



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFRAESTRUTURA E  
DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO

MILLENO RAMOS DE SOUZA

**ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA CINZA DA CASCA DO MURUMURU, UM  
RESÍDUO AGROINDUSTRIAL AMAZÔNICO COMO FILLER AO CONCRETO  
ESTRUTURAL**

Tucuruí-Pa

2022

MILLEN RAMOS DE SOUZA

**ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA CINZA DA CASCA DO MURUMURU, UM  
RESÍDUO AGROINDUSTRIAL AMAZÔNICO COMO FILLER AO CONCRETO  
ESTRUTURAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Infraestrutura.

Orientador: Dr. Marcelo Rassy Teixeira  
Co-Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro

Tucuruí-Pa

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)  
autor(a)

---

S719e Souza, Milleno Ramos de.  
ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA CINZA DA CASCA  
DO MURUMURU, UM RESÍDUO AGROINDUSTRIAL  
AMAZÔNICO COMO FILLER AO CONCRETO  
ESTRUTURAL / Milleno Ramos de Souza. — 2022.  
xiv, 66 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Rassy Teixeira  
Coorientação: Prof<sup>a</sup>. Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro  
Cordeiro  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Infraestrutura e Desenvolvimento Energético, Tucuruí, 2022.

1. Concreto. 2. Resíduo. 3. Filler. 4. Cinza. 5.  
Murumuru. I. Título.

CDD 620

---

MILLENO RAMOS DE SOUZA

**ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA CINZA DA CASCA DO MURUMURU, UM  
RESÍDUO AGROINDUSTRIAL AMAZÔNICO COMO *FILLER* AO CONCRETO  
ESTRUTURAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Infraestrutura.

Orientador: Dr. Marcelo Rassy Teixeira  
Co-Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro

Aprovado em 17 de novembro de 2022

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Marcelo Rassy Teixeira/UFPA-PPGINDE – Orientador

---

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro /UFPA-PPGINDE – Co-Orientadora

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara /UFPA-PPGINDE – Examinador Interno

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Laércio Gouvêa Gomes /UFPA-PPGEMAT – Examinador Externo

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha / UNIFAP- PPGCA – Examinador Externo

A Deus, aos meus pais, aos orientadores e as pessoas importantes que contribuíram para a realização e conclusão dessa pesquisa.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, que nos proporciona tudo de bom, saúde e a possibilidade de conquistar esse título de mestrado pela conceituada Universidade Federal do Pará.

Aos meus pais, Célia da Rocha Ramos e Raimundo Alberto Farias Souza, que são a base do incentivo dos estudos e de alcance dos objetivos da vida. A minha irmã Brenda Ramos de Souza que também deu incentivo para terminar o mestrado.

Ao orientador Prof. Dr. Marcelo Rassy Teixeira por ter aceitado o convite para a participação nesta pesquisa e pela orientação da mesma, dispondo de seu conhecimento. Também a co-orientadora Dr<sup>a</sup>. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro por aceitar participar da pesquisa e dispor de sua atenção e conhecimento, ambos de extrema importância para pesquisa.

E ainda, ao professor Gilberto Luis Sousa da Silva responsável pela sugestão de uso do resíduo murumuru na adição ao concreto. A mestrande Fernanda dos Santos Sousa que me apoiou e me motivou para a volta e término do mestrado. A Universidade Federal do Pará com a estrutura e equipe técnica do laboratório da UFPA-CAMTUC, que me ajudaram bastante em boa parte dos ensaios laboratoriais.

Ao laboratório da LAMEF-UFGRS através do Eng<sup>o</sup> Mecânico Igor que realizou o ensaio de DRX, ao laboratório IFPA Campus Belém através dos servidores Rogério e Jean nas análises de MEV.

E por fim a todos aqueles que participaram de forma direta ou indireta no desenvolvimento deste estudo.

"A ciência é sobre saber, a  
engenharia é sobre fazer".  
(Henry Petroski, 1992)

## RESUMO

O uso de resíduos agroindustriais na substituição parcial do cimento nos concretos tem sido alvo de pesquisas que analisam as possíveis melhorias nas propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade do concreto, além propiciar o uso de adições minerais de origem natural ou substituições parciais em relação aos materiais constituintes do compósito, resíduos esses que teriam descartes inadequados, como depósitos a céu aberto e queima do mesmo. Com esse cenário, o estudo objetiva pesquisar o uso da cinza da casca do murumuru (CCM), um resíduo agroindustrial gerado especificamente na região amazônica como substituição parcial do cimento no concreto estrutural e avaliar as características físicas, químicas e mineralógicas da cinza para atuação como *filler* no concreto, além de suas propriedades no estado fresco e endurecido no concreto. Com esse intuito, o CCM passou pelos ensaios de caracterização físico-mecânicas como o de massa específica, atividade pozolânica com cimento Portland, atividade pozolânica com a cal e ensaio de BET, realizando-se também as análises mineralógicas e químicas da cinza. Para a concretagem considerou um traço 1:1,6:2,4 (em massa) com relação água/cimento de 0,43, com teores de substituição de 0%, 6%, 9% e 13% da massa do cimento pelo CCM. Posterior a dosagem, ocorreu-se os ensaios nos concretos no seu estado fresco e endurecidos: *slump test*, massa específica, resistência à compressão (28 dias), resistência a tração na compressão diametral, absorção de água por capilaridades, massa específica no estado endurecido, módulo de elasticidade e avaliação morfológica, através do Microscópio Eletrônico de Varredura. Verificando-se primeiramente as propriedades do concreto no estado fresco, avaliando-se que a inserção do resíduo diminuiu a consistência e diminui a massa específica, exceto o concreto para o teor de 6% que houve um aumento de 10% da massa específica em relação ao concreto referência. Referente a propriedade no estado endurecido, a substituição pelo CCM apresentou um aumento especificamente na resistência a compressão e tração no teor de 6% aos 28 dias em torno 1% e 9% respectivamente, ocorrendo um decréscimo nos teores de 9% e 13%. Os resultados mostraram que existe uma viabilidade técnica com substituição parcial de 6% de CCM no cimento, utilizando-se aditivo plastificante para melhorar a trabalhabilidade.

**Palavras-chave:** resíduo; concreto; filler; cinza; murumuru.



## ABSTRACT

The use of agro-industrial waste in the partial replacement of cement in concrete has been the subject of research that analyzes the possible improvements in mechanical and physical properties and durability of the concrete, in addition to providing the use of mineral additions of natural origin or partial replacement in relation to the constituent materials of the composite, waste that would have inappropriate disposal, such as open-air landfills and burning. With this scenario, the study aims to research the use of murumuru husk ash (MHA), an agro-industrial waste generated specifically in the Amazon region as partial replacement of cement in structural concrete and evaluate the physical, chemical and mineralogical characteristics of the ash to act as filler in concrete, and its properties in the fresh and hardened state in concrete. With this purpose, the MHA underwent the physical-mechanical characterization tests such as specific mass, pozzolanic activity with Portland cement, pozzolanic activity with lime and BET test, also performing the mineralogical and chemical analysis of the ash. For concreting, a mix 1:1.6:2.4 (by mass) with water/cement ratio of 0.43 was considered, with replacement levels of 0%, 6%, 9% and 13% of the cement mass by MHA. After the dosage, the tests were performed on the concrete in its fresh and hardened state: slump test, specific mass, compressive strength (28 days), tensile strength in diametrical compression, water absorption by capillarities, specific mass in the hardened state, modulus of elasticity and morphological evaluation, through the Scanning Electron Microscope (SEM). Checking first the properties of concrete in the fresh state, it is evaluated that the insertion of the waste decreased the consistency and decreases the specific mass, except the concrete for the content of 6% that there was a 10% increase in the specific mass in relation to the concrete reference. Regarding the properties in the hardened state, the replacement by CCM showed an increase specifically in compressive and tensile strength in the 6% content at 28 days around 1% and 9% respectively, occurring a decrease in the contents of 9% and 13%. The results showed that there is a technical feasibility with partial replacement of 6% of MHA in cement, using plasticizer additive to improve workability.

**Keywords:** waste; concrete; filler; ash; murumuru.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Esquema de produção do cimento e consequente emissão de CO <sup>2</sup> .....	18
Figura 2.2 - Resíduos da casca de arroz.....	21
Figura 2.3 - Cinza da casca de arroz .....	22
Figura 2.4 – Cinza do bagaço da cana-de-açúcar vista pelo microscópio eletrônico de varredura .....	23
Figura 2.5 - Resíduos de caroço de açaí com destinação incorreta. ....	24
Figura 2.6 - Resíduo da castanha de caju.....	25
Figura 2.7 - Resíduo da casca do eucalipto. ....	26
Figura 2.8 - Serragem de madeira .....	28
Figura 2.9 - Espinhos característicos da palmeira do murumuru .....	30
Figura 2.10 - Palmeira e caroço do murumuru .....	31
Figura 3.1 – Infográfico do pre-processamento da casca do caroço do murumuru ..	36
Figura 3.2 - Equipamento para ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS). ....	38
Figura 4.1 - MEV do resíduo ampliado em 1000X, 2000X e 5000X.....	45
Figura 4.2 - MEV da cinza da casca do murumuru em dois pontos distintos (A) e (B) por EDS .....	46
Figura 4.3 – Espectros por EDS da análise química dos pontos A e B da figura 4.2	46
Figura 4.4 - Difração de raio X do CCM .....	48
Figura 4.5 – Verificação se ocorre exsudação e segregação no ensaio de <i>slump test</i> .....	50
Figura 4.6 - Resultado do ensaio da resistência a compressão aos 28 dias .....	51
Figura 4.7 - Resultado do ensaio da resistência à tração por compressão a diametral .....	52
Figura 4.8 - Resultado do ensaio de módulo de elasticidade estático .....	53
Figura 4.9 - Absorção de água por sucção capilar (g/cm <sup>2</sup> ) .....	54
Figura 4.10 - MEV do CP-CCM-0 com 5k X. ....	54
Figura 4.11 - MEV do CP-CCM-6 com 5k X.....	55
Figura 4.12 - MEV do CP-CCM-6 em outra região com 5k X .....	55
Figura 4.13 - MEV do CP-CCM-9 com 5k X.....	56
Figura 4.14 - MEV do CP-CCM-13 com 5k X.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Fornecedores de Murumuru no Pará, 2008 .....	30
Tabela 2.2 - Sinopse do gerenciamento da palmeiras América do Sul entre eles o murumuru .....	31
Tabela 2.3 - Produção do murumuru.....	32
Tabela 3.1 - Propriedades físicas – CP II-F-32.....	33
Tabela 3.2 - Composição química – CP II-F-32.....	33
Tabela 3.3 - Característica física da areia lavada natural e normal IPT.....	34
Tabela 3.4 - Características física do agregado graúdo brita .....	34
Tabela 3.5 - Ensaio físicos-mecânicos adotados.....	37
Tabela 3.6 - Ensaio morfológicos, mineralógicos e químicos adotados .....	39
Tabela 3.7 - Nomenclatura do traço e composição traço do concreto com CCM em massa .....	40
Tabela 3.8 - Ensaio do concreto no estado fresco.....	40
Tabela 3.9 - Ensaio do concreto no estado endurecido.....	41
Tabela 4.1 - Resultado dos ensaios físico-mecânicas.....	43
Tabela 4.2 - Resultado da análise química semi-quantitativa por EDS dos pontos A e B da figura 4.3.....	47
Tabela 4.3 - Resultados de Fluorescência de raio-X, teor de carbono e perda ao fogo .....	47
Tabela 4.4 – Resultados dos ensaios para o concreto no estado fresco .....	49
Tabela 4.5 - Resultados dos ensaios para o concreto no estado endurecido.....	50

## LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
BET - Brunauer, Emmett, Teller  
CAMTUC - Campus Universitário de Tucuruí  
CaSi – Silicato de Cálcio  
CCM - Cinza da casca do murumuru  
COFRUTA – Cooperativa de Fruticultores de Abaetetuba  
CH - Hidróxido de cálcio hidratado  
CP-CCM-0 – Corpo de prova com 0% de CCM ou Referência  
CP-CCM-6 – Corpo de prova com CCM a 6%  
CP-CCM-9 – Corpo de prova com CCM a 9%  
CP-CCM-13 – Corpo de prova com CCM a 13%  
CP's – Corpos de prova  
COSANPA – Companhia de Saneamento do Pará  
C-S-H - Silicato de Cálcio Hidratado  
DRX – Difractometria de raio X  
EB - especificações brasileiras  
ETA – Estação de Tratamento de Água  
FRX – Fluorescência de raio X  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
LAMEF – Laboratório de Metalurgia Física  
Mpa – Mega Pascal  
MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura  
PPGINDE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético  
RCC - Resíduo da construção civil  
SA – Sílica ativa  
SiO<sub>2</sub> - Sílica  
UFPA - Universidade Federal do Pará  
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
NBR - Normas Brasileira  
NM – Níveis de normalização

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	Objetivo Geral.....	16
1.2	Objetivos Específicos .....	16
1.3	Justificativa .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1	Materiais adicionados como substituto do cimento para a produção do concreto 18	
2.2	Efeito dos resíduos agrícolas no desempenho do concreto .....	20
2.2.1	Resíduos agroindustriais nas propriedades do concreto.....	20
2.2.1.1	Resíduos de casca de arroz.....	20
2.2.1.2	Resíduos da cinza do bagaço da cana de açúcar .....	22
2.2.1.3	Resíduos de caroço de açaí .....	23
2.2.1.4	Resíduo da casca da castanha de caju .....	25
2.2.1.5	Resíduo da casca do eucalipto.....	26
2.2.1.6	Serragem de madeira.....	27
2.3	Murumuru .....	29
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>33</b>
3.1	Materiais.....	33
3.1.1	Cimento Portland.....	33
3.1.2	Agregado Miúdo .....	33
3.1.3	Agregado Graúdo .....	34
3.1.4	Cinza da casca do murumuru .....	35
3.1.5	Aditivo Plastificante.....	35
3.1.6	Água.....	35
3.2	Métodos.....	35
3.2.1	Beneficiamento do resíduo .....	35
3.2.2	Caracterização da cinza da casca do murumuru .....	36

3.2.2.1	Caracterização físico-mecânica.....	36
3.2.2.2	Caracterização morfológicas, mineralógicas e químicas .....	37
3.2.3	Dosagem e Produção do Concreto.....	39
3.2.4	Avaliação do efeito da CCM nas propriedades do concreto no estado fresco	40
3.2.5	Avaliação do efeito da CCM nas propriedades do concreto no estado endurecido .....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
4.1	Caracterização do resíduo.....	43
4.1.1	Caracterização físico-mecânica .....	43
4.1.2	Análise Morfológica (MEV-EDS) do CCM .....	44
4.1.3	Análise por Fluorescência de Raio X.....	47
4.1.4	Difração de raios-X.....	48
4.2	Efeito do CCM nas propriedades do concreto no estado fresco .....	49
4.3	Efeito da CCM nas propriedades do concreto no estado endurecido.....	50
4.3.1	Microestrutura dos Concretos .....	54
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>57</b>
5.1	Sugestões para pesquisas futuras .....	59
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a diminuição dos recursos naturais e a disposição final inadequada de resíduos, têm preocupado o meio técnico científico, mobilizando-os em busca de soluções para tornar as atividades sustentáveis.

Devido a tais razões, o aumento dos interesses pelos problemas ambientais causados pela produção agregada, destruição e área de armazenamento insuficiente para esses resíduos, têm levado muitos países a tomar medidas para a reutilização e reciclagem de resíduos, e muitos estudos têm sido conduzidos sobre estas questões (KULEKCI, YILMAZ E CULLU, 2021).

Essa crescente preocupação global com o consumo de energia e materiais para o setor da construção civil, serviu para que nos últimos anos alavancassem o interesse pelo uso material de base orgânica. Aliado a isso os materiais de construção de base orgânica podem fornecer diversas vantagens, como isolamento térmico melhorado, propriedades mecânicas notáveis em concretos, leveza em estruturas tradicionais da construção civil e além de ser aliado do meio ambiente, no que diz respeito a reutilização de resíduos (ZAREEI et al., 2017).

Em relação a resíduos agroindustriais, as fibras (por exemplo, fibra de banana, cevada, bagaço de cana de açúcar, coco, algodão, tâmara, durião, linho, palma, ananás, arroz, sisal, girassol e bambu) como materiais compósitos na indústria da construção civil tem sido um tema de interesse (NIYASOM E TANGBORIBOON, 2021).

Uma das maneiras para minimizar a quantidade de recurso natural que é retirada da natureza para ser utilizada como matéria-prima, é a utilização de resíduos de origem vegetais, que é tratado como rejeito por alguns setores da indústria.

