaram um resultado satisfatório. É possível perceber, inclusive pela aparência das amostras apresentadas na Figura 14, que quando maior a porcentagem de cinza mais a argamassa se mostrou inconsistente e com aspecto esfarinhado, sem fluidez.

**Figura 14** - Espalhamento da argamassa após o ensaio de índice de consistência, amostra com traço T0,5 (a), traço T1,5 (b) e traço T3 (c).



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autores (2021).

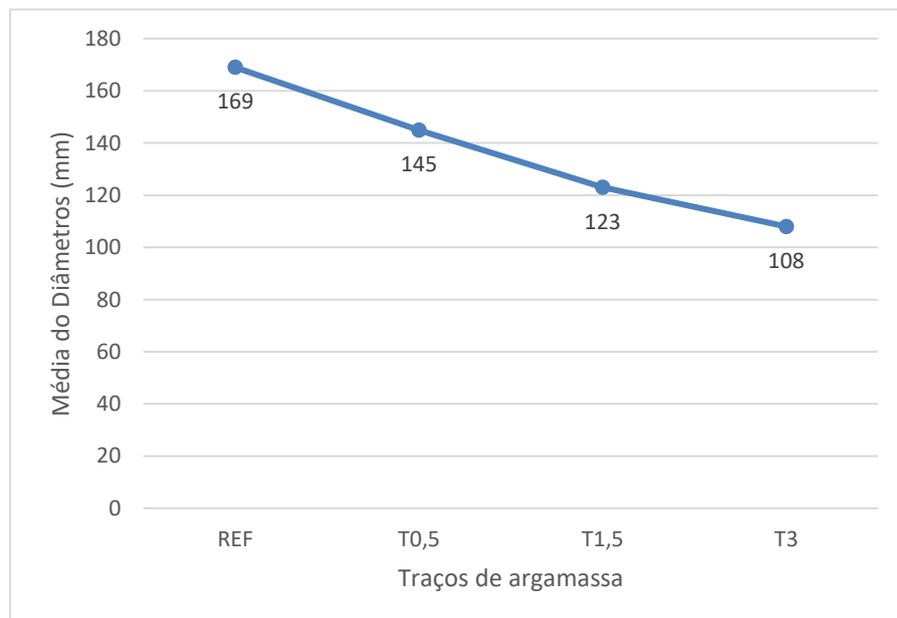
Em razão do acréscimo das porcentagens de CBC, foi notório um gradual escurecimento na cor dos corpos de prova.

Na prática, a boa trabalhabilidade é definida quando a argamassa tem uma boa liga na colher de pedreiro, desliza sem dificuldade e adere bem as superfícies verticais das paredes. As argamassas com traços T0,5 e T1,5 cumpriram esses requisitos com certa dificuldade, pois se apresentaram bastante secas e difíceis de trabalhar. Já com a argamassa com traço T3, seria inviável o emassamento. Nesse caso, seria interessante a adição de um aditivo plastificante.

Relacionando a classificação granulométrica dos agregados miúdos com os resultados obtidos neste teste de abatimento, pode-se dizer que a CBC possui a granulometria muito próxima há de uma areia fina, porém possui uma maior área específica de grãos. Esta característica é percebida ao analisarmos que a cinza “suga” bastante água. Sendo assim, seria necessário maiores quantidades de água para garantir uma boa molhagem. Como foi mantida a quantidade de água em todos os traços, conforme foi aumentando a quantidade de CBC incorporada a consistência foi decrescendo e conseqüentemente a trabalhabilidade também.

O gráfico da Figura 15 apresenta a redução da média dos diâmetros obtidos na mesa para índice de consistência, e conseqüentemente a queda da trabalhabilidade.

**Figura 15** - Índice de consistência.



Fonte: Autores (2021).

### 3.3 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Para a realização dos ensaios foram confeccionados moldes com parâmetros que atendessem as medidas de corpos de prova exigidos por norma.

Os moldes foram fabricados de madeira, com dimensões internas de 40mm de largura, 40mm de altura e 160mm de comprimento, de acordo com o que pede a NBR 13279 (ANBT, 2005). Cada plataforma de madeira apresenta capacidade para 20 corpos de prova. Cada espaço para corpo de prova foi dividido por uma peça móvel para que a remoção fosse facilitada. As

peças moveis apresentavam uma espessura de 20mm de madeira maciça para que não sofressem deformações com a dilatação da argamassa garantindo as medidas estabelecidas.

