

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

LUANA VASCONCELOS PESSOA

**ESTUDO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE COM ADIÇÃO DE CINZAS
DE SEMENTES DO AÇAÍ: ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E
MECÂNICAS**

MANAUS-AM

2025

LUANA VASCONCELOS PESSOA

**ESTUDO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE COM ADIÇÃO DE CINZAS
DE SEMENTES DO AÇAÍ: ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E
MECÂNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadoras: Prof. Dr. Raimundo Pereira Vasconcelos

MANAUS-AM

2025

LUANA VASCONCELOS PESSOA

**ESTUDO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE COM ADIÇÃO DE CINZAS
DE SEMENTES DO AÇAÍ: ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E
MECÂNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 03/12/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Pereira Vasconcelos - UFAM
Orientador

Profa. Dra. Ivana Helena De La Roque Soares - UFAM
Avaliador

Prof. Dr. Igor Roberto Cabral Oliveira - UFAM
Avaliador

Dedico este trabalho às minhas mães Maria do Perpétuo e Ivete Coelho, pela educação que me deram desde meu nascimento. Ao meu padrasto, Roberto Guedes, por todo apoio ao longo da minha trajetória na faculdade.

AGRADECIMENTOS

Na vida, temos muitas incertezas sobre o futuro que nos espera — e comigo não foi diferente. Apesar de tudo, sempre me mantive focada no meu objetivo: tornar-me Engenheira Civil. Não poderia finalizar mais essa etapa sem expressar minha sincera gratidão a algumas pessoas que foram tão importantes ao longo dessa jornada.

Agradeço primeiramente a Deus, por conduzir meus passos até aqui, e a Nossa Senhora, por interceder e iluminar meu caminho nos momentos de dúvida e dificuldade. Às minhas mães, Maria do Perpétuo Socorro e Ivete Coelho, por todo amor, força e inspiração que me fizeram chegar até este momento.

Ao meu padrasto, Roberto Guedes, por todo o apoio incondicional durante meus estudos, e aos meus avós, Tarcila Coelho e Hugo Marinho, cuja ausência é sentida todos os dias, mas cuja lembrança e exemplo me acompanham com carinho e orgulho. Tenho certeza de que, onde estiverem, estão felizes com a realização deste sonho.

Aos meus companheiros de quatro patas – Marley, Favelado, Maradona, Peludinho e minha gatinha Ritinha – por todo o afeto silencioso que confortou meus dias. Aos meus irmãos Lozana, Losiane, Loran, Alef, Tainah, João Batista e João Marcelo, por cada palavra de incentivo e por estarem comigo em todas as fases da vida. Aos meus sobrinhos Jamile, Maria Eduarda, Hugo, Maria Laura, Luane Tarcila, Leonardo, João Pedro e Pedro, pelo privilégio de acompanhar o crescimento de cada um.

Ao Elias Ricardo Cruz, que esteve ao meu lado em grande parte da graduação, e esteve comigo no dia da minha matrícula no auditório Eulálio Chaves. Obrigada por cada gesto de apoio, direto ou indireto. Sempre serei grata a ti.

Aos meus amigos do ensino médio, Diego Fernandes e Anne Albuquerque, que seguem comigo desde aquela fase difícil da vida, obrigada por nunca soltarem minha mão. Aos amigos da faculdade — e de antes dela — Vinicius Lima, Iliane Moraes, Erika Neves, Ana Flávia, Daniela Mota, Larissa Nayara, Cleide Caroline e Raione Souza, obrigada por tornarem essa caminhada mais leve. Pelos dias no CDC e na sala 7, pelos estudos, pelas conversas, pelos abraços: meu amor e gratidão a cada um de vocês.

Aos colegas de curso Breno Souza, Noame Silva e Adalberto Júnior, pela parceria nos trabalhos e provas, e ao Lucas Lobo, que mesmo chegando mais no final da graduação, se tornou um grande companheiro de jornada. E aos que conheci especialmente durante o TCC — Pedro Henrique, Yuri Neves, Marco Baía, Pedro Tavares, Iran de Paula, Katriane Fernandes,

Romilson Oliveira e Eliane Assunção — obrigada pelas conversas na cantina da Neide, pelas fotos, pelas saídas, e por tornarem essa fase final tão leve e especial.