Entre os setores produtivos, o setor da construção civil é um dos que mais utilizam os recursos naturais, diminuindo-se a cada ano recursos preciosos, além de danos ambientais causados pela extração. Inclusive o setor da construção civil é responsável pela geração de muitos resíduos sólidos, os chamados resíduos da construção civil (RCC) com inadequada disposição final (KHAN, KHUSHNOOD E BALOCH (2020).

Há também além da geração de resíduos agroindustriais da agricultura tradicional (arroz, cana-de-açúcar, etc.), os provenientes de processo de extrativismo vegetal dentre eles os provenientes da produção de açaí, das castanhas em geral, o

murumuru, entre outros. Muitos desses resíduos têm como forma de destinação final a queima, que acaba causando efeito estufa na atmosfera.

O setor agrícola, por exemplo, oferece uma vasta opção de resíduos gerados pela sua atividade, que podem ser estudadas para aplicação no ramo da construção civil, entre eles o resíduo proposto neste trabalho, a cinza da casca do murumuru (CCM), para que possa servir como material *filler* no concreto.

A incorporação desses diferentes tipos de resíduos em argamassa e concreto com diferentes funções tem sido estudada em várias pesquisas recentes (MEDEIROS *et al.*, 2021). A exemplo dos trabalhos de Ishola *et al.* (2019), que trata de um panorama de resíduos agrícolas como aditivo para melhoramento geotécnico e Karim *et al.* (2014) estudam resíduos como escórias, cinza de óleo de palma e cinza da casca de arroz como um aglomerante alternativo ao cimento.

Esperando-se que esse resíduo proposto possa vir a atuar no concreto como material *filler*, melhorando as propriedades no estado fresco e endurecido, além de analisadas as características físicas, químicas e mineralógicas do CCM que possam a vim contribuir positivamente misturado ao concreto.

## **1.1 Objetivo Geral**

Analisar o efeito da cinza da casca do murumuru no comportamento do concreto.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Identificar e analisar as características mineralógicas, químicas e físicas importantes do CCM para atuar como *filler* no concreto;
- Avaliar os efeitos da incorporação do resíduo nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

## **1.3 Justificativa**

A construção civil é responsável pelo consumo de 40% a 75% da matéria-prima produzida no planeta principalmente o calcário, argila, gipsita, rochas para agregados, areias, madeira, entre outros, sendo apontada também como o setor mais poluente



(OLIVEIRA et al. 2020). O tema sustentabilidade é cada vez mais importante no mundo, buscando-se meios de equilibrar o desenvolvimento econômico em paralelo com a preservação ambiental e uso racional dos recursos naturais.

Ocorrendo-se cada vez mais estudos com o objetivo do aproveitamento dos resíduos agrícolas no meio científico que frequentemente têm como destinação final a queima ou depósito em aterros sanitários ou controlados, saturando-se rapidamente a capacidade dos aterros (APRIANTI, et. al., 2015).

A aplicação desse resíduo agroindustrial na construção civil proporcionará investigar uma nova solução tecnológica para o concreto confeccionado com esse resíduo principalmente em relação ao estudo como *filler*, identificando-se também na análise química e mineralógica elementos importantes na reação com o concreto, como a Sílica, Cálcio, Alumínio entre outros que possam a vir formar moléculas de  $C_3S$  (Silicato Tricálcio),  $C_2S$  (Silicato Dicálcio) e  $C_3A$  (Aluminato Tricálcio), que influenciam na resistência do concreto.

Portanto, esse estudo é importante para contribuição além do ponto de vista ambiental, também na avaliação das características físico-químicas positivas que o resíduo propiciará ao concreto como substituição parcial de material tradicional pelo resíduo da casca do murumuru.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

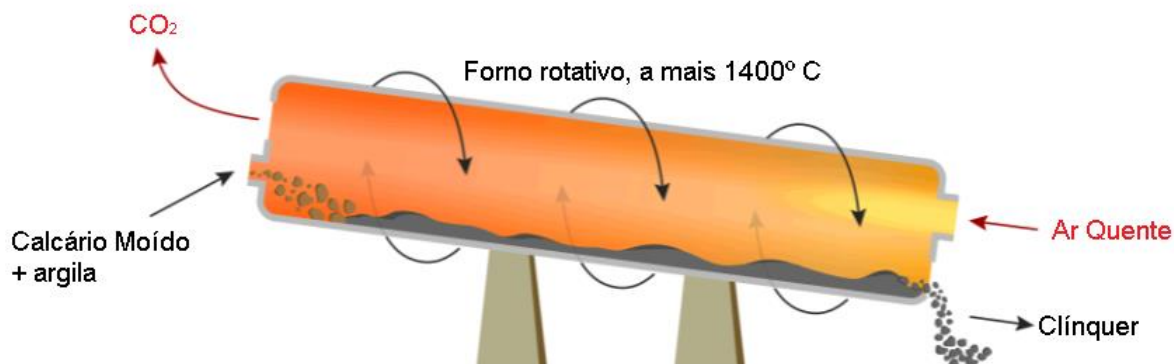
Neste capítulo são apresentados os temas relevantes do levantamento bibliográfico realizado. Inicialmente são alinhados os materiais tradicionalmente utilizados como substituto parcial do cimento em sua fabricação e posteriormente os conceitos dos resíduos agroindustriais adicionados no concreto e seus efeitos no mesmo. Abordando-se alguns ensaios utilizados em outros materiais e resíduos agroindustriais, que também serão adotados na cinza da casca do murumuru (CCM).

### 2.1 Materiais adicionados como substituto do cimento para a produção do concreto

A indústria do cimento move-se para amenizar as emissões de CO<sub>2</sub> dos materiais de cimento. A estratégia mais comum para reduzir o impacto ambiental do concreto é a redução do teor de clínquer no cimento, incorporando o *filler* durante a moagem do clínquer Portland, o que resulta numa diminuição do consumo de energia e numa maior conservação dos recursos naturais.

Além disso, outro fator importante para que se busque uma ação rápida, é que se prever que a produção de cimento aumente 25% até 2030, aumentando-se a demanda por cimento, uma vez que estudos mostram que as áreas construídas do mundo vão duplicar nos próximos 40 anos (BBC, 2018). Por todas estas razões, estão sendo tomadas medidas e estratégias para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> na fabricação do cimento (figura 2.1), melhorando a eficiência de uso de materiais cimentícios (DAMTOFT et al., 2008).

Figura 2.1- Esquema de produção do cimento e consequente emissão de CO<sub>2</sub>



Fonte: BBC (2018).

Vários materiais cimentícios suplementares, sejam pozolanas naturais ou aqueles derivados de materiais residuais de subprodutos industriais, tais como fumos de sílica, cinzas volantes e escória de alto-forno, têm sido usadas há muitos anos para desenvolver cimentos compostos não só para reduzir os problemas ambientais, mas também para melhorar a durabilidade do concreto.

A exemplo disso escória de alto-forno, que é utilizada na indústria do cimento há 100 anos, é um material de alta demanda e de produção limitada, respondendo por 13% da demanda para a produção de cimento no mundo; e há uma tendência para aumentar a sua procura e a sua produção atual ficará aquém das expectativas, uma vez que em 2008 tinha disponível  $180 \times 10^6$  tonelada/ano e foram necessárias cerca  $290 \times 10^6$  tonelada/ano em 2020. Em geral, a escória é um material que deve ser considerado escasso e deve ser explorado de uma forma diferente (PACHECO-TORGAL, JALALI E JOHN, 2013).

Outro material é o fumo de sílica, que no mundo a produção foi estimada em  $900 \times 10^3$  ton/ano enquanto nos EUA a produção foi de 100 a  $120 \times 10^3$  ton/ano; isso representa 0,01% da produção total de cimento e tornando o fumo de sílica um material raro e utilizado em alguns países em concretos especiais (PACHECO-TORGAL, JALALI E JOHN, 2013).

Há também a cinza volante, que tem substituído em média a proporção de 7% do cimento, este material provém do carvão, que continua a ser uma das mais importantes fontes de energia no mundo. No entanto, avaliou-se que a disponibilidade em 2020 do carvão está em torno de  $205 \times 10^6$  ton/ano; considerando que os EUA a partir de 2009 teve  $57,2 \times 10^6$  toneladas e a Índia  $100 \times 10^6$  toneladas; tendo em conta que eles são os dois maiores países produtores de carvão; e a atual produção de cinza volante acabará por deixar de cobrir a demanda (PACHECO-TORGAL, JALALI E JOHN, 2013).

Todos os materiais de adição acima são parte da fabricação do cimento, que pela sua fabricação gera uma poluição exagerada a nível global. Além disso, considerando-se a relativa escassez de materiais cimentícios complementares tradicionais, o desenvolvimento de novos materiais suplementares torna-se uma prioridade, bem como melhorias nas propriedades de resistência a compressão e de seus efeitos químicos e físicos no concreto. (DAMTOFT et al., 2008).

É por isso que é de vital importância reduzir as porcentagens de emissões, utilizando outras fontes de material calcário. Um dos motivos para isto é que este

material está a ser super explorado, levando-o a escassez, e a outra por calcinação do calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) em  $\text{CO}_2 + \text{CaO}$  no processo de clínquerização do cimento Portland que libera no meio ambiente (ZAREEI et al., 2017).

Para garantir que o concreto à base de cimento seja um material competitivo no mercado, então é necessário no futuro próximo, que a sustentabilidade das construções se utilize de novos materiais que venham a compor o cimento (VARHEN et al., 2016).

## **2.2 Efeito dos resíduos agrícolas no desempenho do concreto**

O concreto pode apresentar variados tipos de desempenho, de acordo com o que é adicionado em sua mistura, podendo proporcionar propriedades benéficas ao seu desempenho, quanto também características não desejáveis. Para isso são avaliadas diversas misturas no concreto com resíduos agroindustriais, como casca de arroz, bagaço da cana-de-açúcar, serragem de madeira, fibra da bananeira, entre outros resíduos, aplicados como cinzas ou fibras.

### **2.2.1 Resíduos agroindustriais nas propriedades do concreto**

#### **2.2.1.1 Resíduos de casca de arroz**

O resíduo de casca de arroz vem sendo estudado por diversas instituições e tem dado resultados interessantes na sua mistura com o concreto, abaixo na figura 2.2 temos a imagem do resíduo.

Dentre os resíduos provenientes da combustão de biomassa, a cinza de casca de arroz apresenta uma grande quantidade de pesquisas relacionadas à resistência mecânica e durabilidades do concreto (VASKE, 2012).

**Figura 2.2 - Resíduos da casca de arroz**



Fonte: Zerbino, Isaia e Giaccio (2011)

No estudo de Qureshi, Ali e Ali (2020), mostrou que o resíduo de casca de arroz junto a sílica ativa melhora nas propriedades reológicas do concreto reduzindo a demanda por aditivos e também reduz a necessidade de água para atingir a trabalhabilidade desejada, relatando-se que o resíduo de casca de arroz mostrou um efeito de *filler* maior do que se comparado a cinza volante, o que significa que o resíduo de casca de arroz pode melhorar a densidade de empacotamento do aglutinamento melhor do que a cinza volante.

No estado endurecido, de acordo com Qureshi, Ali e Ali (2020) a adição de 15% de resíduo de casca de arroz melhora a resistência à compressão do concreto reciclado em 7– 13%, em que sua melhor performance de resíduo de casca de arroz em comparação com a cinza volante e a escória de alto-forno granulada moída pode ser atribuído a maior finura de suas partículas que aumenta a reatividade das partículas de sílica do resíduo de casca de arroz com hidróxido de cálcio “portlandita” (HCa), nas melhorias no módulo de elasticidade em 9-15% é causado por adição 10% de sílica ativa (SA) e 15% de resíduo de casca de arroz , isso devido à sua qualidade no tamanho das partículas, tanto da SA quanto resíduo de casca de arroz podem contribuir significativamente para o fortalecimento da microestrutura do concreto reciclado, na absorção de água a resistência a permeabilidade com o resíduo de casca de arroz é adquirida junto a outras adições como sílica ativa e cinza volante e que pode ser atribuída à formação de C-S-H, diminuindo o tamanho e a conectividade dos poros. Além da reação pozolânica, o efeito *filler* do concreto reciclado também pode reduzir as dimensões dos poros, interrompendo as ligações entre os poros.

Chindaprasit e Rukzon (2008) atribuem a alta reatividade do resíduo de casca de arroz à sua alta área de superfície específica em comparação com a do cinza volante. Eles também relataram que o resíduo de casca de arroz mostrou um melhor efeito *filler* do que a cinza volante, o que significa que resíduo de casca de arroz pode melhorar a densidade de embalagem do aglutinante melhor do que a cinza volante.

Já Tashima et al. (2004), verificou em seu estudo que o maior ganho de resistência ocorre com a substituição de 5% da massa do cimento pela cinza da casca do arroz, mas sendo que os outros percentuais de substituição apresentaram valores de resistência maiores que o traço controle.

**Figura 2.3 - Cinza da casca de arroz**



Fonte: Ecivilnet (2012)

#### 2.2.1.2 Resíduos da cinza do bagaço da cana de açúcar

Na pesquisa Arif, Clark E Lake (2017), mostram que a mistura de 20% de bagaço de cana-de-açúcar parcialmente seco no concreto e com a mistura não homogenia, aumenta a demanda de água quando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar substitui o cimento, que é causada muito provavelmente devido à alta área de superfície, natureza porosa das partículas finas e o teor de carbono não queimado, além disso, a angularidade e formas irregulares da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (Figura 2.4) aumenta a demanda de água, fornecendo pontos de captura de partículas que requerem água adicional para permitir que eles desbloqueiem hidráulicamente para permitir a trabalhabilidade.

Figura 2.4 – Cinza do bagaço da cana-de-açúcar vista pelo microscópio eletrônico de varredura



Fonte: Arif, Clark e Lake (2017)

Ainda no estudo de Arif, Clark e Lake (2017) as cinzas do bagaço têm efeito de *filler* dominante no concreto a partir de uma atividade pozolânica muito reduzida por causa das mudanças de fase polimórfica do quartzo para a-quartzo, em vez da frequentemente relatada a-cristobalita para sílica derivada do bagaço. A cinza do bagaço da cana-de-açúcar usada como preenchimento em concretos proporcionou melhorias substanciais na resistência à compressão também até 20%.

Já Berenguer et al. (2020) também mostra que a adição da cinza de cana de açúcar melhorou as propriedades do concreto, melhorando as propriedades mecânicas, diminuição dos poros e assim por diante. E em vista da determinação pozolânica os resultados da análise, em bagaço de cana -de -açúcar foi observado que, em alguns ensaios, a cinza foi considerada como um material pozolânico, mas em outras análises foi considerado com baixa reatividade, não atingindo o mínimo esperado.

### 2.2.1.3 Resíduos de caroço de açaí

Já existem alguns estudos com o aproveitamento do caroço de açaí em diversas áreas, como no agrônomo servindo como adubo e também no setor da construção civil, um resíduo que muitas vezes tem uma destinação final inadequada, como mostra a figura 2.5.

**Figura 2.5 - Resíduos de caroço de açaí com destinação incorreta.**



Fonte: Diário Online (2018)

Segundo Oliveira et al. (2020), verificou-se que a melhor proporção de cinzas de caroço de açaí a ser adicionada à mistura do concreto é a de 5%, já que apresenta uma maior trabalhabilidade, além de apresentar 0 mm de espessura carbonatada, resultando em um concreto mais durável e menos propenso à carbonatação.

O tempo de moagem afeta nas características físicas do material de modo a alterar a sua finura e influenciar no empacotamento dos grãos. As características apresentadas da cinza residual são massa específica de 2.400 kg/m<sup>3</sup> - 2.700 kg/m<sup>3</sup> e massa unitária de 600 kg/m<sup>3</sup> a 1.000 kg/m<sup>3</sup>. O ensaio de permeabilidade ao ar resultou em valores que ficam no intervalo de 2.000 cm<sup>2</sup>/g a 5.000 cm<sup>2</sup>/g. Assim como na pesquisa de Calheiro et al. (2016), observou-se que o tratamento de moagem afetou nos resultados de massa específica, de maneira que quanto maior o tempo, maior a massa das amostras. (CORDEIRO et al., 2019, v. 19, p. 45).

O beneficiamento do resíduo do caroço do açaí com a superfície específica *Blaine* e a massa unitária adequada e um bom tempo de moagem, proporciona uma ação física que otimiza o concreto produzido com essa adição. O formato dos grãos e/ou variação no tamanho das partículas normalmente proporcionam maior compacidade em que as partículas mais finas de resíduos tendem a preencher os vazios entre as frações maiores, e assim otimizar o empacotamento dos grãos. (CORDEIRO et al., 2019).