Logo após a produção dos traços de argamassa, as misturas foram transferidas para a moldeira, sendo preenchidos oito espaços por cada traço. Ou seja, foram fabricados 32 corpos de prova, como mostra a Figura 16, exclusivamente, para a realização dos ensaios de tração na flexão e de compressão axial. Cada corpo de prova foi devidamente identificado com seu respectivo traço.

Antes de mistura de argamassa ser inserida nas formas foi utilizado um tipo de desmoldante a base de glicerina ( $C_3H_8O_3$ ), composto utilizado apenas para que a desforma fosse facilitada e ocorresse sem nenhum prejuízo aos corpos de prova.

**Figura 16** - Corpos de prova já moldados.



Fonte: Autores (2021)

### 3.4 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA

#### 3.4.1 Resistência à tração na flexão

Para obtenção dos dados de resistências, os corpos de provas passaram por uma aferição de carga necessária para rompimento, que foi obtida através do ensaio de tração na flexão determinado pela norma NBR 13279 (ABNT, 2016).

A prensa hidráulica utilizada foi de acionamento manual, a mesma encontrasse no Laboratório de Ensaios da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG. Para o ensaio de resistência à tração na flexão a prensa foi adaptada para seguir os parâmetros indicados pela norma.

Foram colocados dois apoios metálicos em formato cilíndrico com diâmetro igual a 10mm. A distância entre eles representou 50mm a partir do eixo de cada cilindro até o eixo de aplicação da força vertical. Dessa forma a distância entre as duas hastes metálicas foi de 100 mm.

Os corpos de prova foram colocados de forma centralizada nas hastes cilíndricas, de modo que o comprimento maior do corpo de prova ficasse perpendicular aos cilindros metálicos. O centro do comprimento do corpo de prova foi posicionado no mesmo alinhamento de aplicação da força vertical, ficando 50 mm do eixo da haste metálica e ultrapassando 30 mm de ambos lados, como pode ser observado na Figura 17.

**Figura 17** - Prensa adaptada para o ensaio de tração na flexão.



Fonte: Autores (2021).

Com o corpo de prova devidamente centralizado o acionamento do equipamento foi realizado e o aumento contínuo da força axial foi aplicada até o corpo de prova chegar em seu estado crítico e romper. O procedimento foi repetido de forma individual para todos os corpos de prova de cada traço fabricado. Vale ressaltar que foram rompidos quatro corpos de prova de cada traço para cada idade (14 e 21 dias).

Logo após o rompimento de cada corpo de prova foram colhidos os dados de pico de carga para o cálculo de resistência à tração na flexão. O equipamento em questão apresenta os dados em unidade de medida diferentes daquela utilizada para o cálculo de resistência, por isso se fez necessário a adaptação dos dados, que foram transformados de Tf (tonelada força) para kN (Quilo Newtons).

Para a conversão dos dados de Tf para kN (consultar Apêndice A) os valores recolhidos na prensa como carga máxima para ruptura foram multiplicados pela aceleração da gravidade, obtendo-se assim os valores de carga máxima em kN.

Os resultados referentes a resistência à tração foram obtidos através da relação expressa na Equação 1 estipulada pela NBR 13279 (ABNT, 2016), expressa abaixo.

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_t \cdot L}{40^3} \quad (1)$$

Onde:

$R_f$  é a resistência a tração na flexão, em Megapascal;

$F_t$  é a carga aplicada verticalmente no centro do corpo de prova, em Newtons;

$L$  é a distância entre os suportes, em milímetros.

### 3.4.2 Resistência à compressão axial

O ensaio de compressão axial foi realizado posteriormente ao ensaio de tração na flexão. Para a realização desse ensaio foram utilizados os mesmos corpos de prova rompidos anteriormente (Figura 18).

A prensa hidráulica manual, a mesma utilizada no ensaio precedente, foi preparada de acordo com o que determina a norma NBR 13279 (ABNT, 2016). Um suporte de superfície plana e material rígido foi colocado para que o material fosse rompido sobre ele.