Um agradecimento ainda mais especial ao meu namorado, Yuri de Oliveira Neves, que foi além de um colega de curso. Seu apoio nos momentos mais difíceis, sua presença nos ensaios de laboratório e seu carinho constante fizeram toda a diferença na conclusão dessa etapa tão significativa da minha vida.

Sou profundamente grata aos mestres que me ensinaram ao longo da graduação. À Professora Içamira Costa Nogueira, do Departamento de Física, por tornar as aulas de Física 2 mais leves com sua didática e paciência. Sinto-me imensamente privilegiada por ter sido sua aluna. Ao Professor João de Almeida Melo Filho, que foi uma inspiração desde a primeira palestra que assisti na Semana de Engenharia de Materiais, ainda antes de tê-lo como professor. Sua colaboração foi fundamental na minha decisão de escolher a área de Materiais de Construção para o TCC, sendo um grande apoio no estágio supervisionado e durante os ensaios no LEM.

Agradeço à Professora Ivana de La Roque, que foi minha orientadora no início do TCC, pela oportunidade e apoio durante os ensaios. Ao Professor Raimundo Pereira de Vasconcelos, por estar ao meu lado na reta final e me orientar na conclusão desse trabalho tão importante.

À Professora Marivone de Oliveira Souza, pela disponibilidade, pelo apoio constante e por sua atenção durante toda essa jornada — em especial nas visitas à UEA. Que a senhora continue sendo esse exemplo de dedicação e acolhimento.

E ao seu Nilson Braz Videl, por sua presença incansável durante os ensaios no LEM. Sua humildade e disposição em ensinar são inspirações para todos nós, alunos em formação. Sua contribuição foi essencial para a realização deste trabalho.

A cada pessoa citada — e também às que caminharam comigo indiretamente — minha mais sincera gratidão.

*“Eu sei que às vezes dá vontade de parar
Mas, se você desistir, quem vai lutar por você?
Tanta luta pra chegar até aqui
Tanta história, pra agora desistir?
Caso aconteça, deixe o cansaço pra trás
E nunca se esqueça: Por aqui não há tarde demais”
(Rosa de Saron – Mire as Estrelas)*

RESUMO

As argamassas autonivelantes são produtos que se destacam no mercado por otimizar a produção, e sua maior rapidez de aplicação é alcançada devido à sua alta fluidez e capacidade de nivelamento sem segregação. Este trabalho aborda argamassas autonivelantes formuladas com cimento CP II-Z 32 e adição da cinza do caroço do açaí considerando a substituição de 0%, 5% e 10% do cimento pela cinza e avalia o efeito desses materiais nas características físico-mecânicas. Para avaliação das argamassas foi realizado ensaios de cone de kantro, para verificar o espalhamento das argamassas, granulometria, absorção de água por capilaridade e resistência à compressão.

Os resultados indicam que a substituição da cinza do caroço de açaí atende as exigências normativas em termos de propriedades mecânicas, podem ser alcançados com o traço adequado. Ao utilizar a cinza de caroço de açaí com substituição de 5% e 10% apresentaram a resistência necessária como aplicação direcionada para contrapisos. Além disso, percebe-se que à medida que cresceu o teor de substituição aumentou-se a absorção e conseqüentemente o coeficiente de capilaridade, sem impactar em si a resistência.

Palavras-chave: Argamassa autonivelante, cinza do caroço do açaí, CP II Z - 32, contrapiso.

ABSTRACT

Self-leveling mortars are products that stand out in the market for optimizing production, and their faster application is achieved due to their high fluidity and leveling capacity without segregation. This study focuses on self-leveling mortars formulated with CP II-Z 32 cement and the addition of açai pit ash, considering the replacement of 0%, 5%, and 10% of the cement with the ash, and evaluates the effect of these materials on physical and mechanical properties. The mortars were evaluated through tests such as the Kantro cone for spreadability, particle size distribution, water absorption by capillarity, and compressive strength.