O resíduo do caroço de açaí aplicado parcialmente no concreto na propriedade do concreto no estado endurecido, apresenta aumento na resistência à compressão pela incorporação de adição do mesmo, para alguns corpos-de-prova, porém esse incremento não foi suficiente para superar o patamar de resistência dos concretos de referência em idades avançadas. A provável justificativa para tal efeito seria a densificação da microestrutura pela presença do material fino. Porém, foi constatado aumento na capacidade de absorção de água, situação que pode estar relacionada

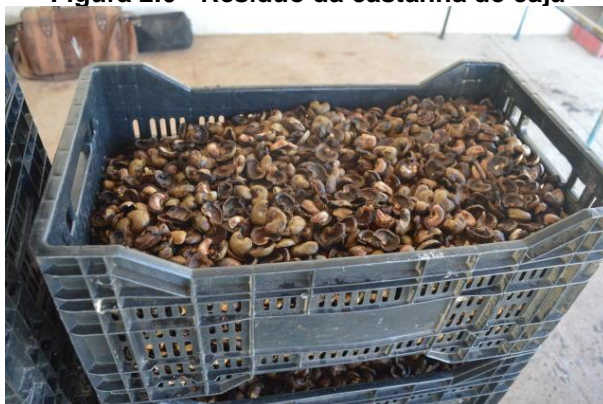


às características morfológicas da cinza residual que apresenta uma estrutura visualmente porosa, rugosa, e com partículas irregulares (CORDEIRO et al., 2019).

#### 2.2.1.4 Resíduo da casca da castanha de caju

Dentre as cinzas ainda não estudadas objetivando a utilização na construção civil, a casca da castanha de caju é a de maior produção no país e a única que não necessita de calcinação depois de finalizado o processo industrial (I PRO-AFRICA CONFERENCE, NON-CONVENTIONAL BUILDING MATERIALS BASED ON AGROINDUSTRIAL WASTES, 2010). Na figura 2.6, temos a ilustração das cascas das castanhas de caju como resíduo.

**Figura 2.6 - Resíduo da castanha de caju**



Fonte: Embrapa (2017)

Na utilização do resíduo de castanha de caju no concreto o *slump* diminui quanto mais se adiciona esse resíduo, atribuído esse efeito as partículas finas, partículas menores e peso específico, e alta área de superfície específica do resíduo da casca da castanha de caju comparado com o cimento Portland tradicional, estas propriedades aumentam a procura de água devido a um maior volume e resultam em concreto altamente coeso e impermeável, reduzindo o slump do concreto fresco. (OYEBISI et al., 2020).

Ainda Oyebisi et al., (2020) também confirmou que a finura e baixa trabalhabilidade da cinza da casca de caju, devido ao baixo teor de água contribuíram para resistência do concreto. A diminuição da resistência em 20 % de substituição da cinza pode ser atribuída a um excesso desse resíduo na dosagem.

### 2.2.1.5 Resíduo da casca do eucalipto

O concreto é um material com alta resistência à compressão, mas predisposto a fissuras por contração, rápida propagação de trincas e falhas frágeis. A incorporação de fibras é uma solução aceitável para reduzir essas limitações. No entanto, o alto custo e consumo de energia relacionados às fibras artificiais têm colocado as fibras naturais como uma alternativa sustentável atraente, especialmente considerando que as diferentes fibras naturais são resíduos industriais como a fibra da casca do Eucalipto, como na figura 2.7. (MANSILLA et al., 2020).

**Figura 2.7 - Resíduo da casca do eucalipto.**



Fonte: Siebert (2017)

Na análise no estado fresco do concreto no estudo de Mansilla et al. (2020), analisou a mistura das casca do eucalipto saturada e seca, em que na mistura com casca saturada mostra um ligeiro aumento em seu *slump* de 8 cm, comparado ao concreto referência de 7 cm, no entanto, esse valor está dentro da faixa de variação permitida e, portanto, não está necessariamente associado à fibra adicionada, em contrapartida, a incorporação de fibra seca não apresentou variação em relação à amostra de referência permanecendo em 7 cm, ou seja com o slump dentro dos limites aceitáveis para um concreto.

Conforme Mansilla et al. (2020), em uma avaliação preliminar da durabilidade das fibras na matriz cimentícia é feita através do processo de envelhecimento acelerado, no qual apresentou resultados da resistência à compressão das amostras após esse processo, com apenas pequenas variações são produzidas em todos os casos, podendo-se concluir que o processo de envelhecimento não afeta a resistência à compressão e em todas as idades de cura em seu estudo, a maior resistência é obtida pela amostra do concreto de referência, no entanto, a amostra com casca seca

com 0,5% no concreto apresenta valores ligeiramente inferiores, mas de fato, após 28 dias sua resistência difere apenas de 0,98 MPa da amostra referência, sendo 0,82 MPa o erro padrão. Portanto, a diferença está muito próxima do erro. A amostra de casca saturada com 0,5% atingiu uma diferença de 28 dias de 1,8 MPa em relação à força da amostra de controle, com isso mesmo não superando a comparação com o concreto referência, a diferença é muito pequena utilizando pouco percentual de fibra, concluindo-se em um resultado promissor.

A casca de eucalipto pode ser utilizado também na confecções de blocos de concretos sólidos para melhorar o comportamento térmico, além de se obter um bloco de concreto com baixo específico e propriedades mecânicas aceitáveis (2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENGINEERING TECHNIQUES, 2019).

#### 2.2.1.6 Serragem de madeira

A serragem de madeira como na figura 2.8, de acordo com Siddique et al. (2020) é um material com potencial para ser usado na produção de concreto, a quantidade ideal de pó de serra tratado com água ou silicato de sódio para ser usado em concreto é de 5% de acordo com a serragem utilizada na pesquisa. O concreto modificado com 5% de serragem tratada pode ser utilizado na construção de estruturas portantes de carga, paredes divisórias etc. A menor densidade do concreto modificado com serragem ajuda na redução do peso da estrutura, conseqüentemente reduzindo o tamanho da fundação.

A trabalhabilidade do concreto bem misturado que determina o quão fácil e homogênea ele pode ser misturado, situado, solidificado e embalado, mostrando-se com a utilização da serragem e a mistura de fibra de madeira no concreto há pouca variação do *slump* com distintas porcentagem de substituição. (ALHARISHAWI; ABD; ABASS, 2020).

**Figura 2.8 - Serragem de madeira**



Fonte: Khan, Khushnood e Baloch (2020)

Conforme Siddique et al. (2020), a trabalhabilidade do concreto melhora com a inclusão de água e também com a serragem tratada com silicato de sódio como substituição parcial da areia e o tratamento do pó de serra com silicato de sódio tem um efeito profundo na trabalhabilidade em comparação com outros tratamentos. No entanto, a incorporação de sílica ativa como substituto do cimento causa redução no abatimento do concreto contendo serragem.

A resistência à compressão e a resistência à tração do concreto com adição parcial de serragem de madeira diminuem com a adição de água tratada, bem como de serragem tratada com silicato de sódio como substituto da areia. O concreto contendo silicato de sódio ou serragem tratada com água apresenta resistência à compressão quase semelhante. A adição de sílica ativa como substituto do cimento em concreto contendo 5% de serragem tratada com água não tem efeito na resistência à compressão e na resistência à tração parcial. Na absorção capilar da água e a penetração da água no concreto aumentam com a adição de água ou pó de serra tratado com silicato de sódio já a adição com sílica ativa no concreto feito com pó de serra tratado com água causou redução na penetração de água e na absorção capilar de água, diminuindo a permeabilidade. (SIDDIQUE et al., 2020).

Conforme Alharishawi, Abd e Abass (2020), a resistência média à compressão para os exemplares de concreto de agregados leves com a mistura de agregados de resíduos de serragem madeira, são diretamente proporcionais à densidade de concreto, ou seja, os resultados indicam que ao aumentar o percentual dos resíduos de serragem de madeira reduz a resistência à compressão do Concreto de Agregado Leve e a resistência à compressão do concreto aumenta com a densidade.

## 2.3 Murumuru

As palmeiras são plantas características da flora tropical e estão distribuídas em grande quantidade na Amazônia brasileira; entre suas espécies, destacam-se o Murumuruzeiro (*Astrocaryum murumuru*) que, como outras palmeiras, tem grande importância devido as suas propriedades peculiares, e devido ao papel econômico que o mesmo exerce, por ser fonte da matéria-prima para a extração de óleos vegetais e fabricação de manteiga de Murumuru, as quais possuem diversas aplicações (QUEIROZ, 2007).

A palmeira murumuru é abundante na Região Amazônica, crescendo de preferência em áreas periodicamente alagadas, especialmente nas ilhas e terrenos baixos à beira dos rios, em todo o estuário do rio Amazonas e seus afluentes, estendendo-se até a fronteira com a Bolívia e Peru (BEZERRA, 2008; MORAIS, 2012, apud OLIVEIRA, 2018).

A palmeira murumuru é muito comum na Bacia Amazônica e produz frutos avermelhados feitos de amêndoa e polpa MARRONATO et al. (2016). A manteiga de murumuru é obtida a partir das sementes e tem aplicação cosmética como emoliente. É rico em ácidos láurico, mirístico e oleico.

Sementes de andiroba e cupuaçu e polpa de murumuru e buriti estão, por exemplo, gerando renda para comunidades nativas e alimentando indústrias nacionais e multinacionais (ALMEIDA, 2004, apud OLIVEIRA et al., 2008).

Atualmente, os mercados de cosmético e farmacêutico vêm sendo os responsáveis pela maior parte do consumo desta matéria-prima, desenvolvendo aceleradamente a produção de óleos amazônicos. Sementes de andiroba e cupuaçu e polpa de murumuru e buriti estão, por exemplo, gerando renda para comunidades nativas e alimentando indústrias nacionais e multinacionais (ALMEIDA, 2004, apud OLIVEIRA et al., 2008).

Rocha e Potiguara (2007) estudaram as fibras do Murumuru, onde observaram as suas características favoráveis na indústria do papel, porém tiveram poucos estudos físicos mecânicos para fundamentar ainda mais sua utilização.

Apesar do seu potencial econômico, a espécie é pouco explorada comercialmente, provavelmente pela dificuldade em seu manuseio, visto que possui inúmeros espinhos conforme figura 2.9. Atualmente existem no mercado produtos que

utilizam como matéria-prima óleos extraídos de seus frutos (SILVA, 2003, apud TEIXEIRA, 2010).

**Figura 2.9 - Espinhos característicos da palmeira do murumuru**



Fonte: Teixeira (2010)

Na tabela 2.1 mostra os principais fornecedores rurais de murumuru da empresa Natura e municípios sedes em 2008 no estado do Pará.

**Tabela 2.1 - Fornecedores de Murumuru no Pará, 2008**

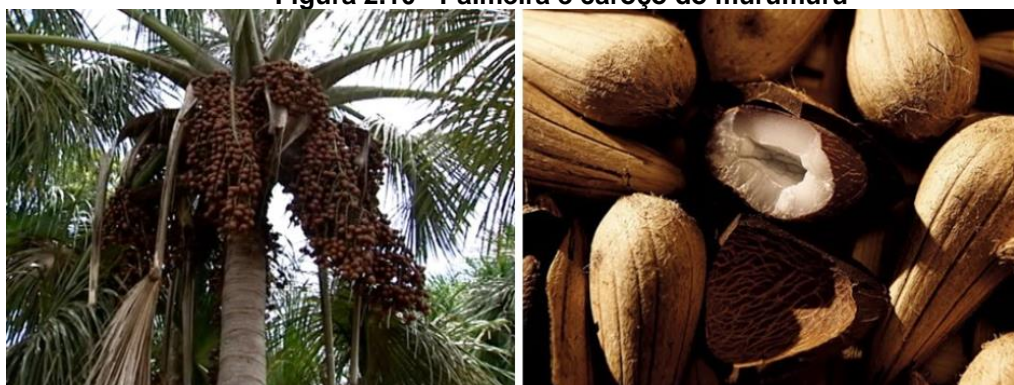
<b>Fornecedores Rurais Representados</b>	<b>Municípios / UF</b>
CAMTA	Tomé-Açu / Pa
CART	Cametá / Pa
CAEPIM	Igarapé-Miri / Pa
<b>COFRUTA</b>	<b>Abaetetuba / Pa</b>
ASSOCIAÇÃO UNIDOS VENCEREMOS	Santo Antônio do Tauá / Pa
COPOAM	Medicilândia / Pa
COOMAR	Santa Luzia do Pará / Pa
ASSOCIAÇÃO JAUARI	Moju / Pa
NOVA OLINDA	Igarapé Açu / Pa
FECAT	Marabá / Pa

Fonte: Almeida e Silva (2018)

Importante ressaltar que as atividades nas comunidades como o extrativismo do murumuru ainda tem caráter de subsistência e de reprodução de grupo e não a geração de lucro e exploração de mão-de-obra alheia (OLIVEIRA, 2007, apud ALMEIDA E SILVA, 2018, p. 22).



Figura 2.10 - Palmeira e caroço do murumuru



Fonte: Todafruta (2016)

A tabela a 2.2 mostra a caracterização do gerenciamento de algumas palmeiras na América do Sul, dentre elas o murumuru. Na figura 2.10 a palmeira com o fruto e casca com a polpa do murumuru em pedaços não uniforme a ser utilizado na pesquisa.

Na tabela 2.2, mostra-se os principais grupos de palmeiras da América e suas características, entre elas a do Murumuru. Escolhendo-se a palmeira do murumuru e a cinza da casca do seu fruto dentre as outras palmeiras, por se tratar de um material ainda não explorado em estudos de materiais para construção civil, diferente da palmeira do açaí onde já há estudos referente aos materiais para construção civil por exemplo.

Tabela 2.2 - Sinopse do gerenciamento da palmeiras América do Sul entre eles o murumuru

Espécie	País	Grupo Humano	Técnica de Colheita	Gestão	Tipo de uso da terra	Posse das terras	Categoria de Utilização	Partes usadas
<i>Astrocaryum murumuru</i>	Brasil, Peru e Bolívia	Indígenas	Corte Necessário, Recolhidas do Chão	-	Floresta Nativa e Floresta alagadas	Reserva Extrativista e Território indígena	Construção, alimento e ingredientes Naturais	Fruta, Semente, Folha, Caule e Formato em folha de lança
<i>Astrocaryum jauari</i>	Brasil, Colômbia, GuianaPeru e Suriname	Indígenas	Derrubada como consequência da má gestão	-	Sistema agroflorestal e Floresta alagada	Território indígena	Alimento	Folha e Fruta
<i>Euterpe oleracea</i>	Brasil, Colômbia, Equador, Guiana e Venezuela	Quilombolas, indígenas e Caboclos	Escalada na palmeira, ferramenta de corte, Derrubada como consequência da má gestão, corte de galho	Cultivo, dispersão de sementes ou plantio de mudas, fertilização, Colheita Selectiva por Idade.	Floresta em planície alagada, horta, floresta nativa, plantação, pasto e flores secundária	Territórios quilombolas, Terras privadas de uso comum, Terras privadas	Construção, alimentação e ornamentação	Fruto, palmito e caule

Fonte: Clement, 2005; Paniagua-Zambrana, 2005; Lopes et al., 2007; Balslev et al., 2008, apud BERNAL et al (2011) – adaptado pelo autor.

A produção do murumuru é dada na tabela abaixo fornecido pelo IBGE em seu último censo agropecuário, onde se tem a projeção da sua produção exclusivamente nos estados brasileiros da região norte.

**Tabela 2.3 - Produção do murumuru**

<b>Extração vegetal do Murumuru (sementes-ton)</b>	
<b>Brasil-2017</b>	
<b>Estados produtores</b>	<b>253</b>
Acre	14
Amazonas	112
Pará	89
Amapá	38

Fonte: Censo Agropecuário-IBGE (2017)



### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados na execução dos ensaios deste estudo encontram-se especificados a seguir.

##### 3.1.1 Cimento Portland

Como aglomerante utilizou-se o cimento Portland CP-II-F 32, por ser um cimento amplamente utilizado na região, para usos gerais. Nas tabelas 3.1 e 3.2 tem-se as informações apresentadas para este tipo de cimento.

**Tabela 3.1 - Propriedades físicas – CP II-F-32**

CP II-F 32											
Ensaio Físico	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Tempo de início de pega (h:min)	Tempo de fim de pega (h:min)	Finura na peneira # 200 (%)	Finura na peneira # 325 (%)	Expansibilidade a quente (mm)	Consistência normal (%)	Resistência à compressão 1 dia (MPa)	Resistência à compressão 3 dias (MPa)	Resistência à compressão 7 dias (MPa)	Resistência à compressão 28 dias (MPa)
Fornecido	–	≥1	≤12	≤8,0	–	≤5,0	–	–	≥10,0	≥20,0	≥32,0
Normas	NBR NM 76	NBR NM 65	NBR NM 65	NBR 11579	NBR 9202	NBR 11582	NBR NM 43	NBR 7215	NBR 7215	NBR 7215	NBR 7215

Fonte: Cimento.org (2010).