A norma define que a superfície do equipamento que aplica força axial sobre o corpo de prova apresente dimensões iguais a uma seção quadrada de 40x40 milímetros, apresentando assim uma área de contato com o corpo de prova igual a 1600mm<sup>2</sup>. Entretanto, a prensa disponível no campus da FACEG, local onde foram realizados os ensaios, não apresenta equipamento para adaptação da prensa que atenda essa especificação da norma. Desta forma foi necessária uma adequação no equipamento e no processamento de dados fornecidos por ele.

**Figura 18** - Corpos de prova após o ensaio de tração na flexão.



Fonte: Autores (2021).

Foi utilizado um suporte para aplicação de força que abrangesse todo a superfície do corpo de prova, mas sem alterar a o posicionamento estabelecido pela NBR 13279 (ABNT, 2016). Com o suporte devidamente posicionado foi utilizado apenas uma metade do corpo de prova rompido no ensaio de tração na flexão.

O copo de prova foi posicionado de forma que a superfície rasada na fabricação não ficasse em contato com o dispositivo de carga e nem com o dispositivo de apoio do equipamento.

Após a montagem do equipamento e o posicionamento adequado do corpo de prova deu-se início a aplicação da força axial até que se chegasse ao limite plástico do corpo de prova e conseqüentemente o seu rompimento.

O experimento foi reproduzido da mesma maneira em quatro corpos de prova de cada traço em cada data de rompimento (14 e 21 dias). Imediatamente foram extraídos os dados necessários para obtenção da resistência a compressão axial.

Como o equipamento disponível na FACEG apresenta as medidas de força apenas em Tf unidade diferente da necessária para o cálculo, foi necessário transformar a força dada para kN (consultar Apêndice B).

Para a obtenção da resistência à compressão foram realizados cálculos utilizando a Equação 2, que devido as adequações da prensa foi modificada para que atendesse os princípios físicos que correspondem a pressão aplicada sobre a área de contato.

A resistência a compressão é encontrada através da relação entre força aplicada em determinada área. Então, para que houvesse um cálculo condizente com os princípios físicos foi substituído na formula a área de contato que a foça foi aplicada.

Dessa forma, a equação apresentada pela NBR 13279 (ABNT, 2016) que define a resistência a tração como a divisão da carga máxima aplicada pela área de contato da prensa (1600mm<sup>2</sup>), foi substituída para uma equação que apresentou um divisor igual a área de contato da força aplicada, mantendo as variantes normativas exatamente iguais as estipuladas na norma.

Visto que a determinação normativa pede que o corpo de prova utilizado para o ensaio de compressão axial seja uma metade do corpo de prova rompido no ensaio de tração na flexão, a área adotada para cálculo da resistência a compressão representou metade da área do corpo de prova rompido, ou seja uma área de 3200mm<sup>2</sup>.

A equação utilizada para obtenção dos dados de resistência à compressão foi dada pela Equação 2, apresentada a seguir:

$$R_c = \frac{F_c}{3200} \quad (2)$$

Onde:

$R_c$  é a resistência a compressão, em Megapascal;

$F_c$  é a carga máxima aplicada, em Newtons;

Observação: 3200 é a área da seção, que corresponde à metade corpo de prova (80mm x 40mm) em milímetros quadrados, que foi aplicada a força.

### **3.4.3 Obtenção dos resultados das resistências finais**

Com a realização dos ensaios apresentados nos itens 3.4.1 e 3.4.2, os dados conseguidos foram processados e calculados com os auxílios das equações evidenciadas.

Foram realizados rompimentos em duas datas distintas, sendo a primeira data 14 dias após a fabricação dos corpos de prova e segunda sete dias após o primeiro rompimento. Em cada uma das datas foram rompidos 4 corpos de prova de cada um dos traços fabricados, totalizando assim 16 rompimentos em cada data, tanto para o ensaio de tração na flexão, quanto para o ensaio de compressão axial.

Os dados recolhidos no primeiro dia de rompimento e no segundo dia de rompimento foram aplicados nas equações determinadas pela NBR 13279 (ABNT, 2016), sendo que a equação para o cálculo da compressão foi adaptada de acordo em virtude dos fatos já mencionados.