The results indicate that replacing cement with açai kernel ash meets regulatory requirements in terms of mechanical properties, which can be achieved with an appropriate mix design. Using 5% and 10% açai pit ash replacement provided the necessary strength for applications such as subflooring. Moreover, it was observed that as the replacement level increased, water absorption and, consequently, the capillarity coefficient also increased, without significantly affecting compressive strength.

Keywords: Self-leveling mortar, açai seed ash, CP II Z - 32, subfloor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação de Fluidez: Argamassa Convencional (a).....	20
Figura 3 - Tipos de Granulometria dos Agregados.....	24
Figura 4 - Processo da obtenção da polpa do açaí: Palmeira do açaizeiro (a); cacho contendo o fruto (b); os frutos do açaí no pedúnculo (c); a fruta (d); o caroço do açaí após processamento (e) e; a polpa do açaí (f).....	27
Figura 5 - Ação das moléculas do aditivo superplastificante SP nas partículas do cimento. ...	28
Figura 6 - Foto do cimento Portland CP II Z - 32.	29
Figura 7 - Foto da areia de rio.	30
Figura 8 - Foto do processo de lavagem do caroço do açaí (a) e de secagem ao ar livre temperatura 30 +/- 3 °C (b).	31
Figura 9 - Foto do Moinho de facas (a) e os caroços moídos (b).....	31
Figura 10 - Processo de queima dos caroços: Amostra do caroço do açaí triturado (a); forno mufla T ambiente →T final 680° C (b) e c) caroço retirado da mufla após 24h (c).	32
Figura 11 - Cinzas do caroço do açaí após a moagem.....	32
Figura 12 - Foto da reparação da amostra (a); metalização das amostras com camadas de ouro no sputter coater (b) e análise de varredura das amostras (c).....	33
Figura 13 - Sequência do procedimento de mistura.	35
Figura 14 - Cone de Kantro (medidas em mm).....	35
Figura 15 - Ensaio cone de Kantro; a) cone de kantro cheio b) retirada do cone e c) medição do diâmetro.....	36
Figura 16 - Condições de uniformidade visual da borda da argamassa escoada.....	36
Figura 17 . Identificação visual das bordas das argamassas quanto a segregação.	37
Figura 18 - Foto dos corpos de prova aos 28 dias: CPR (a); CP1 (b); CP2 (c), pesados na balança para ensaio de capilaridade:	37
Figura 19 - Copo de Provas capeados para ensaios de resistências à compressão a idade de 7 dias: CPR de referência sem adição de cinza (a); CP1 com adição de 5% de cinza (b); CP2 com adição de 10% de cinza (c).....	39
Figura 20 - MEV corpo de prova 0% de cinza antes do rompimento	41
Figura 21 – MEV corpo de prova 0% de cinza após o rompimento.	42
Figura 22 - MEV corpo de prova 5% de cinza.....	42
Figura 23 - MEV corpo de prova com adição de 10% de cinza.....	42
Figura 24 - Ensaio de resistência à compressão a idade de 7 dias (a); Corpo de prova rompido e partido ao meio para ver o seu interior (b).	48

Figura 25 - Ensaio de resistência à compressão a idade de 28 dias.	49
Figura 26 - Granulometria a laser areia de rio.....	59
Figura 27 - Granulometria a laser das cinzas do caroço de açaí.	59
Figura 28 - FRX do Cimento CII-Z 32.	60
Figura 29 - FRX Cinza do Caroço de Açaí.....	60