**Tabela 3.2 - Composição química – CP II-F-32**

CP II-F 32											
Ensaio Químico	Perda ao fogo (%)	Resíduo insolúvel (%)	Trióxido de enxofre – SO <sub>3</sub> (%)	Óxido de cálcio livre – CaO Livre (%)	Óxido de magnésio – MgO (%)	Óxido de alumínio – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Óxido de silício – SiO <sub>2</sub> (%)	Óxido de ferro – Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Óxido de cálcio – CaO (%)	Equivalente alcalino (%)	
Fornecido	≤4,5	–	≤4,0	–	≤6,5	–	–	–	–	–	
Normas	NBR 5743	NBR 5744	NBR 5745	NBR 7227	NBR 9203	NBR 9203	NBR 9203	NBR 9203	NBR 9203	–	

Fonte: Cimento.org (2010).

##### 3.1.2 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado nesta pesquisa é proveniente do município de Breu Branco/PA. Trata-se de uma areia quartzosa que foi lavada pela mineradora. Para a avaliação da pozolanicidade do material adotou-se como agregado miúdo a areia normal do IPT, seguindo as recomendações normativas. Na tabela 3.3 tem-se os métodos adotados na caracterização dos materiais, além dos resultados, com estes obtidos para a areia quartzosa por Souza (2017) que também foi utilizado por outros trabalhos acadêmicos na UFPA-Câmpus Tucuruí, e o da areia normal IPT fornecida pela empresa distribuidora.

**Tabela 3.3 - Característica física da areia lavada natural e normal IPT**

Ensaio	Método	Resultados	
		Areia lavada	Areia normal IPT
Diâmetro máximo (DMC) (mm)	NBR 17054 (2022)	1,19	-
Módulo de finura	NBR 17054 (2022)	2,11	-
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 16916(2021)	2,67	-
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 16972(2021)	1,58	-
Absorção de água (%)	NBR 16916(2021)	0,27	-
Teor de sílica (%)	NBR 7214 (2014)	-	96,4
Granulometria-Fração 16 - 2,4 mm e 2,0 mm (%)			6
Granulometria-Fração 16 - 2,0 mm e 1,2 mm (%)	NBR 7214 (2014)	-	92
Granulometria-Fração 30 - 1,2 mm e 0,6 mm (%)	NBR 7214 (2014)	-	98
Granulometria-Fração 50 - 0,6 mm e 0,3 mm (%)	NBR 7214 (2014)	-	97
Granulometria-Fração 100 - 0,3 mm e 0,15 mm (%)	NBR 7214 (2014)	-	97
Umidade (% em massa)	NBR 7214 (2014)	-	0
Matéria orgânica	NBR 7214 (2014)	-	< 100 ppm

Fonte: Souza (2017) e Solatest (2022).

### 3.1.3 Agregado Graúdo

Utilizou-se como agregado graúdo um material de origem granítica extraída de uma pedreira situada na cidade de Tucuruí/PA para a moldagem dos corpos de provas para os ensaios no estado fresco e endurecido. A brita foi armazenada nas baias no Laboratório de Engenharia Civil – UFPA e também foi caracterizada por Souza (2017) com o resultado apresentado na tabela 3.4, resultado esse também aproveitado por outros trabalhos acadêmicos na UFPA-Camtuc.

**Tabela 3.4 - Características física do agregado graúdo brita**

Ensaio	Método	Resultados
Diâmetro máximo (DMC) (mm)	NBR 17054 (2022)	19,00
Módulo de finura (%)	NBR 17054 (2022)	6,87
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 16917(2021)	2,80
Absorção de água (%)	NBR 16916(2021)	0,47
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 16972(2021)	1,51

Fonte: Souza (2017).

#### 3.1.4 Cinza da casca do murumuru

A casca do murumuru pre-triturada utilizada foi cedida pela cooperativa extrativista COFRUTA – Cooperativa de Fruticultores de Abaetetuba localizada em Abaetetuba – PA, disposta em sacos lacrados de polipropileno, onde posteriormente foi transformado em cinza da casca do murumuru (CCM). A coleta e classificação do resíduo seguiu as recomendações estabelecidas pela NBR 10007 (ABNT, 2004).

#### 3.1.5 Aditivo Plastificante

O aditivo empregado para produção dos concretos foi o aditivo plastificante para concretos e argamassas da marca **Muraplast FK 101 de** base líquida produzida pela empresa MC Bauchemie. Utilizado para a correção do índice de consistência do concreto, melhorando a trabalhabilidade do concreto, já que o resíduo poderia dificultar essa propriedade.

#### 3.1.6 Água

A água utilizada foi a proveniente da rede de abastecimento da Vila Permanente no município de Tucuruí/PA, fornecida pela ETA da ELETROBRÁS. Água essa considerada adequada para o uso em concretos, pois atende aos requisitos de uso prescritos pela NBR 15900-1 (2009).

### 3.2 Métodos

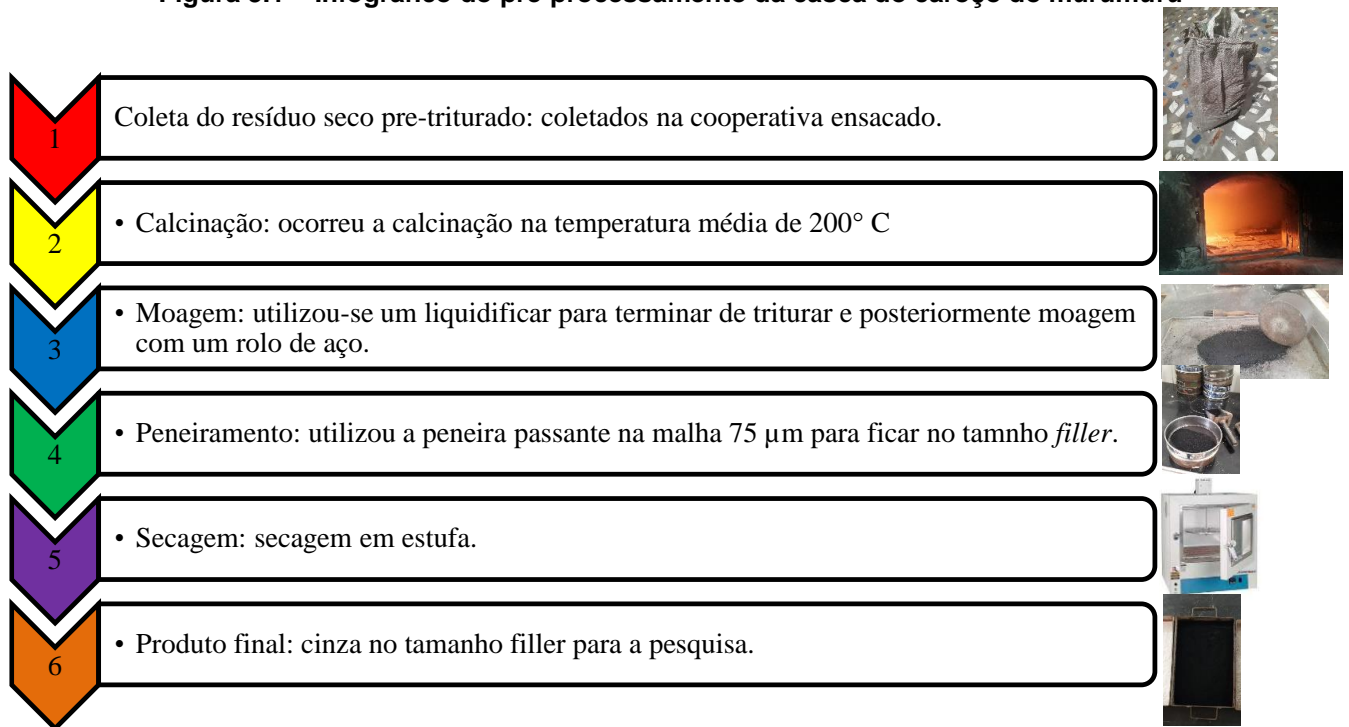
#### 3.2.1 Beneficiamento do resíduo

A cinza da casca de murumuru foi obtida pela calcinação em um forno de padaria, que alcança uma temperatura média de 200°C sem controle de queima. Trata-se de uma prática adotada na região com o intuito de reduzir o volume de resíduo.

Posteriormente procedeu-se da moagem do resíduo e respectivo peneiramento da cinza passante na malha 75 µm, secando-se em seguida, obtendo no processo um

pouco mais de 3kg de resíduos para as análises, no fluxograma da figura 3.1 ilustra esse processo.

Figura 3.1 – Infográfico do pre-processamento da casca do caroço do murumuru



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2.2 Caracterização da cinza da casca do murumuru

Posterior a coleta e calcinação no beneficiamento do resíduo buscou-se para efeitos de dosagem o conhecimento das características do resíduo. Por ser a cinza da casca do murumuru (CCM) um resíduo não estudado anteriormente como fíller, foi realizada a determinação da massa específica, para sua correta aplicação em matrizes cimentícias, além de outras análises físicas, químicas e mineralógicas.

#### 3.2.2.1 Caracterização físico-mecânica

Para determinar as características físicas e mecânicas da cinza da casca de murumuru realizou-se os ensaios apresentados na tabela 3.5, seguindo as recomendações normativas e as metodologias recomendadas pela literatura. As cinzas empregadas no trabalho encontravam-se em condição seca em ambiente natural.

**Tabela 3.5 - Ensaios físicos-mecânicos adotados**

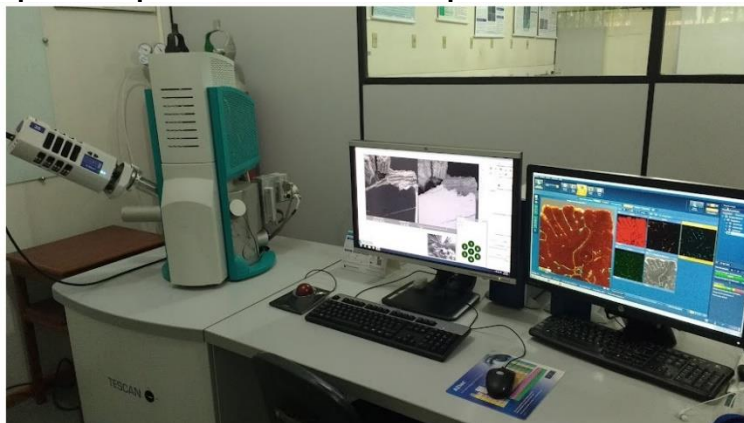
	<b>Ensaios</b>	<b>Nº de amostras</b>	<b>Métodos</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Caracterização físico-mecânica do CCM</b>	Massa Específica	1 análise por amostra	NBR 16605 (ABNT, 2017)	Para utilização nas determinações dos índices de pozolanicidade, na elaboração do traço e ver o grau de densidade do resíduo
	Superfície específica	1 análise por amostra	Adsorção de nitrogênio (BET)	Determinar a porosidade que podem afetar no desempenho esperado
	IAP com cimento aos 28 dias	6 CP's para cada controle	NBR 5752 (ABNT,2014)	Visam indicar, por meio de ensaio mecânico, o grau de pozolanicidade do resíduo, em idades de 28 dias para misturas com cimento e de 7 dias para misturas com cal.
	IAP com cal aos 7 dias	3 CP's por amostra	NBR 5751 (ABNT,2015)	

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2.2.2 Caracterização morfológicas, mineralógicas e químicas

A análise morfológica foi realizada utilizando a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para obter alta ampliação com elevada resolução de imagens junto a Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) para determinar com precisão a composição química da cinza, utilizando para isso o equipamento de baixo vácuo, modelo AZTec Energy X-Act, resolução 129eV, marca Oxford (Figura 3.2) no Laboratório do Instituto Federal do Pará, Campus Belém. As amostras das cinzas in natura (pulverizadas) foram dispersas sobre uma fita de carbono previamente colada no porta-amostra.

**Figura 3.2 - Equipamento para ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV/EDS).**



Fonte: IFPA, Campus Belém.

Na análise mineralógica utilizou-se a técnica de difratometria de raios X (DRX) que possui caráter qualitativo e/ou quantitativo, baseando-se na identificação das fases cristalinas presentes no material analisado. O estudo dos picos presentes no difratograma por comparação com bancos de dados específicos permite avaliação sobre o quanto uma amostra é amorfa ou cristalina, como também sua comparação, de forma qualitativa, com outros materiais de mesma natureza.

A técnica de Difratometria de raios X (DRX) foi utilizada na análise da amostra de CCM moída. As análises mineralógicas das amostras foram executadas por meio do ensaio de difração de Raios X, no Laboratório de Metalurgia e Física – LAMEF – UFRGS. O Difratômetro é da marca GE Seifert Charon XRD M – Research Edition, Ahrensburg. Os espectros foram obtidos sob as seguintes condições: varredura ( $2\theta$ ) de  $35^\circ$  a  $166^\circ$  e passo angular de  $0,01^\circ$ .

Para análise química, as cinzas foram submetidas ao ensaio de espectrometria de Fluorescência de raios X (FRX) para identificação e quantificação dos elementos químicos presentes de forma semiquantitativa em forma de óxidos. O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaios e Análises em Materiais – LAMAT – SENAI, através do método IT LAB 320 no aparelho Shimadzu modelo LAB XRS 1800, em uma temperatura máxima do laboratório de  $25^\circ$  C.

Ocorreu-se ainda a análise química de perda ao fogo e de teor de carbono, ocorrendo também o ensaio na LAMAT – SENAI, com equipamento da marca Quimitron, modelo QCS 1232.

Com essas todas essas análises, resumidas na tabela 3.6, utilizando-se as recomendações normativas e metodologias utilizadas em outros estudos similares.

**Tabela 3.6 - Ensaios morfológicos, mineralógicos e químicos adotados**

	<b>Ensaios</b>	<b>Nº de amostras</b>	<b>Métodos</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Caracterização química, mineralógica e morfológica</b>	Análise química	1 análise por amostra	FRX	Determinar a composição elementar do material
	Análise mineralógica	1 análise por amostra	DRX	Identificar e quantificar fases cristalinas na amostra analisada
	Análise morfológica	1 análise por amostra	MEV/EDS	Fazer uma análise semi-quantitativa, para permitir identificar os elementos químicos presentes na cinza
	Análise morfológica	1 análise por amostra de cada teor de concreto com cinza	MEV	Fazer uma análise semi-quantitativa, para permitir identificar os elementos químicos presentes no concreto com e sem cinza
	Análise química	1 análise por amostra	Perda ao fogo pelo IT LAB 17 e 162	Determinar a perda de massa quando submetida a ciclo térmico de aquecimento
	Análise química	1 análise por amostra	Teor de Carbono pela ASTM E 1019	Avaliar a quantidade de carbono não queimado

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2.3 Dosagem e Produção do Concreto

O método de dosagem adotado nesta pesquisa foi o IPT-ESPUSP (Instituto de Pesquisas Tecnológicas- Escola Politécnica da USP) que faz o proporcionamento ótimo dos materiais a partir do estudo do teor de argamassa. Nesse estudo, almejou a produção de um concreto para fins estruturais, tendo como base o estudo de Sousa (2019), trabalhou-se com o traço de referência de 1:1,6:2,4 (em massa), de relação a/c de 0,43 e resistência característica de 30 MPa. O estudo visa analisar o efeito da substituição da cinza no comportamento desse concreto, os teores de substituição adotados foram 6%, 9% e 13%, a escolha desses teores baseou-se em pesquisas anteriores com resíduos agroindustriais que apresentaram desempenho satisfatório em termos mecânicos para este tipo de concreto, proporções baseadas nos estudos da casca da castanha de caju (OYEBISI et al., 2020), de caroço de açaí como adição no concreto (CORDEIRO et al., 2019) e da cinza do bagaço da cana-de-açúcar no concreto (NUNES et al., 2010), buscando-se nesses um abatimento de cone de  $160 \pm 20$  mm, prevendo-se que posteriormente a incorporação da cinza ocorrerá a perda de trabalhabilidade.

As misturas foram-se realizadas em betoneira de eixo inclinado com capacidade de 80 L seguindo a seguinte ordem de mistura dos materiais, ou seja, iniciando-se a mistura com agregado graúdo, parte da água já com aditivo, acionando-os na betoneira por 3 minutos, logo após descansando a betoneira por 3 minutos, em seguida adicionando o agregado miúdo, seguido da colocação do cimento previamente misturado com resíduo de CCM (para o concreto com teores de cinza) e por último adicionando água restante com aditivo plastificante, fixando o tempo de mistura. Na tabela 3.7 apresenta as quantidades de matérias utilizadas nos corpos de prova com ou sem CCM em kg/m<sup>3</sup>.