As resistências para uma cura de 28 dias após a fabricação foram calculadas, tendo como base as resistências anteriores, através da interpolação linear dos dados.

Análise de dados será efetuada de modo comparativo entre os traços com substituição parcial do agregado miúdo por CBC (T0,5, T1,5 e T3) e o traço de referência (REF). Os aspectos avaliados foram o aumento ou redução da resistência em função dos dias de cura, tanto para a resistência a compressão axial, quanto para a resistência a tração na flexão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como destacado anteriormente, após a definição do traço referência de argamassa ideal, a partir da determinação do índice de consistência, os demais traços foram calculados substituindo parcialmente o agregado miúdo por CBC, mantendo o fator água/cimento e sem a incorporação de aditivos.

Foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão, os dados coletados foram reunidos e comparados a seguir.

### 4.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão nas idades de 14, 21 e 28 dias.

**Tabela 7** - Comparação dos valores médios de resistência à tração na flexão.

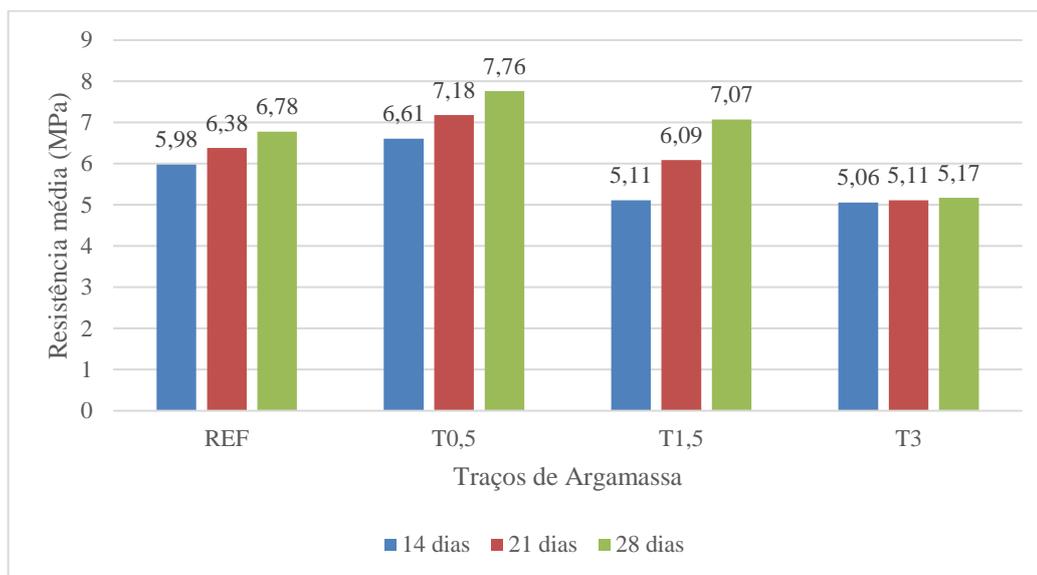
Traços	Resistência Média (MPa)		
	14 dias	21 dias	28 dias
REF	5,976	6,378	6,780
T0,5	6,608	7,183	7,757
T1,5	5,114	6,091	7,068
T3	5,057	5,114	5,172

Fonte: Autores (2021).

Para traços de argamassa onde a única variável é a substituição parcial do agregado miúdo, o valor médio de resistência à tração na flexão com o traço com 0,5% de substituição se destacou, sendo o único que apresentou todas as resistências superiores às do traço referência. De acordo com Castro e Martins (2011), esse episódio ocorre devido ao processo de refinamento dos poros.

Os traços com 1,5% e 3% apresentaram resultados inferiores ao traço referência, uma vez que a quantidade de água utilizada não foi suficiente para hidratar bem as misturas, sendo assim não foi possível que os insumos manifestassem suas propriedades.

Apresentando a menor resistência à tração na flexão em um contexto geral, estatisticamente o traço T3 também foi o que expressou menor aumento de resistência entre a primeira e última idade de rompimento, obtendo um acréscimo de apenas 2,27%.

**Figura 19** - Resistência à tração na flexão.

Fonte: Autores (2021).