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Propriedades para Contrapiso de Argamassa Autonivelante.	21
Tabela 2 - Especificações Técnicas CP II- 32-Z.	23
Tabela 3 - Dados do superplastificante policarboxilatos Mc – PowerFlow 1180.....	30
Tabela 4 . Análise química do Cimento Potland CII Z 32 e Cinza do Carvão do Açai.	40
Tabela 5 - Dosagens das argamassas autonivelantes ensaiadas.	43
Tabela 6 - Resultado dos ensaios sem adição de cinza de açai variando superplastificante....	44
Tabela 7 - Dosagens das argamassas autonivelantes com adição de 2% de cinza.....	44
Tabela 8 - Resultado dos ensaios sem adição de cinza de açai variando superplastificante....	45
Tabela 9 - Dosagens das argamassas autonivelantes com adição de 5% e 10% de cinza.....	46
Tabela 10 - Resultado dos ensaios com adição de 5% e 10% de cinza de açai variando superplastificante.	46
Tabela 11 - Massas obtidas do ensaio de capilaridade.....	47
Tabela 12 - Resultados de absorção capilar	47
Tabela 13 - Dados do ensaio de Resistência à Compressão.	49
Tabela 14 - Ensaio de Granulometria da areia.	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diâmetro médio da areia, cinza e do cimento.	40
Gráfico 2 - Absorção Capilar.	47
Gráfico 3 - Média do ensaio de Resistência à compressão.	50
Gráfico 4 - Curva Granulométrica da areia.	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA – Argamassa autonivelante

a/c – Relação água/cimento

AMV – aditivo modificar de viscosidade

CDC – Centro de Convivência da UFAM

CO₂ – Dióxido de Carbono

LABMAT – Laboratório de Materiais

LaMAC – Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos

LEM – Laboratório de Ensaio de Materiais

SP – Superplastificantes

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

FRX – Espectrometria de fluorescência de raios-X

CCA – Cinzas do caroço do açaí

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1. GERAL	19
2.2. ESPECÍFICOS.....	19
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1. ARGAMASSA AUTONIVELANTE.....	19
3.2. CAMADAS DE CONTRAPISO	21
3.3. CIMENTO PORTLAND	22
3.4. AGREGADOS.....	24
3.5. ÁGUA.....	25
3.6. ADIÇÕES MINERAIS	26
3.6.1. Cinza do caroço do açaí.....	26
3.7. ADITIVOS QUÍMICOS	27
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1. MATERIAIS	29
4.1.1. Cimento Portland.....	29
4.1.2. Areia	29
4.1.3. Superplastificante.....	30
4.1.4. Água	30
4.1.5. Caroço do Açaí.....	30
4.2. MÉTODOS	31
4.2.1. Preparação e caracterização do caroço do açaí	31
4.2.2. Ensaio de Granulometria a laser	32
4.2.3. Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX)	33
4.2.4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	33
4.2.5. Dosagem da argamassa autonivelante.....	34
4.2.6. Procedimento de Mistura da Argamassa	34
4.2.7. Determinação do teor de superplastificante.	35
4.2.8. Absorção água por capilaridade.....	37
4.2.9. Ensaio de Resistência à compressão.....	38

5 RESULTADOS E DISCURSÕES	39
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	39
5.1.1. <i>Caracterização Física</i>	39
5.1.2. <i>Ensaio de granulometria a laser</i>	39
5.1.3. <i>Espectrometria de fluorescência de raio -X (FRX)</i>	40
5.1.4. <i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	41
5.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS AUTONIVELANTES	42
5.2.1. <i>Determinação da dosagem da argamassa</i>	42
5.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DAS ARGAMASSAS AUTONIVELANTES.....	46
5.3.1. <i>Absorção por Capilaridade</i>	46
5.3.2. <i>Ensaio de resistência á compressão</i>	48
6 CONCLUSÕES	51
7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	52
8 REFERÊNCIA.....	53
APÊNDICE A – ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA AREIA	57
APÊNDICE B – GRANULOMETRIA A LASER	59
APÊNDICE C – FRX	60

1 INTRODUÇÃO

Devido à necessidade de racionalizar os recursos naturais existentes e atender a demanda de soluções construtivas cada vez mais rápidas, pesquisas estão sendo desenvolvidas utilizando resíduos como substituto de materiais convencionais em argamassas autonivelantes para contrapiso. O material pode ser bombeado, e por se autonivelar pela ação do peso próprio e da gravidade, é capaz de otimizar o tempo de trabalho e reduzir a mão de obra durante execução do processo construtivo. Por isso, a execução dessa etapa no canteiro de obra se torna mais rápida em comparação com o sistema tradicional (MENDES, 2019).