**Tabela 3.7 - Nomenclatura do traço e composição traço do concreto com CCM em massa**

Teor de CCM	0%	6%	9%	13%
Designação do traço	CP-CCM-0	CP-CCM-6	CP-CCM-9	CP-CCM-13
Cimento (kg / m <sup>3</sup> )	485,16	470,61	460,90	451,20
Água Total (kg / m <sup>3</sup> )	208,62	208,62	208,62	208,62
Água / Cimento (a / c)	0,43	0,43	0,43	0,43
CCM (kg / m <sup>3</sup> )	0	7,79	12,99	18,19
Areia (kg / m <sup>3</sup> )	776,26	776,26	776,26	776,26
Brita (kg / m <sup>3</sup> )	1164,40	1164,40	1164,40	1164,40
Teor de aditivo 1% em relação a massa do cimento	4,85	4,71	4,61	4,51

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2.4 Avaliação do efeito da CCM nas propriedades do concreto no estado fresco

Para o estudo do concreto no estado fresco, com os teores de cinza e sem cinza, realizou-se os ensaios apresentados na tabela 3.8, seguindo as recomendações normativas e as metodologias recomendadas pela literatura. Fazendo-se esses ensaios logo após a fabricação do concreto na betoneira.

**Tabela 3.8 - Ensaios do concreto no estado fresco**

	Ensaio	Nº de amostras	Métodos	Objetivo
<b>Ensaio de propriedades do concreto no estado fresco</b>	Abatimento de tronco de cone ( <i>Slump test</i> )	1 análise por teor de CCM no cimento	NBR 16889 (ABNT, 2020)	Analisar a consistência e trabalhabilidade do concreto.
	Massa específica	1 análise por teor de CCM no cimento	NBR 9833 (ABNT, 2009)	Avaliar a massa específica do concreto sem e com teores de cinza.

Fonte: Elaborado pelo autor



Ensaio estes importantes para se ter a percepção da trabalhabilidade do concreto através da sua consistência, ver também se ocorre a exsudação e segregação do concreto, além da avaliação do quanto o concreto possa ter uma massa leve ou pesada. Justifica-se esses ensaios também devidos os resíduos vegetais geralmente serem capazes de absorver uma parcela da água de amassamento, podendo modificar a trabalhabilidade (DAMINELI, 2013).

### 3.2.5 Avaliação do efeito da CCM nas propriedades do concreto no estado endurecido

No estudo do concreto no estado endurecido, com os teores de cinza e sem cinza, realizou-se os ensaios apresentados na tabela 3.9, seguindo as recomendações normativas e as metodologias recomendadas pela literatura. Fazendo-se a moldagem dos corpos de provas e colocando-se no processo de cura na câmara úmida, obedecendo-se os dias para cada tipo de ensaio, conforme normas.

**Tabela 3.9 - Ensaio do concreto no estado endurecido**

	<b>Ensaio</b>	<b>Nº de amostras</b>	<b>Métodos</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Ensaio de propriedades do concreto no estado endurecido</b>	Massa específica	3 CP's para cada teor de concreto	NBR 9778 (ABNT, 2009)	Avaliar a massa específica do concreto sem e com teores de cinza.
	Resistência a compressão	3 CP's para cada teor de concreto	NBR 5739 (ABNT, 2018)	Verificar a tensão máxima que o concreto resistirá antes de sofrer a ruptura
	Resistência à tração por compressão diametral	3 CP's para cada teor de concreto	NBR 7222 (ABNT, 2011)	Verificar e medir a carga para qual ocorre a fissuração do concreto.
	Absorção por capilaridade	3 CP's para cada teor de concreto	NBR 9779 (ABNT, 2012)	Analisar o grau de porosidade do concreto.
	Módulo de elasticidade	3 CP's para cada teor de concreto	NBR 8522 (ABNT, 2021)	Analisar a deformação concreto, observando o grau de deformação.

Fonte: Elaborado pelo autor

Ensaio estes necessários para avaliar o concreto já endurecido, para se ter noção da densidade estrutural com o ensaio da massa específica, o que pode determinar o quanto a estrutura pode ser leve ou pesada, analisar como se comporta o concreto com o incremento das cinzas, de como isso pode afetar uma das

características importantes que é o da resistência à compressão nas idades de cura aos 28 dias. Já no ensaio à tração um parâmetro importante que nos permitiu estimar em qual carga ocorrerá a fissuração do concreto com as cinzas, o que é importante na observação da conservação da continuidade do concreto. Já ensaio de absorção de água é relevante para verificar o grau de absorção do concreto, o que de fato pode afetar a durabilidade da estrutura de concreto, e por fim o módulo de elasticidade que nos ajudar a saber o quanto o concreto pode ser dúctil ou frágil, características muito importantes para as estruturas de concreto. Ensaio esse importante para caracterização do concreto no contexto mais aplicado a construção civil de forma direta.

## 4 RESULTADOS

Neste tópico são abordados os ensaios que caracterizaram o CCM. Finalizando-se com análise e discussão dos resultados dos ensaios no estado fresco e endurecido dos concretos com a substituição parcial do cimento pelo resíduo.

### 4.1 Caracterização do resíduo

#### 4.1.1 Caracterização físico-mecânica

Na tabela 4.1 são apresentadas o resultados físico-mecânicos da cinza e comparado em algumas propriedades com o cimento a ser substituído parcialmente, parâmetros esses muito importantes para analisar a potencialidade do CCM no concreto estrutural.

**Tabela 4.1 - Resultado dos ensaios físico-mecânicas**

Caracterização físico-mecânica do CCM	Ensaio	Resultado do CCM	Resultado do Cimento CP II-F
	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	1,50	2,80
	Superfície específica BET (cm <sup>2</sup> /g)	616620	13920
	IAP com cimento aos 28 dias	Resultado do CCM	NBR 12653 (ABNT 2015)
		96,72%	≥90%
IAP com cal aos 7 dias	0,09 MPa	6 MPa	

Fonte: Elaborado pelo autor

Como apresentado na tabela acima encontrou-se o valor da massa específica real do CCM e percebeu-se que é inferior a alguns resíduos agrícolas já pesquisados, como a cinza do bagaço da cana de açúcar 2.720 kg/m<sup>3</sup> (BERENGUER et al., 2020) e da cinza da casca do arroz 2.400 kg/m<sup>3</sup> (APRIANTI, et. al., 2015) e também menor que o do cimento da pesquisa que é de 2.800 kg/m<sup>3</sup>, significando a confecção de concretos mais leves.

Pode-se observar que na área superficial BET das partículas da CCM apresenta valores elevados, ainda mais se comparado com o cimento (CP-II F 32)

substituído de forma parcial que tem área superficial BET de 1,39 m<sup>2</sup>/g, o que explica a maior demanda por água e a perda de trabalhabilidade quanto maior o teor de cinza no concreto, o que demonstra a necessidade de aditivos plastificante para melhorar a viabilidade no concreto.

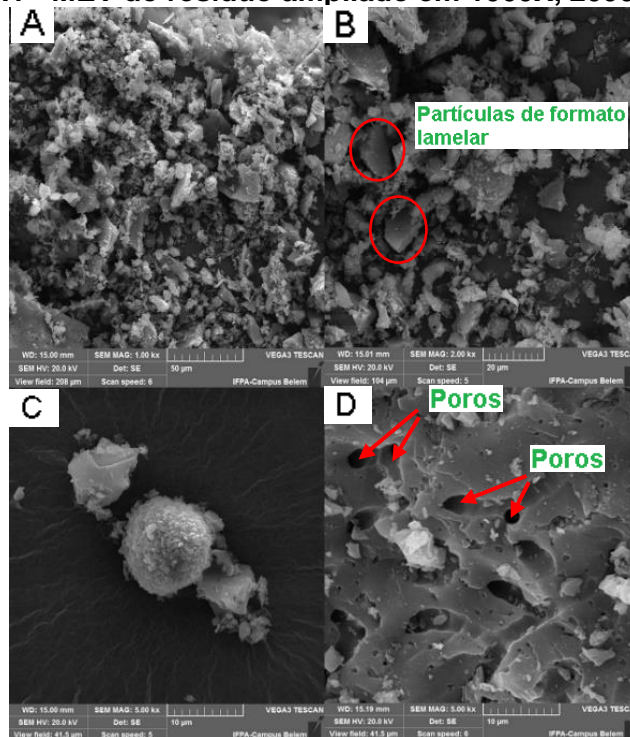
Os valores apresentados na atividade pozolânica com cimento Portland se referem à média de 6 amostras para cada controle analisada, o controle A e B, com as respectivas resistências alcançadas de 3,66 e 3,54 Mpa, e que a resistência do controle B equivale 97,72% do controle A. Estes dados mostram que essa cinza possui atividade pozolânica segundo o critério da norma NBR 12.653 (ABNT, 2015), onde deve-se ter pelo menos 90% da resistência do traço de referência aos 28 dias.

Já no resultado apresentado para atividade pozolânica com a cal, onde foi possível desmoldar sem desintegração dos corpos de prova, o resultado da tensão média do rompimento dos corpos de prova mostrou uma baixa resistência, bem inferior aos 6,00 Mpa requerido pela NBR 12.653 (ABNT, 2015), considerando-se um material não pozolânico para este quesito.

#### 4.1.2 Análise Morfológica (MEV-EDS) do CCM

Empregada com a finalidade de observar o aspecto morfológico do CCM. Na figura 4.1 são mostradas os MEVs do resíduo ampliado em 1000X, 2000X e 5000X, respectivamente, percebendo que as partículas possuem tamanhos variáveis com aspecto mais poroso e lamelar.

Figura 4.1 - MEV do resíduo ampliado em 1000X, 2000X e 5000X

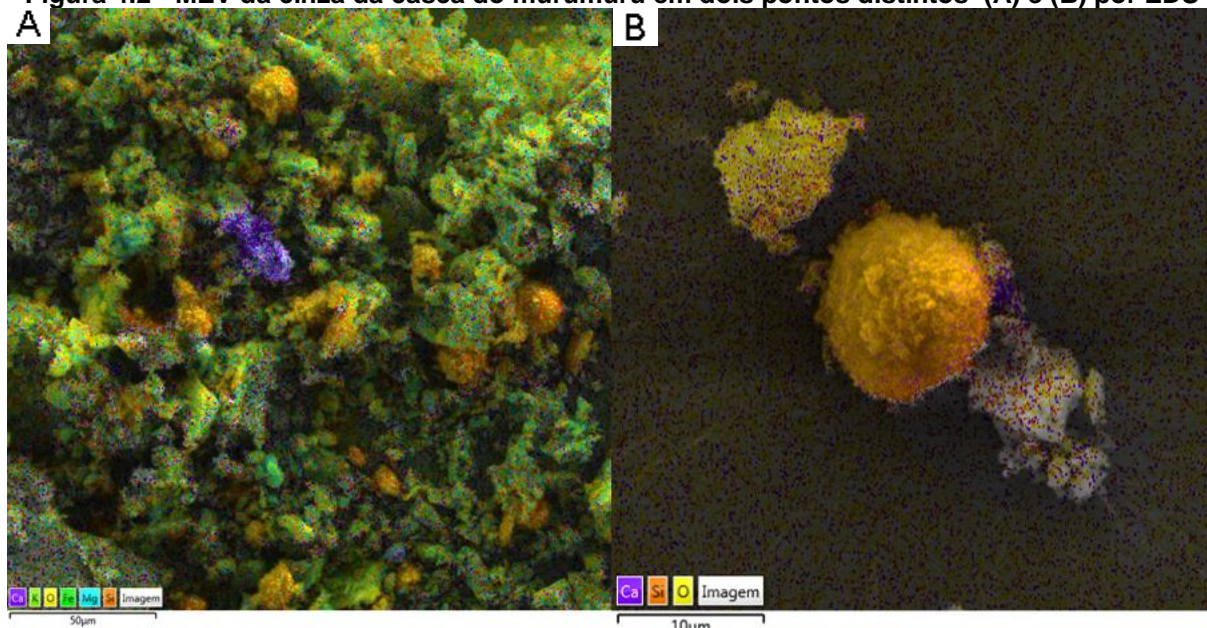


Fonte: Elaborado pelo autor

Observando-se como o material possui um formato lamelar, isso deve influenciar na trabalhabilidade do concreto diminuindo essa propriedade, aumentando a demanda por água, o que se notou durante o desenvolvimento da pesquisa.

Em conjunto com a análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV), fez-se uma análise química específica por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) na amostra do resíduo da cinza da casca do murumuru (CCM). Na figura 4.2 é possível ter uma análise semi-quantitativa dos elementos presentes na cinza, percebendo-se os elementos importantes no resíduo para o concreto, como o Silício (Si), Cálcio (Ca), Oxigênio (O), Ferro (Fe), entre outros elementos.

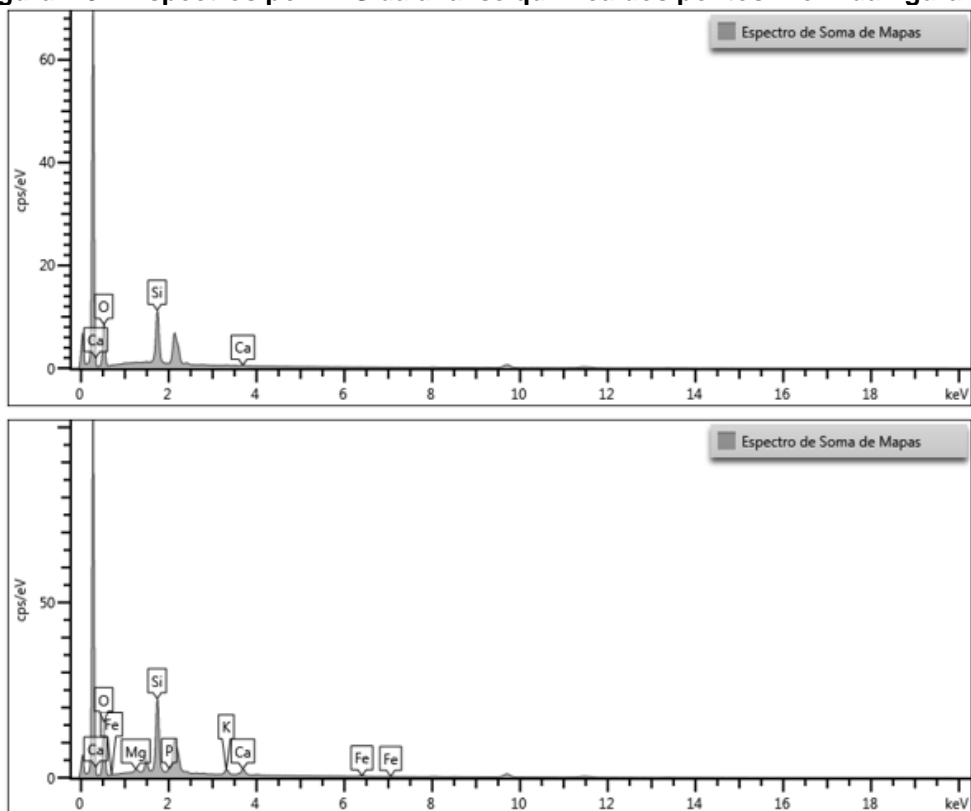
Figura 4.2 - MEV da cinza da casca do murumuru em dois pontos distintos (A) e (B) por EDS



Fonte: Elaborado pelo autor

Juntamente as imagens do MEV-EDS, são apresentados os pontos analisados (figura 4.3), na parte A e B. A tabela 4.2 apresenta o resultado da análise semiquantitativa por EDS nos dois pontos.

Figura 4.3 – Espectros por EDS da análise química dos pontos A e B da figura 4.2



Fonte: Elaborado pelo autor

**Tabela 4.2 - Resultado da análise química semi-quantitativa por EDS dos pontos A e B da figura 4.3**

	O	Mg	Si	P	K	Ca	Fe
Ponto A (% em massa)	64,59	1,62	24,67	1,5	2,78	3,64	1,21
Ponto B (% em massa)	70,37	-	28,95	-	-	0,68	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando-se de forma percentual que além da presença abundante de oxigênio, há uma boa presença silício, que ajuda na composição das moléculas de Sílicas, este muito importante para aumentar a durabilidade do concreto diminuindo a porosidade.

#### 4.1.3 Análise por Fluorescência de Raio X

A análise química procedeu-se pela fluorescência de raios X, apresentando-se os percentuais de óxidos de todos os componentes presentes nas amostras, além da verificação do teor de carbono e perda ao fogo. Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados.