A partir do gráfico apresentado na Figura 19, é possível observar que houve uma elevação na resistência à tração na flexão em todos os traços, considerando as idades, porém no traço T3, o aumento foi praticamente insignificante. Já o traço T1,5, apesar de apresentar resultados desfavoráveis com relação ao traço referência, foi o que apresentou maior elevação percentual da resistência.

Pode-se considerar que, para esta ensaio, o teor ideal de substituição do agregado miúdo por CBC é de 0,5%.

#### 4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A interferência da substituição parcial de areia por cinza do bagaço de cana-de-açúcar nos traços de argamassa, também foi analisada com relação a resistência a compressão, de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005).

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão revelaram que, no geral, as argamassas com incorporação de CBC apresentaram resistências inferiores a argamassa do traço de referência.

A Tabela 8 apresenta os valores médios da resistência à compressão dos corpos de prova REF, T0,5, T1,5 e T3, nas idades de 14, 21 e 28 dias de rompimento após a moldagem. É possível perceber diferenças significativas comparando os primeiros com os últimos resultados obtidos.

**Tabela 8** - Comparação dos valores médios de resistência à compressão.

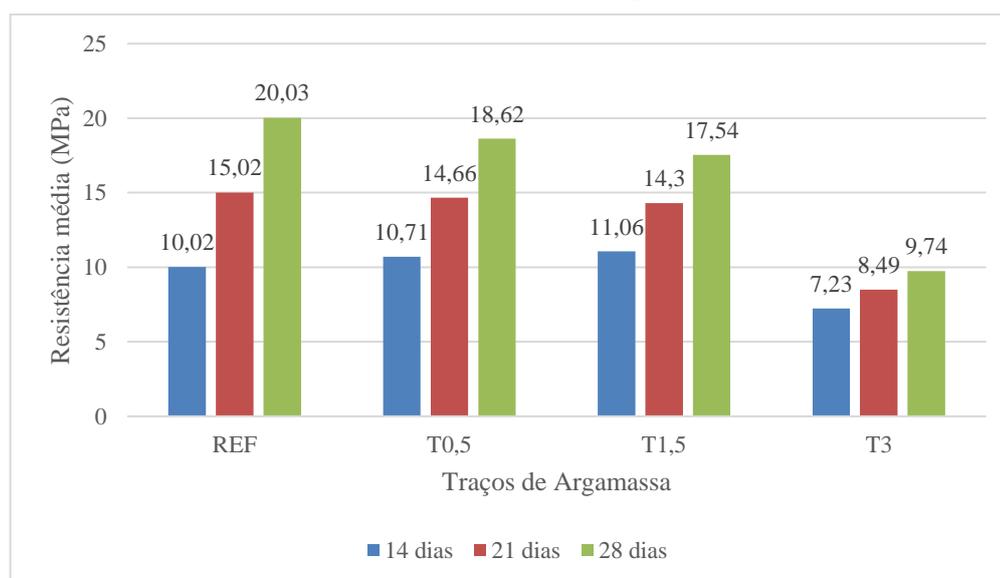
Traços	Resistência Média (MPa)		
	14 dias	21 dias	28 dias
REF	10,021	15,024	20,027
T0,5	10,711	14,664	18,617
T1,5	11,056	14,296	17,537
T3	7,232	8,489	9,745

Fonte: Autores (2021)

De acordo com a Tabela 8, o traço REF apresentou a melhor resistência aos 28 dias. Com essa idade, o traço que mais se aproximou foi o de 0,5% de substituição, atingindo 37,23 MPa, 7,04% inferior a resistência da argamassa sem substituição.

Pode-se observar ainda que, aos 14 dias, os traços T0,5 e T1,5 obtiveram resistências muito próximas entre si e levemente superiores a do traço de referência, porém com o passar dos dias esse cenário não permaneceu. Aos 21 dias a resistência do traço de referência já era superior as demais e assim se manteve.

De acordo com a representação do gráfico da Figura 20, percebe-se que entre os quatro traços analisados, o T3, com 3% de substituição do agregado, teve uma dispersão de resultado muito significativa, tendo sua resistência final 51,31% inferior a resistência do traço REF.