O uso de materiais alternativos em argamassas autonivelantes, têm ganhado destaque, especialmente aqueles que buscam integrar resíduos naturais e promover práticas mais sustentáveis na construção civil. A cinza de caroço de açaí, um subproduto amplamente disponível na região amazônica, vem sendo estudada como aditivo em argamassas autonivelantes devido ao seu potencial para substituir parcialmente o cimento, reduzindo assim o impacto ambiental da construção. De acordo com Santos e Almeida (2022), a cinza de caroço de açaí apresenta propriedades pozolânicas que contribuem para melhorar as características de resistência e durabilidade da argamassa, especialmente em misturas para nivelamento de superfícies.

Os estudos sobre a incorporação de cinza de caroço de açaí em argamassas autonivelantes apontam para a viabilidade técnica do material e destacam ganhos em sustentabilidade sem prejuízo ao desempenho. Souza e Castro (2021) demonstraram que, ao substituir até 20% do cimento por cinza de caroço de açaí, é possível observar um aumento na resistência à compressão, além de uma redução no coeficiente de permeabilidade, o que contribui para uma maior durabilidade da camada autonivelante. Esses ganhos são atribuídos à atividade pozolânica da cinza, que, ao reagir com os produtos de hidratação do cimento, gera compostos mais estáveis e densos, conferindo maior resistência ao desgaste e à ação de agentes agressivos.

A argamassa autonivelante com cinza de caroço de açaí também apresenta vantagens econômicas e operacionais, além de ser uma alternativa ecológica viável para regiões produtoras do açaí. Segundo Oliveira e Martins (2023), o uso desse resíduo agroindustrial contribui para reduzir o consumo de cimento, que é um dos maiores responsáveis pelas emissões de CO₂ na construção civil. Além disso, o reaproveitamento do caroço do açaí por meio das suas cinzas, contribui para minimizar o impacto ambiental associado ao descarte desses resíduos. A utilização desse subproduto também reduz

custos, especialmente em obras realizadas na região amazônica, onde o açaí é abundante e o transporte de materiais é um fator significativo no custo da construção.

Do ponto de vista técnico, a adição de cinza de caroço de açaí proporciona à argamassa autonivelante uma fluidez adequada, mantendo a capacidade de se espalhar e nivelar por gravidade sem comprometer a resistência mecânica. Em testes laboratoriais conduzidos por Lima e Barbosa (2022), observou-se que a argamassa autonivelante com cinza de caroço de açaí preserva a trabalhabilidade e apresenta retração reduzida, características essenciais para aplicações em pisos e substratos de alta exigência. Esse comportamento é crucial para que o produto final ofereça uma superfície homogênea e resistente, adequada para suportar cargas e minimizar a necessidade de reparos ao longo do tempo.

Em resumo, a utilização de cinza de caroço de açaí em argamassas autonivelantes não só promove benefícios ambientais e econômicos, como também oferece um desempenho técnico satisfatório. As pesquisas com o uso das cinzas do caroço de açaí indicam que o uso dessa biomassa como substituição parcial do cimento é uma solução promissora para a construção civil sustentável, promovendo uma cadeia produtiva mais ecológica e contribuindo para a economia circular (MENDES, 2019). Dessa forma, a argamassa autonivelante com cinza de caroço de açaí representa uma alternativa inovadora e eficiente, que alia sustentabilidade a um alto padrão de qualidade e durabilidade.

2 OBJETIVOS

2.1. GERAL

Objetivo geral deste trabalho é estudar a viabilidade técnica da substituição do cimento *Portland* por cinzas do caroço de açaí em argamassas autonivelantes.