**Tabela 4.3 - Resultados de Fluorescência de raio-X, teor de carbono e perda ao fogo**

Óxidos/Elementos	SiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Mg O	SnO <sub>2</sub>	Mn O	CuO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C	PF
Valores (%)	59,9	11,1	10,3	5,1	3,9	2,8	2,4	2,2	0,77	0,5	0,3	0,3	89,5	96,2

Fonte: Elaborado pelo autor

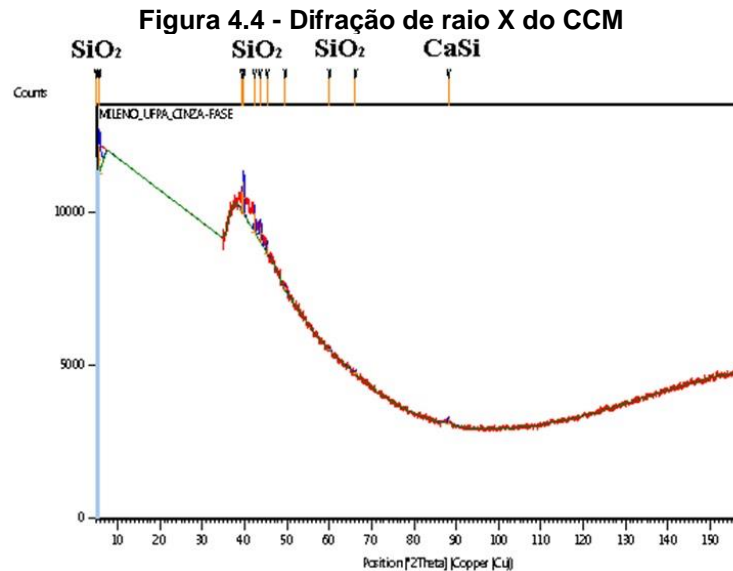
Para esse material ser considerado pozolânico de acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2015), as somatórias das quantidades dos óxidos sílica (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e óxido de férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), deve ser maior ou igual 50% para classe E, com uma quantidade máxima de SO<sub>3</sub> devendo ser menor ou igual 5% e do Na<sub>2</sub>O até 1,5%.

Com isso, a CCM apresentou a quantidade de SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em 66,74%, o que caracteriza este material no requisito, principalmente pelo fato de conter sílica na composição, que reagindo com o Ca(OH)<sub>2</sub> irá formar o C-S-H, composto diretamente relacionado com a resistência mecânica do concreto.

E como o processo de queima não foi controlado, era de se esperar elevados valores de perda ao fogo e teor de carbono, que são causados por perdas no processo de ignição e processo de combustão incompleta. Os valores recomendados pela NBR 12655 (ABNT, 2015) para a perda ao fogo é de no máximo 6% na classe E e o resíduo está 10x superior ao valor recomendado.

#### 4.1.4 Difração de raios-X

A difração de raios X permitiu analisar a composição mineralógica do resíduo. Utilizando-se essa técnica, para a análise de CCM, objetivando a obtenção das fases cristalina e amorfa do material. Na Figura 4.4 é apresentado no difratograma da CCM.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados apresentados indicam que o resíduo estudado é um material parcialmente cristalino, que apresenta no intervalo de 38° e 45° um halo amorfo, demonstrando uma desordem no arranjo atômico do material. Esses indícios corroboram para a presença de reatividade no material.

Identifica-se a presença de SiO<sub>2</sub> na forma de quartzo (estrutura cristalina hexagonal) na cinza. Desta forma, os resultados da figura 4.4 sugerem que a cinza fina moída apresenta o arranjo parcialmente amorfo e cristalino.

Como a atividade pozolânica é diretamente proporcional à área específica e depende da composição química do material, o resíduo tem estrutura desordenada (amorfa) apresentando maior reatividade em comparação com materiais cristalinos e podem ser explicados pelo elevado teor de SiO<sub>2</sub> cristalino na forma de quartzo.



## 4.2 Efeito do CCM nas propriedades do concreto no estado fresco

Na tabela 4.4 tem-se os resultados dos concretos no estado fresco, percebendo-se que a substituição do cimento pelo murumuru influenciou no comportamento do concreto no estado fresco.

**Tabela 4.4 – Resultados dos ensaios para o concreto no estado fresco**

Traços	Abatimento (mm)	Massa esp. estado fresco (kg/m <sup>3</sup> )
CP-CCM-0	220	2909
CP-CCM-6	122	2930
CP-CCM-9	90	2888
CP-CCM-13	89	2901

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao verificar a consistência notou-se que a trabalhabilidade do concreto reduz com o aumento do teor de substituição, de modo que para CP-CCM-6 houve uma redução do *slump* em aproximadamente 45%, comparado ao CP-CCM-0, e a diferença da redução do *slump* é maior ainda nos teores CP-CCM-9 e CP-CCM-13 ao de referência, que é próximo de 60%. Este fato é devido a maior área superficial do CCM, quando comparado ao cimento Portland, exposto no resultado do BET e também ao formato lamelar da cinza.

De acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015), constata-se que os CP-CCM-0 pertencem a classe S160, CP-CCM-6 pertencem a classe S100, enquanto os CP-CCM-9 e CP-CCM-13 à classe S50. Ainda com base nessa norma, podem ser aplicados respectivamente como elementos estruturais com lançamento bombeado de concreto, como lançamento convencional de concreto e para pavimentos e elementos de fundações.

Com essa trabalhabilidade de assemelhando-se a outros trabalhos, como Arif, Clark e Lake (2017) na cinza de cana de açúcar e Ramasamy (2011) na cinza da casca de arroz, onde reduz o abatimento com o aumento do teor de substituição do cimento por resíduo de cinza vegetal.

Observou-se também no decorrer do ensaio de abatimento não ocorreu exsudação ou segregação no concreto fresco, como percebe-se na figura 4.5.

**Figura 4.5 – Verificação se ocorre exsudação e segregação no ensaio de *slump test***



Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação a massa específica verificou-se que os concretos com e sem resíduos apresentaram massa específica no estado fresco similar. Como o resíduo tem uma massa específica menor que a do cimento, numa análise dedutiva o concreto possuirá massa específica fresca menor. Estando esses valores dos concretos acima dos de  $2.800 \text{ kg/m}^3$ , caracterizando-os como concretos densos de acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015). Apresentando-se esses valores como satisfatório para utilizações estruturais.

### 4.3 Efeito da CCM nas propriedades do concreto no estado endurecido

Na tabela 4.5 são resumidos os resultados dos concretos no estado endurecido notando-se assim, como nos resultados no estado fresco que a substituição do cimento pelo murumuru também influenciou no comportamento do concreto no estado endurecido.

**Tabela 4.5 - Resultados dos ensaios para o concreto no estado endurecido**

Traço	Massa esp.estado endurecido ( $\text{kg/m}^3$ )	Média da Resistência à Compressão aos 28 dias (MPa)	Média da Resistência à Tração (MPa)	Média do Módulo de Elasticidade (GPa)	Absorção por capilaridade as 72 h	
					C ( $\text{g/cm}^2$ )	h (cm)
CP-CCM-0	2286	28,33	3,17	43,04	0,54	5,2
CP-CCM-6	2330	28,75	3,47	47,72	0,23	0,4
CP-CCM-9	2265	18,36	2,99	48,69	0,22	0,2
CP-CCM-13	2277	23,03	3,08	38,54	0,26	0,1

Fonte: Elaborado pelo autor

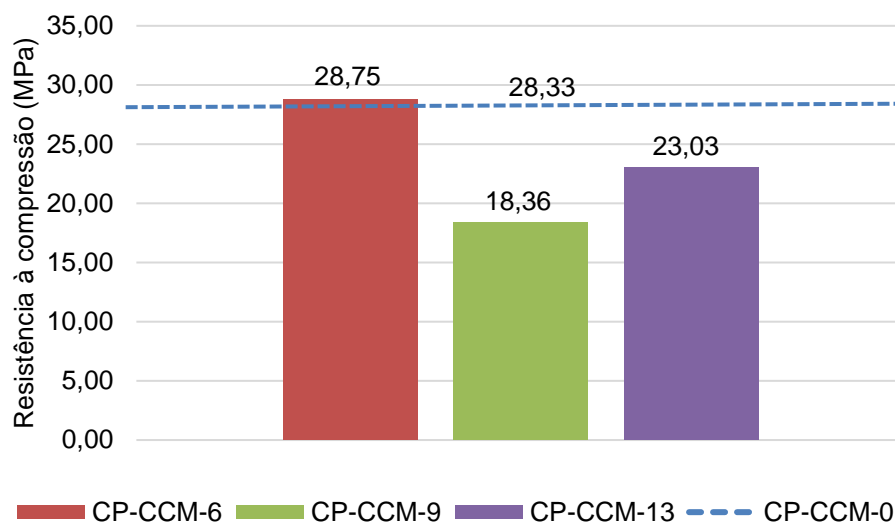
- Massa específica no estado endurecido

Como evidencia a tabela acima, no resultado de massa específica houve um pequeno aumento da massa específica para CP-CCM-6 comparado ao CP-CCM-0. Já o CP-CCM-9 e CP-CCM-13 houve uma leve redução da massa específica, praticamente igual ao concreto CP-CCM-0. Neste sentido, a diminuição da massa específica de forma geral se dá pelo somatório das massas específicas dos materiais, com aumento no teor substituição do cimento pelo resíduo.

- Resistência à compressão

Os resultados das resistências à compressão dos concretos com e sem CCM são apresentados aos 28 dias, realizada pela média aritmética dos valores da resistência à compressão de 03 (três) corpos de prova. Apresentando-se também através do gráfico na figura 4.6 as resistências dos traços de 0%, 6%, 9% e 13% na idade já citada e com os resultados obtidos, analisou-se que a resistência aumentou um pouco para o traço 6%, já para traço de 9% e 13% apresentaram os valores mais baixos em relação à referência.

**Figura 4.6 - Resultado do ensaio da resistência a compressão aos 28 dias**



Fonte: Elaborado pelo autor

Podemos dizer que o estudo demonstrou com a substituição parcial do cimento pelo CCM no traço de 6%, foi o que apresentou melhor resultado, onde atingiu aos 28 dias, uma resistência superior ao de referência, em torno de 1%, concluindo-se como

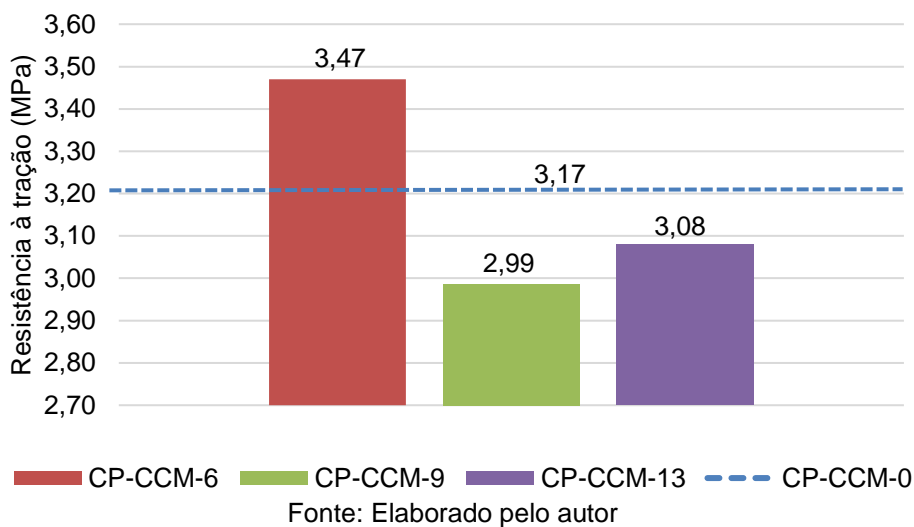
um resultado benéfico a utilização da cinza no concreto nesse teor, no quesito da resistência à compressão.

- Resistência à tração

Os resultados da resistência à tração por compressão diametral para o estudo de substituição parcial do cimento pelo CCM estão na tabela 4.5. Observe que o teor de substituição de 6% de CCM foi o único que apresentou resistência superior ao de referência, enquanto para os teores maiores de CCM reduziu a resistência a tração do concreto. Mas de forma geral os valores são bem próximos, o que era esperado pelo efeito *filler* que tende a aumentar a coesão interna das partículas do concreto.

Então analisando-se também gráfico da figura 4.7, ocorreu um aumento de 9% de resistência à tração no teor de 6% em relação ao traço referência dos 28 dias de cura. Porém os traços com 9% e 13% diminuí a resistência em cerca de 6% e 2% respectivamente.

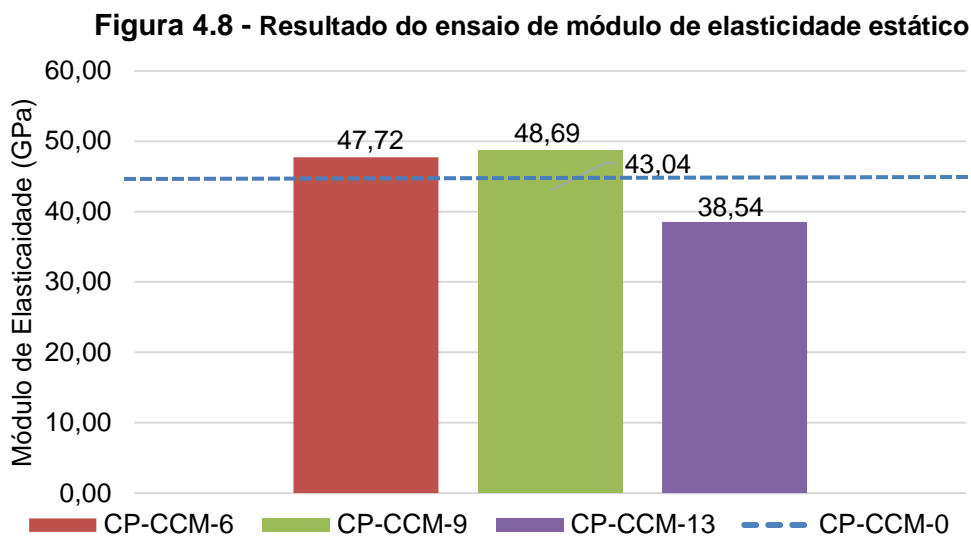
**Figura 4.7 - Resultado do ensaio da resistência à tração por compressão a diametral**



- Módulo de Elasticidade

Verificando-se também pelo gráfico na figura 4.8, é facilmente analisado que com o aumento da incorporação do CCM no traço de 6% e 9% ocorre o aumento dos valores do módulo de elasticidade, o que significa que de acordo com a Lei de Hook

menor deformabilidade. Já o traço de 13% apresentou um módulo de elasticidade baixo em relação ao traço controle, significando maior deformação do concreto.



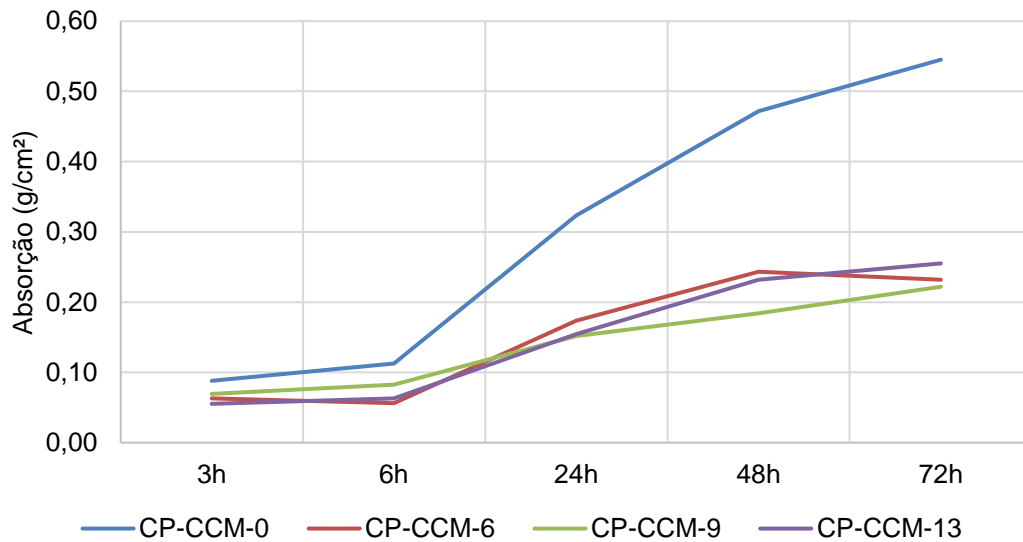
Fonte: Elaborado pelo autor

- Absorção por capilaridade

Os resultados de absorção de água por capilaridade e a altura máxima que a água atingiu no interior dos corpos de prova das amostras analisadas às 72h, são exibidas também na tabela 4.5.