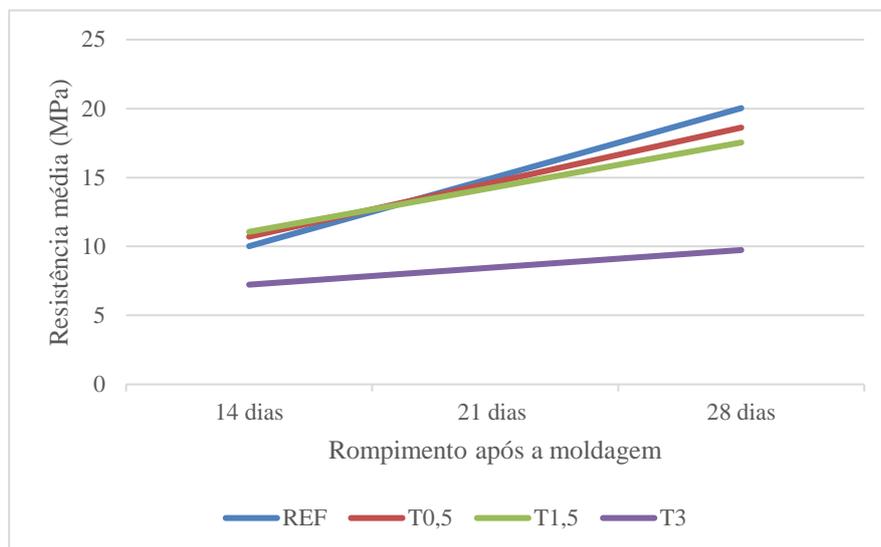
**Figura 20** - Resistência à compressão.

Fonte: Autores (2021).

É possível observar pelo gráfico apresentado na Figura 21 que a resistência final do traço T3, após a argamassa já se encontrar totalmente endurecida, passados 28 dias da

moldagem, não chega nem a atingir a resistência da argamassa do traço de referência no primeiro rompimento, aos 14 dias.

**Figura 21** - Valores médios da resistência à compressão em diferentes dias de rompimento.



Fonte: Autores (2021).

Com os resultados apresentados constata-se que as argamassas confeccionadas com substituição parcial do agregado miúdo por CBC apresentam a trabalhabilidade e as resistências à tração na flexão e à compressão inferiores a argamassa de traço referência.

Entre as argamassas acrescidas com cinza do bagaço da cana-de-açúcar, a que apontou o melhor desempenho foi a do traço T0,5, menor índice de substituição testado nesse trabalho. O acréscimo das porcentagens de cinza apresentou um resultado inversamente proporcional aos melhores valores encontrados nos ensaios.

É importante resaltar que os rompimentos foram realizados no Laboratório de Ensaio da Faculdade Evangélica de Goianésia, que consta com uma prensa manual. Este fato pode ter sido agravante para a discrepâncias dos resultados, levando em consideração que a mesma não estava devidamente calibrada nos momentos de ruptura dos corpos de prova.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nos ensaios realizados durante a elaboração do presente trabalho, sugere-se que a cinza do bagaço da cana-de-açúcar não seja utilizada como substituição parcial do agregado miúdo em traços de argamassa.

No entanto, é válido ressaltar que nos traços ensaiados ocorreu substituição parcial e elementar da areia fina por CBC nas proporções de 0,5%, 1,5% e 3% sem que houvesse a alteração do fator água/cimento e sem a utilização de aditivos.

As argamassas com maior incorporação de cinza apresentaram conseqüentemente maior retenção de água, dessa forma não ficaram suficientemente umidecidas a ponto dos insumos desenvolverem suas propriedades e agregarem suas características com as do cimento.

Durante a realização dos ensaios de índice de consistência e a moldagem dos corpos de prova, foi analisada a trabalhabilidade de cada um dos traços. Levando em consideração que o traço referência foi moldado considerando a consistência ideal, os demais ficaram gradualmente mais secos do que o modelo. Foi possível trabalhar de forma regular com os traços T0,5 e T1,5, já o traço T3 apresentou certa dificuldade durante a moldagem devido seu aspecto esfarelado.

Na avaliação das amostras com relação a resistência à tração na flexão, o traço T0,5, com 0,5% de cinza, apresentou resultados satisfatórios, inclusive superiores ao traço REF, em todas as idades. No entanto, apenas esse provento não possibilita validar a utilização desse traço, uma vez que o mesmo apresentou resultados insuficientes nos ensaios de resistência à compressão.