2.2. ESPECÍFICOS

- Estudar as características físicas das cinzas de açaí como substituição parcial ao cimento;
- Produzir argamassa autonivelante com adição de cinza do caroço do açaí;
- Realizar ensaios reológicos, mecânicos, físicos e morfológicos nas argamassas autonivelantes;
- Discutir a viabilidade técnica das argamassas produzidas com a cinza do caroço do açaí como autonivelante e sua aplicação na construção.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. ARGAMASSA AUTONIVELANTE

A argamassa autonivelante (AA) é uma argamassa cimentícia com capacidade de nivelar superfícies irregulares, formando uma base lisa e uniforme. Martins (2009) descreve algumas das principais características de uma AA que são: a alta fluidez, permitindo que a argamassa se espalhe de maneira uniforme por gravidade, sem necessidade de qualquer energia de compactação; além de moderada viscosidade e coesão entre as partículas.

A composição da argamassa autonivelante inclui, além do cimento, agregados (com granulometria fina), água e aditivos químicos, os quais promovem uma distribuição uniforme e facilitam o processo de aplicação. Esses aditivos são essenciais para reduzir a porosidade e melhorar a durabilidade da argamassa, tornando-se um material ideal para aplicações em construções de grandes supermercados, shoppings, estacionamentos, oficinas de fábrica e armazéns e outras edificações de alto tráfego (DONG, FANG E HU, 2020).

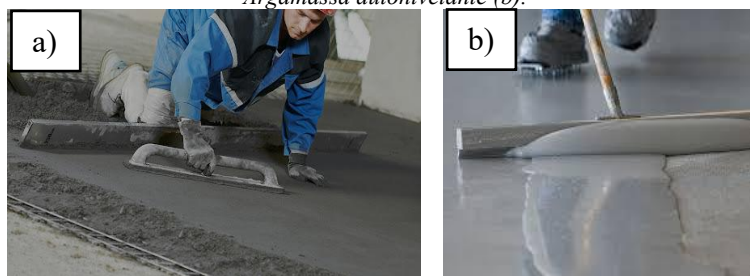
De acordo com Martins (2009), a concentração de sólidos influencia diretamente o desempenho reológico da argamassa autonivelante, por ser uma mistura granular suspensa em água. Essa aglomeração das partículas do cimento ocorre antes da mistura com a água, pelo fato de que o cimento já recebe influências da própria umidade do ar,

sendo que a adição de água de amassamento e outros aglomerantes tendem a formação de uma camada líquida na superfície das partículas. Com o acréscimo gradativo de água na mistura, começa a aumentar o número de partículas envolvidas por essa camada e somente quando o teor de água for suficiente para recobrir a superfície das partículas e preencher os espaços vazios, o teor crítico de água é atingido (MARTINS, 2009).

Martins (2009) ressalta que a fluidez apresentada pela AA é gerada pelo elevado afastamento entre as partículas maiores, reduzindo o contato entre elas, sendo que esta disposição é possibilitada pelo alto teor de finos usados na composição para conseguir esse efeito. Contudo, o elevado teor de finos e alta fluidez podem ocasionar alguns problemas práticos como a dificuldade de controlar o tempo de pega, predisposição a segregação, necessidade de controle de retração por secagem e a dificuldade da saída da água.

A Figura 1, mostra a comparação da fluidez da argamassa convencional (a) em relação a autonivelante (b). Nota-se que, a argamassa autonivelante proporciona melhor eficiência e rapidez.

*Figura 1 - Comparação de Fluidez: Argamassa Convencional (a).
Argamassa autonivelante (b).*



Fonte: Massareti (2017) (a); Marcondes Cesra (2021) (b).

Para Mendes (2019) o contrapiso autonivelante apresenta algumas vantagens em relação ao sistema convencional:

- Não há necessidade em utilizar o transporte vertical da obra em função da tecnologia construtiva adotada, pois o processo é feito por meio de bombeamento. No caso do contrapiso convencional a obra teria que dispor de transporte vertical e horizontal até o local;
- Possibilidade em minimizar estoque de agregados no canteiro de obras;
- Ganhos de produtividade de mão de obra, pois a produção é mantida com uma equipe reduzida;
- Ganho no planejamento físico da obra, reduzindo a parcela de tempo para a etapa deste serviço e podendo acelerar as atividades sucessoras;

- Solução econômica e fácil de usar;
- Possui baixa retração; é durável e compatível com a maioria das argamassas colantes do mercado.