Analisando-se graficamente na figura 4.9, verifica-se que quanto mais se adiciona o CCM no concreto menor é absorção capilar, demonstrando o efeito *filler* do resíduo no concreto em todos os teores, o que consequentemente de forma positiva demonstraria uma melhor proteção as estruturas de concreto armado.

**Figura 4.9 - Absorção de água por sucção capilar (g/cm<sup>2</sup>)**

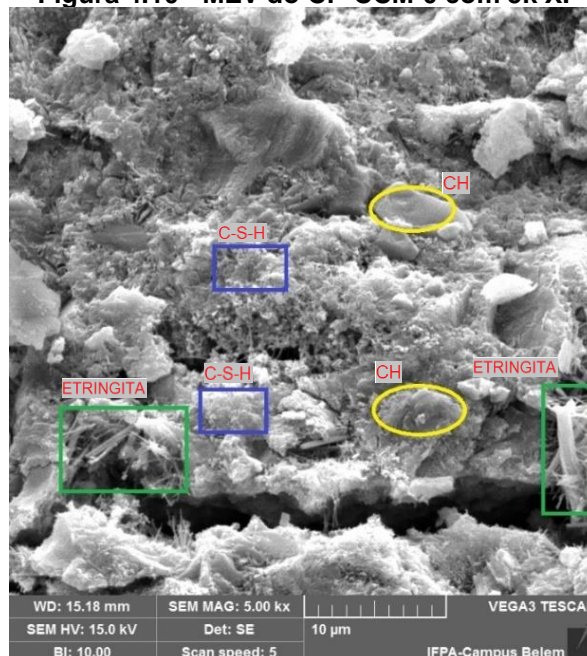


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.3.1 Microestrutura dos Concretos

Após o ensaio de compressão simples aos 28 dias, os corpos de prova rompidos foram submetidos a uma análise microestrutural através da microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostras dos concretos de referência e dos concretos com substituição parcial do cimento pelas amostras CP-CCM-6, CP-CCM-9 e CP-CCM-13 foram analisadas, objetivando analisar as matrizes cimentícias. Na figura 4.9 são mostradas a microscopia para o CP-CCM-0.

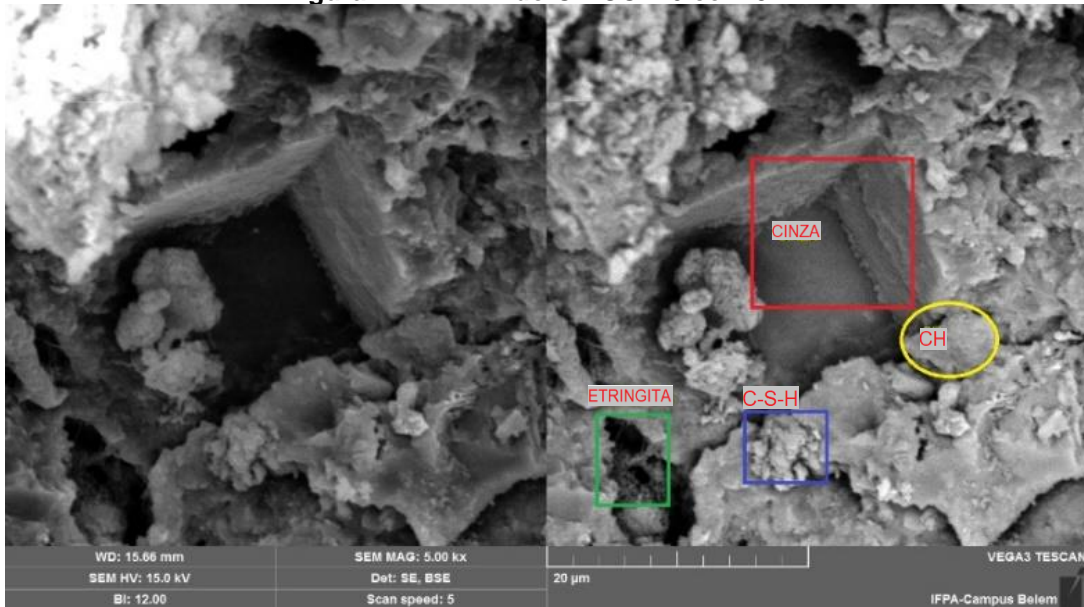
**Figura 4.10 - MEV do CP-CCM-0 com 5k X.**



Fonte: Elaborado pelo autor

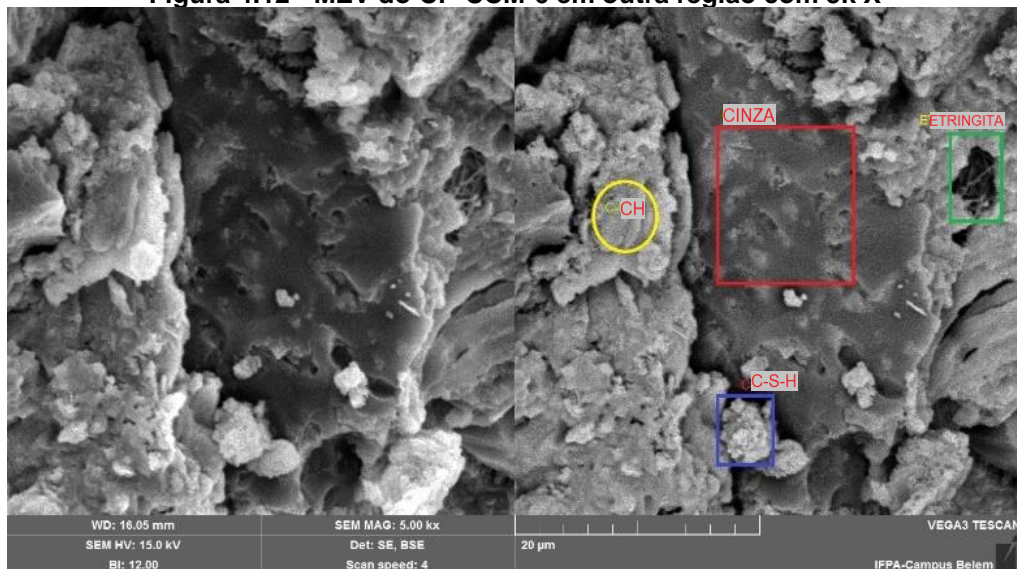
Na Figura acima pode-se notar as fases da pasta de cimento hidratada, como a Etringita, Hidróxido de cálcio hidratado (CH), e o Silicato de Cálcio Hidratado (C-S-H). Nas figuras 4.10 e 4.11 apresenta o MEV do CP-CCM-6 em duas regiões distintas.

Figura 4.11 - MEV do CP-CCM-6 com 5k X



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.12 - MEV do CP-CCM-6 em outra região com 5k X



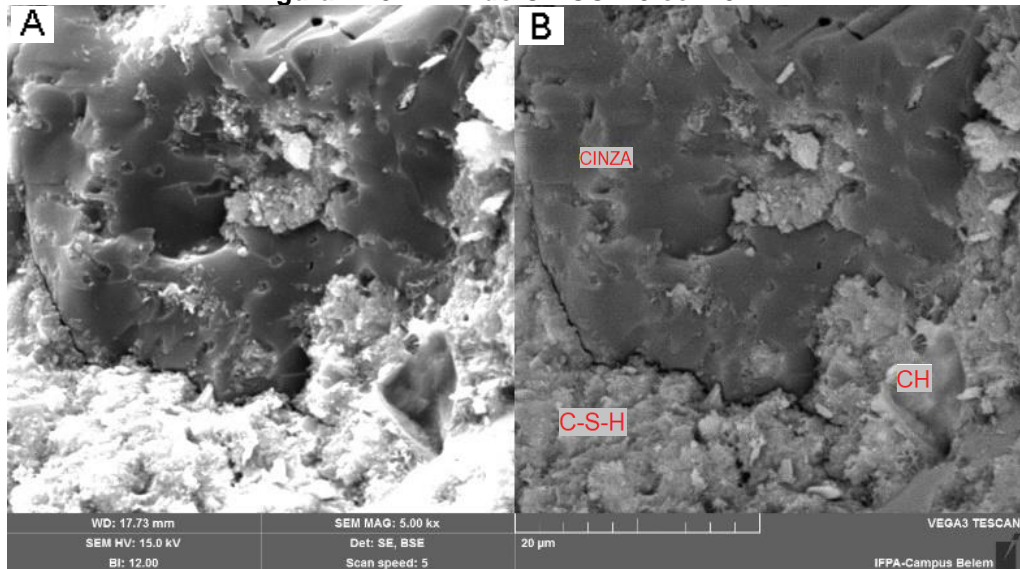
Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se na análise morfológica que os concretos apresentaram o elemento principal da resistência mecânica que é o C-S-H, e indicou-se morfológicamente a presença de partículas de CCM vista no cinza mais escuro das imagens, já que apresenta massa específica menor que o cimento, mostrando também seu formato lamelar.



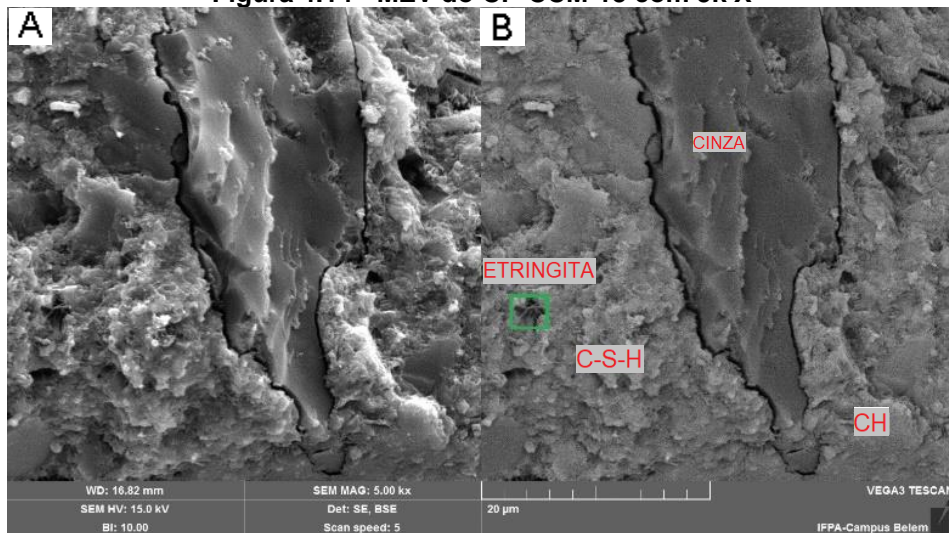
Esses elementos e partículas constituintes nos concretos com 28 dias comprovam que o material também tem efeito *filler*, não havendo reação com as substâncias anidras, funcionando para aumentar o empacotamento do compósito. Nas figuras 4.12 e 4.13 é apresentado respectivamente os resultados dos MEVs do CP-CCM-9 e MEVs do CP-CCM-13.

Figura 4.13 - MEV do CP-CCM-9 com 5k X



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.14 - MEV do CP-CCM-13 com 5k X



Fonte: Elaborado pelo autor

Deste modo, são expressas as formações de alguns compostos da pasta de cimento: a etringita, o CH e o C-S-H, com o último elemento em maior quantidade, devido ao concreto conter em sua composição mais sílica.



## 5 CONCLUSÕES

O resíduo murumuru seja ela em forma de cascas e cinzas tem hoje como destinação final os lixões, aterros sanitários e queima ao céu aberto ou em fornos. Então adiciona-lo à matriz cimentícia, na indústria do concreto, é a oportunidade do aumento da responsabilidade ambiental, além é claro de melhorar as características desempenho do concreto.

E a partir dos resultados conclui-se que a incorporação de cinza do murumuru e substituição parcial do cimento modifica o comportamento mecânico dos concretos analisados.

Esta pesquisa além de resultados técnico-científicos, espera proporcionar incentivos aos profissionais, pesquisadores e indústrias, na utilização desse resíduo como possibilidade de aproveitamento junto ao cimento para confecções de concretos estruturais.

Os resultados dessa pesquisa de substituição parcial do cimento Portland pelo CCM no concreto, proporcionou analisar a influência da cinza agroindustrial nas propriedades nos estados frescos e endurecidos do concreto.

Com isso, são apresentadas as principais conclusões a seguir:

- ✓ A massa específica da CCM apresentou-se menor que o cimento, o que ajuda na confecção de concretos um pouco mais leve;
- ✓ A Superfície específica BET mostrou-se elevada para a cinza em comparação com o cimento CP II-F 32 utilizado na pesquisa, o que indica a perda da trabalhabilidade, necessitando-se o uso de aditivos plastificantes;
- ✓ A atividade pozolânica com o cimento, o CCM apresentou um bom resultado, se enquadrando como pozolânico. Já a atividade pozolânica com a cal não obteve o mesmo requisito pozolânico, baseando-se normativamente;
- ✓ O FRX permitiu verificar os óxidos presentes na composição química do CCM, que influenciam no caráter pozolânico do resíduo e nas reações de hidratação;
- ✓ A análise de perda ao fogo e teor de carbono, demonstrou combustão incompleta, conforme exigido normativamente;
- ✓ No DRX, observou-se algumas fases cristalinas na cinza, principalmente quartzo, mas mostrando-se também amorfa;

- ✓ Com a microscopia eletrônica de varredura para a análise microestrutural, conclui-se que a cinza tem formato lamelar e verificado a  $\text{SiO}_2$  (quartzo) presente;
- ✓ A adição da cinza natural influenciou na consistência do concreto, reduzindo a trabalhabilidade. O que pode ser justificado pela cinza ter caráter lamelar e possuir alta superfície específica superior ao cimento Portland;
- ✓ A massa específica do concreto no estado fresco ficou na faixa normativa característica dos concretos densos, apresentando um acréscimo para CP-CCM-6, ocorrendo redução para o CP-CCM-9 e CP-CCM-13;
- ✓ A massa específica do concreto no estado endurecido, as amostras apresentaram os valores próximo ao referência, havendo pouca variação;
- ✓ Quanto a absorção de água por capilaridade, percebe-se valores bem inferiores das amostras com CCM em relação ao CP-CCM-0, denotando-se a diminuição da porosidade do concreto;
- ✓ Na análise da resistência a compressão, os concretos apresentaram incremento das resistências com o avanço das idades para teor de substituição de 6%, reduzindo um pouco nos teores de 9% e 13%. A mesma situação acontece para a resistência a tração, apresentando um bom desempenho mecânico;
- ✓ No módulo de elasticidade o CP-CCM-6 e CP-CCM-9 é observado menor deformabilidade que o traço controle. Porém no CP-CCM-13 apresentou o menor módulo de todos, conseqüentemente uma maior deformabilidade.
- ✓ Por meio da análise do MEV observou-se os compostos de hidratação na matriz cimentícia, como a do hidróxido de cálcio (CH), etringita e o silicato de cálcio hidratado (C-S-H).

De forma geral, de acordo com os resultados alcançados nesta pesquisa. Conclui-se que a cinza da casca do murumuru possui algumas boas características físico-mecânicas, químicas e mineralógica e, de certa forma, demonstra uma viabilidade técnica para substituição parcial do cimento para o teor do CP-CCM-6, onde apresentou os melhores resultados dentro dos ensaios no estado fresco e endurecido submetidos na pesquisa.

## 5.1 Sugestões para pesquisas futuras

Sugere-se nos trabalhos futuros:

- ✓ Fazer a queima das cascas do murumuru de forma mais controlada, em temperaturas mais altas e reavaliar os óxidos presentes, teor de carbono e perda ao fogo;
- ✓ Fazer a análise termogravimétrica para se saber a temperatura certa que a casca do murumuru seja calcinada;
- ✓ Determinar o tamanho das partículas com análise de granulometria laser;
- ✓ Estudo mais abrangente com outras dosagens de concreto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- \_\_\_\_\_. **ASTM E 1019**. Standard Test Methods for Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen, and Oxygen in Steel, Iron, Nickel, and Cobalt Alloys by Various Combustion and Inert Gas Fusion Techniques. 2018.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5738** Concreto - **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. (ABNT, 2015).
- \_\_\_\_\_. **NBR 5739** Concreto - **Ensaio de compressão de corpos de prova**. (ABNT, 2018).
- \_\_\_\_\_. **NBR 5751** Materiais Pozolânicos - **Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias**. (ABNT, 2015).
- \_\_\_\_\_. **NBR 5752** Materiais Pozolânicos - **Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. (ABNT, 2014).
- \_\_\_\_\_. **NBR 7214** Agregado miúdo - **Areia normal para ensaio de cimento - Especificação**. (ABNT, 2015).
- \_\_\_\_\_. **NBR 8522** Concreto endurecido – **Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 1: Módulos estáticos à compressão**. (ABNT, 2021).
- \_\_\_\_\_. **NBR 8953** Concreto para fins estruturais - **Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. (ABNT, 2015).
- \_\_\_\_\_. **NBR 9833** Concreto fresco - **Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. (ABNT, 2009).
- \_\_\_\_\_. **NBR 9778** Argamassa e concreto endurecidos - **Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. (ABNT, 2009).
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 16889** Concreto - **Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. (ABNT, 2020).
- \_\_\_\_\_. **NBR 16916** Agregado miúdo - **Determinação da densidade e da absorção de água**. (ABNT, 2021).
- \_\_\_\_\_. **NBR 10007** Resíduos sólidos - **Amostragem de resíduos sólidos**. (ABNT, 2004).
- \_\_\_\_\_. **NBR 12653** Materiais Pozolânicos - **Requisitos**. (ABNT, 2015).
- \_\_\_\_\_. **NBR 15900-1** Água para amassamento do concreto – **Parte 1: Requisitos**. (ABNT, 2017).