Diante do exposto, constata-se que a mera substituição de finos de CBC nos traços de argamassa, sem a alteração dos demais fatores envolvidos na definição dos traços não é indicada. Desta maneira, propõe-se que sejam realizados estudos nas seguintes direções:

- Alteração específica do fator água/cimento para cada traço e porcentagem de cinza do bagaço da cana-de-açúcar substituída;
- Incorporação de aditivos plastificantes nos traços com substituição do agregado miúdo por CBC;
- Análise aprofundada sobre a durabilidade e o comportamento a longo prazo das argamassas confeccionados com cinzas do bagaço da cana-de-açúcar.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_**NBR 7200:** Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. ABNT, 1998.

\_\_\_\_\_**NBR 13529:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_**NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_**NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_**NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_**NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_**NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_**NBR 16697:** Cimento Portland - Requisitos. ABNT, 2018.

ALVAREZ, José. **Alvenarias e Argamassas anteriores ao Império Romano.** In: 2º CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, Lisboa, 2007. p. 1-3.

ANDREATTA, G. L. *et al.* **Comparação do Desempenho de Concretos Produzidos com o Cimento CP II-F-40, CP V-ARI e o Cimento Branco Estrutural.** In: 58º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2016, Belo Horizonte, Minas Gerais.

BOTELHO, Larissa C. G. *et al.* **Influência da Incorporação de Resíduos em Argamassas.** In: 73º CONGRESSO ANUAL DA ABM, 2018, São Paulo.

BESSA, Sofia A. L. **Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana.** 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

CARASEK, Helena. **Materiais de construção civil e princípios da ciência da engenharia de materiais.** 2ª ed. São Paulo, IBRACON, 2010, Cap. 28 – Argamassas, pág. 893 a 943. Volume 1.

CARASEK, Helena. **Patologia das Argamassas de Revestimento**. Livro Materiais de Construção Civil: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011.

CASTRO, T. R. de; MARTINS, C. H. Avaliação da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.16, n.3, p.137-151, jul./set. 2016.

COSTA, Ivandro. **Estudo Comparativo Entre as Argamassas de Revestimento Externo: Preparada em Obra, Industrializada Fornecida em Sacos, e Estabilizada Dosada em Central**. Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates. Lajeado, 2016.

COSTA, Lawrence Francisco. **Estudo do Bagaço da Cana de Açúcar como Material para Construção Civil no Estado de Pernambuco – Sistema Ternário com Metacaulim e Cal Hidratada**. 2017. Tese (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro Acadêmico do Agreste - Universidade Federal de Pernambuco.

DACHERY, Mônica. **Avaliação das propriedades da argamassa estabilizada para revestimento externo: aplicação em diferentes substratos, durante diferentes períodos de utilização**. Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates. Lajeado, 2015.

FARIA, P. **Argamassas sustentáveis**. In: II CONFERÊNCIA CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DE EDIFÍCIOS NO ESPAÇO LUSÓFONO. 2., 2012, Lisboa – Portugal. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Liboa: CRSEEL, 2012.

FIALHO, K. E. R. *et al.* **Aspectos econômicos da construção civil no Brasil**. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 15., 2014, Maceió – AL. Maceió: ENTAC, 2014. p. 1105-1114.

FIGUERÊDO, Patrícia. Construção civil representa 6,2% do PIB Brasil. **Fibra**, Distrito Federal, 14, fev., 2017. Disponível em: <<https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil>> Acesso em: 02 jun. 2021.

GROCHOT, Bruna Maciel. **Avaliação dos Métodos de Ensaio Preconizados na NBR 15575-4/2010 Quanto à Estanqueidade à água aplicada em revestimentos de Argamassa.** Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

LACERDA, E. **Aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar como biomassa e sua cinza como agregado miúdo em concreto.** 2013. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

LOMBARDI, Júlia H. C. **Desenvolvimento de Argamassas com Substituição Parcial do Agregado Miúdo por Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar.** Universidade Tecnológica do Paraná. Apucarana, 2019.

MATIAS, Gina Maria Lourenço. **Argamassas de Reabilitação com Resíduos de Cerâmica.** 2014. 341f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra.