\_\_\_\_\_. **NBR 16605** Cimento Portland e outros materiais em pó - **Determinação da massa específica**. (ABNT, 2017).

\_\_\_\_\_. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – **Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, Brasil, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 9779**: Argamassas e concretos endurecidos – **Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, Brasil, 2013.

I PRO-AFRICA CONFERENCE: NON-CONVENTIONAL BUILDING MATERIALS BASED ON AGROINDUSTRIAL WASTES, 2010, Pirassununga-SP/BRA. **Argamassas confeccionadas com teores variados de cinza vegetal: avaliação da profundidade de carbonatação pelo método colorimétrico [...]**. [S. l.: s. n.], 2010.

2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENGINEERING TECHNIQUES, 2019, Orlando, Fl. **The Improving of the solid block concrete thermal behavior by using the powder particles of Eucalyptus camaldulensis bark [...]**. [S. l.: s. n.], 2019. v. 518. DOI 10.1088/1757-899X/518/2/022044. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/518/2/022044>. Acesso em: 15 dez. 2021.

ALHARISHAWI, S.; ABD, H; ABASS, S. Employment of Recycled Wood Waste In Lightweight Concrete Production. **Archives of Civil Engineering**, [s. l.], ano 2020, v. 66, ed. 4, p. 675-688, 11 dez. 2020. <Disponível em:<https://journals.pan.pl/dlibra/publication/135244/edition/118233/contente>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

ALMEIDA, A.; SILVA, A. Os impactos das práticas comerciais da empresa de cosméticos natura na comunidade quilombola do Jacarequara em Santa Luzia do Pará-Pa. **Nova Revista Amazônica** , Belém-Pa, v. 6, n. 1, p. 13-29, 1 abr. 2018.

ALMEIDA, H. Óleos Amazônicos conquistam o mundo. **Revista Química e Derivados**. Edição nº 429. (2004). Disponível em: <<https://www.quimica.com.br/oleos-oleos-amazonicos-conquistam-o-mundo/2/>>. Acesso em: 24 fev. 2021.

APRIANTI, E.; SHAFIGH, P.; BAHRI, S.; FARAHANI, J. Supplementary cementitious materials origin from agricultural wastes – A review. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 74, p. 176-187, 15 jan. 2015. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814011507>. Acesso em: 7 jan. 2022.

Areia normal brasileira nr. **Solatest**, 2022. Disponível em: <https://solotest.com.br/produtos/areia-normal-brasileira-nr--30-/3.326.030>

ARIF, E.; CLARK, M. W.; LAKE, N. Materials. Sugar cane bagasse ash from a high-efficiency co-generation boiler as filler in concrete. **Construction and Building**, [S. l.], ano 2017, v. 151, p. 692-703, 1 out. 2017.

BERENGUER, R.; LIMA, N.; VALDÉS, A. C.; MEDEIROS, M. H. F.; LIMA, N. B. D.; DELGADO, J. M. P. Q.; SILVA, F. A. N.; AZEVEDO, A. C.; GUIMARÃES, A. S.; RANGEL, B. Durability of Concrete Structures with Sugar Cane Bagasse Ash. **Advances in Materials Science and Engineering**, [S. l.], v. 2020, p. 1-16, 5 out. 2020. DOI <https://doi.org/10.1155/2020/6907834>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2020/6907834/>. Acesso em: 1 abr. 2022.

BERNAL, R.; TORRES, C.; GARCÍA, N.; ISAZA, C.; NAVARRO, J.; VALLEJO, M.; GALEANO, G.; BALSLEV, H. Palm Management in South America, **The Botanical Review** [s. l.], ano 2011, v. 77, p. 607–646, 1 jul. 2011. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12229-011-9088-6>>. Acesso em: 17 fev. 2021.

Caroços de açaí jogados pelas ruas. **Diário Online**, 2018. Disponível em: <https://dol.com.br/galerias/529496/carocos-de-acai-jogados-pelas-ruas?d=1>

Castanha de caju. **Embrapa**, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/3621001/castanha-de-caju>

CHINDAPRASIRT, P.; RUKZON, S. Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar, **Construction and Building Materials**, [S. l.], ano 2008, v. 22, n. 8, p. 1601-1606, 1 ago. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006180700178X?via%3Dihub>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

Cinza da casca de arroz. **Ecivilnet**, 2012. Disponível em: <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-cinza-de-casca-de-arroz.html>

CORDEIRO, L. N. P.; PAES, I.; SOUZA, P.; AZEVEDO, C. Caracterização da cinza de caroço de açaí residual para adição ao concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre-RS, ano 2019, v. 19, n. 1, p. 45-55, 28 abr. 2021. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212019000100045&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000100045&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 13 jan. 2021.

CP II F – Cimento Portland composto com *filler*. **Cimento.org**, 2010. Disponível em: <https://cimento.org/cp-ii-f-32-cimento-portland-composto-com-filer/>

DAMINELI, B.L. **Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas**. 2013. 265p. Tese (Doutorado). Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DAMTOFT, J.S.; LUKASIK, J.; HERFORT, D.; SORRENTINO, D.; GARTNER E. M., Sustainable development and climate change initiatives, **Cement and Concrete Research**, v.38, 2008, p.115-127

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário**, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6949#resultado>. Acesso em: 18 de novembro de 2021.

ISHOLA, K.; OLAWUYI, O. A.; BELLO, A. A.; ETIM, R. K.; YOHANNA, P.; SANI, J. E. Review of agricultural waste utilization as improvement additives for residual tropical soils. **Arid Zone Journal Of Engineering, Technology & Environment**, [S. l.], ano 19, v. 15, n. 3, p. 733-749, 29 set. 2019. Disponível em: <https://www.azojete.com.ng/index.php/azojete/article/view/56>. Acesso em: 13 abr. 2022.

JAGADESH, P.; RAMACHANDRAMURTHY, A.; MURUGESAN, R. Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. **Construction and Building Materials**, [S. l.], ano 2018, v. 176, p. 608-617, 10 jul. 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.037>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818311036?via%3Diub>. Acesso em: 30 nov. 2021.

KHAN, E. U.; KHUSHNOOD, R. A.; BALOCH, W. L. Spalling sensitivity and mechanical response of an ecofriendly sawdust high strength concrete at elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, [s. l.], ano 2020, v. 258, p. 1-13, 20 out. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119656>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820316615?via%3Dihub>. Acesso em: 11 jan. 2022.

KULEKCI, G.; YILMAZ, A. O.; CULLU, M. Experimental Investigation of Usability of Construction Waste as Aggregate. **Journal of Mining and Environment**, [S. l.], ano 2021, v. 12, n. 1, p. 63-76, 10 jan. 2021. DOI [DOI:10.22044/jme.2021.10309.1976](https://doi.org/10.22044/jme.2021.10309.1976). Disponível em: [http://jme.shahroodut.ac.ir/article\\_1965.html](http://jme.shahroodut.ac.ir/article_1965.html). Acesso em: 19 maio 2021.

MANSILLA, C.; PRADENA, M.; FUENTEALBA, C.; CÉSAR, A. Evaluation of Mechanical Properties of Concrete Reinforced with Eucalyptus globulus Bark Fibres. **Sustainability** [S. l.], ano 2020, v. 12, n. 23, p. 1-19, 1 dez. 2020.

MARRONATO, A.; ALMEIDA, T.; MOTA, J.; OLIVEIRA, C.; ROSADO, C.; VELASCO, M.; BABY, A. Biomedical and Biopharmaceutical Research. **Comparison of sunscreens Containing Titanium Dioxide Alone Or In Association With Cocoa, Murumuru Or Cupuaçu Butters**, [s. l.], v. 13, ed. 2, p. 229-244, 1 dez. 2016. Disponível em: <http://www.alies.pt/pt/arquivo/bbr-vol-13-2-2016.html>. Acesso em: 2 mar. 2021.

MEDEIROS, B. A.; NEVES, G. A.; BARBOSA, N. P.; MENEZES, R. R. E FERREIRA, H. C. Mechanical properties of mortar produced with the replacement of natural sand by scheelite residue. **Cerâmica**, v. 65 (375), p. 443-451. Epub August 15, 2019. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/0366-69132019653752571>. Acesso em: 7 maio. 2021.

Murumuru. **Todafruta**, 2016. Disponível em: <https://www.todafruta.com.br/murumuru/>

NIYASOM, S.; TANGBORIBOON, N. Development of biomaterial fillers using eggshells, water hyacinth fibers, and banana fibers for green concrete construction. **Construction and Building Materials**, [S. l.], ano 2021, v. 283, p. 1-13, 2 mar. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122627>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821003871?via%3Di> hub. Acesso em: 14 abr. 2021.

NUNES, I. H. S.; VANDERLEI, R. D.; SECCHI, M.; ABE, M. A. P.; Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. **Revista Tecnológica**, [S. l.], ano 1, v. 17, p. 39 - 48, 6 jan. 2010. DOI <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v17i1.8728>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/277170409\\_Estudo\\_das\\_caracteristicas\\_fisicas\\_e\\_quimicas\\_da\\_cinza\\_do\\_bagaco\\_de\\_cana-de-acucar\\_para\\_uso\\_na\\_construcao](https://www.researchgate.net/publication/277170409_Estudo_das_caracteristicas_fisicas_e_quimicas_da_cinza_do_bagaco_de_cana-de-acucar_para_uso_na_construcao). Acesso em: 6 out. 2021.

OLIVEIRA, C. F.; ABREU, L. F.; DAMASCENO, F. S.; BATISTA, R. S. M.; PARACAMPO, N.E.N.P.; OLIVEIRA, M. S. P. AMÊNDOA DE TUCUMÃ. *In*: Caracterização Físico-Química Da Amêndoa De Tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.). [S. l.]: Embrapa, 2008.

OLIVEIRA, S. **Caracterização físico – química e desenvolvimento de métodos analíticos para a manteiga de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*)**. Orientador: Dr. José Pereira de Moura Neto. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, 2018.

OLIVEIRA, T.; NASCIMENTO, K.; JUNIOR, J.; SILVA, L.; JACINTO, M.; SANTOS, R.; RIBEIRO, D.; ROCHA, S. Aproveitamento das cinzas de caroço de açaí na produção de concreto sustentável analisando sua durabilidade., **Brazilian Journal of Development** [S. l.], ano 2020, v. 6, n. 5, p. 30749-30756, 25 maio 2020. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/10599>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

OYEBISI, S.; IGBA, T.; RAHEEM, A.; OLUTOGE, F. Predicting the splitting tensile strength of concrete incorporating anacardium occidentale nut shell ash using reactivity index concepts and mix design proportions. **Case Studies in Construction Materials**, [S. l.], ano 2020, v. 13, p. 1-17, 1 dez. 2020.

PACHECO-TORGAL, F; JALALI, S.; LABRINCHA, J.; JOHN, V.M. **Eco-Efficient Concrete**: A volume in Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. [S. l.: s. n.], 2013. ISBN 978-0-85709-424-7.

PETROSKI, H. **To Engineer is Human: The Role of Failure in Successful Design**. Estados Unidos: Vintage Books USA, 1992. 272 p. ISBN 978-0679734161.

QUEIROZ, J. A. L. de; MACHADO, S. do A.; HOSOKAWA, R. T.; SILVA, I. C. da. **Estrutura e dinâmica de floresta de várzea no estuário amazônico no Estado do Amapá**. Floresta, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 339-352, set./dez. 2007.

QURESHI, L.; ALI, B.; ALI, A. Combined effects of supplementary cementitious materials (sílica fume, GGBS, fly ash and rice husk ash) and steel fiber on the



hardened properties of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, [S. l.], ano 2020, v. 263, p. 1-13, 10 dez. 2020.

RAMASAMY, V. Compressive strength and durability properties of Rice Husk Ash concrete. **KSCE Journal of Civil Engineering**, [S. l.], ano 2012, v. 16, p. 93-102, 4 abr. 2011. DOI <https://doi.org/10.1007/s12205-012-0779-2>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/257774208\\_Compressive\\_strength\\_and\\_durability\\_properties\\_of\\_Rice\\_Husk\\_Ash\\_concrete](https://www.researchgate.net/publication/257774208_Compressive_strength_and_durability_properties_of_Rice_Husk_Ash_concrete). Acesso em: 19 jan. 2022.

ROCHA, C.; POTIGUARA, R. Morfometria das fibras das folhas de *Astrocaryum murumuru* var. *murumuru* Mart. (Arecaceae). **Acta Amazonica**, [s. l.], ano 2007, v. 37, ed. 4, p. 511-516, 23 nov. 2007.

RODGERS, L. **Climate change: The massive CO2 emitter you may not know about**. [S. l.]: BBC, 17 dez. 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/science-environment-46455844>. Acesso em: 1 jun. 2021.

SIDDIQUE, R.; SINGH, M.; MEHTA, S.; BELARBI, R. Utilization of treated saw dust in concrete as partial replacement of natural sand. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], ano 2020, v. 261, p. 1-10, 10 jul. 2020.

Solução para resíduo florestal. **Siebert**, 2017. Disponível em: <https://www.siebert.com.br/solucoes/tratamento-de-residuos/residuo-florestal-e-casca-de-eucalipto/>

SOUZA, G. T. **Dosagem experimental de concreto massa com adição de sílica ativa aplicado em barragem**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará: 113 p.; Tucuruí, Pará, Brasil; 2017.

SOUSA, D. L. **Avaliação da Resistência ao Cisalhamento em Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Macrofibras Sintéticas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará: 35 p.; Tucuruí, Pará, Brasil; 2019.

TASHIMA, M. M.; SILVA, C. A. R. L.; AKASAKI, J. L. Concreto com adição de cinza de casca de arroz (CCA) obtida através de um processo de combustão não controlada. In: **Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural**, 31, 2004, Mendoza, Argentina. Anais... Mendoza, Argentina: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, 2004.

TEIXEIRA, L. **Produção de biodiesel da gordura de murumuru (*Astrocaryum murumuru*) via catálise heterogênea**. Orientador: Dr. Luiz Ferreira de França. 2010. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Pará, Belém-Pa, 2010.

VASKE, N. R. (2012). Estudo preliminar da viabilidade do aproveitamento da cinza proveniente de filtro multiciclone pela combustão de lenha de eucalipto em caldeira fumotubular como adição ao concreto. **Tese de doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. 325 p. Porto Alegre-RS.

VARHEN, C., DILONARDO, I., DE OLIVEIRA ROMANO, R. C., PILEGGI, R. G., & DE FIGUEIREDO, A. D. (2016). Effect of the substitution of cement by limestone filler on the rheological behaviour and shrinkage of microconcretes. **Construction and Building Materials**, 125, 375–386.

ZAREEI, S.; AMERI, F.; BAHRAMI, N.; DOROSTKAR, F. Experimental Evaluation of Eco-friendly Light Weight Concrete with Optimal Level of Rice Husk Ash Replacement. **Civil Engineering Journal**, [S. l.], ano 2017, v. 3, p. 972-986, 10 out. 2017. DOI 10.28991/cej-030930. Disponível em: <https://civilejournal.org/index.php/cej/article/view/462>. Acesso em: 05 jan. 2022.

ZERBINO, R.; ISAIA, G.C; GIACCIO, G. Concrete incorporating rice-husk ash without processing. **Construction and Building Materials**, [S. l.], ano 2011, v. 25, p. 371-378, 10 jan. 2021. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2010.06.016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/229364123\\_Concrete\\_incorporating\\_rice-husk\\_ash\\_without\\_processing](https://www.researchgate.net/publication/229364123_Concrete_incorporating_rice-husk_ash_without_processing). Acesso em: 12 maio 2021.