MATOS, Paulo Ricardo. **Estudo da Utilização de Argamassa Estabilizada em Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto.** Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. **Tecnologia do concreto.** 2ª ed. São Paulo, 2013.

OLIVEIRA, Bárbara Tannus. **Uso de Resíduos de Construção e Demolição em Argamassas para Revestimento de Alvenaria.** Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro 2015.

PEREIRA, L. L.; DE AZEVEDO, B.F. **O Impacto da Pandemia na Construção Civil.** Boletim do Gerenciamento, v. 20, n. 20, p. 71-80, 2020.

RETONTO, Lucas. Paredes: chapisco, emboço e reboco. **Construindo casas.** Disponível em: <<https://construindocasas.com.br/blog/construcao/chapisco-emboco-reboco/>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

SANTOS, M. L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas na construção civil.** 2008. Tese (Pós-graduação em ciência e engenharia de materiais) – Universidade federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SANTOS, White José. **Desenvolvimento de Metodologia de Dosagem de Argamassas de Revestimento e Assentamento.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa.

SILVA, A.; MACIEL, J. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Revista Igapó, p. 109-114, 2009.

SILVA, C. *et al.* **Avaliação de Propriedades no Estado Fresco e Endurecido de Argamassas de Revestimento Cimentícias Produzidas com Aditivos Químicos Plastificantes.** In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2016, Natal, Rio Grande do Sul.

TOKUDOME, Naguisa. **Influencia da distribuição morfológica das areias nas propriedades reológicas e estado endurecido de argamassa de revestimento aditivada.** 2020. Tese (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.

TUSSET, Cyane. **Avaliação de Desempenho de Revestimento Externo de Argamassa Quanto à Permeabilidade e Resistência à Aderência – Estudo de Caso.** Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

VASCONCELOS, Marcela C. A. **Avaliação da Atividade Pozolânica da Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar Utilizando Métodos Físicos.** 2013. Tese (Mestrado em Engenharia) – Centro de Tecnologia e Geociência da Universidade Federal de Pernambuco.

VIEIRA, Mauro Eugênio Lechi. **Análise de Desempenho do Revestimento Monocamada Antes e Após o Envelhecimento Acelerado Proposto pela Câmara De Intemperismo.** 2019. Tese (Mestrado em Materiais de Construção Civil) – Escola de Engenharia - Universidade Federal de Mins Gerais

ZANELLA, R. M. *et al.*. Caracterização de argamassas produzidas com cinza do bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**. Uberaba, MG, v. 4, n. 1, p. 71-82, jan/jun 2019.

## APÊNDICE A

### TABELAS DE CARGAS À TRAÇÃO NA FLEXÃO

**Tabela 9** – Cargas máximas aplicadas à tração na flexão (Tf).

<b>Traço</b>	<b>Tempo de cura (dias)</b>		
	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
REF	0,260	0,278	0,295
T0,5	0,288	0,313	0,338
T1,5	0,223	0,265	0,308
T3	0,220	0,223	0,225

Fonte: Autores (2021).

**Tabela 2** – Cargas máximas aplicadas à tração na flexão (kN).

<b>Traço</b>	<b>Tempo de cura (dias)</b>		
	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
REF	2,550	2,720	2,890
T0,5	2,820	3,060	3,310
T1,5	2,180	2,600	3,020
T3	2,160	2,180	2,210

Fonte: Autores (2021).

## APÊNDICE B

### TABELAS DE CARGAS À COMPRESSÃO AXIAL

**Tabela 3** – Cargas máximas aplicadas à compressão axial (Tf).

<b>Traço</b>	<b>Tempo de cura (dias)</b>		
	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
REF	3,270	4,903	6,535
T0,5	3,495	4,785	6,075
T1,5	3,608	4,665	5,723
T3	2,360	2,770	3,180

Fonte: Autores (2021).

**Tabela 4** – Cargas máximas aplicadas à compressão axial (kN).

<b>Traço</b>	<b>Tempo de cura (dias)</b>		
	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
REF	32,07	48,08	64,09
T0,5	34,27	46,93	59,58
T1,5	35,38	45,75	56,12
T3	23,14	27,16	31,19

Fonte: Autores (2021).