Por fim, conforme Melo (2015) a contribuição com sustentabilidade é um fator que contribui para escolha das argamassas autonivelantes. Empresas que trabalham com AA buscam utilizar resíduos industriais como adições, de forma a melhorar as suas propriedades e reduzir o consumo de cimento. Alguns exemplos de adições podem ser: a sílica ativa, cinza volante, escória de forno, cinza da casca de arroz, são algumas das alternativas inovadoras que vêm sendo pesquisadas como opção mais sustentável nas construções civis mais modernas sem comprometer o desempenho técnico necessário AA.

3.2. CAMADAS DE CONTRAPISO

Segundo Botelho et al. (2022) o contrapiso é um elemento essencial na construção civil, sendo utilizado para nivelar a base, geralmente uma laje, e receber o revestimento final do piso. Diferente de outras argamassas, o contrapiso possui uma consistência mais seca, do tipo “farofa”, o que exige compactação durante a aplicação. Isso contribui para uma superfície uniforme e resistente, evitando que o revestimento superior sofra danos.

Conforme Penha *et al.* (2018) a argamassa autonivelante, por possuir as características específicas, garante o melhor nivelamento ao contrapiso acabado, oferecendo maiores vantagens com a adoção deste método construtivo em relação ao contrapiso convencional com argamassa seca, pois quanto melhor o nivelamento menor será o consumo da argamassa de assentamento do piso.

A tabela 1 mostra as seguintes propriedades para contrapiso autonivelante industrial:

Tabela 1 - Propriedades para Contrapiso de Argamassa Autonivelante.

Propriedades	AA	AC01	AC02
Resistência ao arrancamento (MPa)	1,0	≥ 0,3	0,3 a 05
Resistência à flexão aos 28 dias (MPa)	7,5	≥ 3,0	3 a 5
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	29,0	≥ 15,0	15 a 20
Resistência à abrasão (RWA)	5 a 10	AQD	M a E
Tempo em aberto da mistura (20°C) (min)	15 a 20	NA	30 a 40
Legenda:			
AA: Argamassa autonivelante EN 13.892. Fonte: (PENHA et al., 2018).			
AC01: Argamassa convencional para contrapiso ABNT NBR 15.575.			

AC02: Outras argamassas convencionais.
AQD: Avaliação qualitativa de durabilidade.
NA: Não especificado pela norma.
M: Nível médio a elevado.
E: Nível elevado.

Fonte: Adaptado de Penha et al. (2018).

A Norma Europeia EM 13892 especifica métodos de ensaios para avaliar as propriedades de materiais usados em pisos autonivelantes, incluindo argamassas de contrapiso. Entre os principais ensaios definidos pela norma estão a resistência ao arrancamento, à flexão, à compressão e à abrasão, além do tempo de trabalho da mistura.

No Brasil, as normas que regulamentam argamassas para contrapiso são:

ABNT NBR 13281 - "Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos" - Essa norma define os requisitos para argamassas de assentamento e revestimento, mas também é utilizada como referência para alguns requisitos de argamassas autonivelantes usadas em contrapiso.

ABNT NBR 14081 - "Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas" - Embora seja focada em argamassas colantes, oferece parâmetros técnicos úteis.

ABNT NBR 13753 e ABNT NBR 13754 - Normas para pisos internos e externos, abordando aspectos técnicos de resistência mecânica e aderência.

ABNT NBR 15575 - "Edificações Habitacionais – Desempenho" - A NBR 15575 estabelece requisitos mínimos de desempenho, incluindo resistências e propriedades de contrapiso em termos de absorção de impacto, compressão e flexão.

3.3. CIMENTO PORTLAND

A industrialização do cimento é um processo fundamentalmente caracterizado por altas emissões de dióxido de carbono (CO₂), sendo que mais de 58% de suas emissões decorrem do processo de calcinação de calcário (YUSHU, 2024). A produção do cimento Portland CII-Z-32 possui impactos ambientais significativos durante a produção de clínquer, principal componente do cimento, envolvendo a queima de calcário e argila em altas temperaturas, o que gera grandes quantidades de CO₂.

No entanto, a substituição do clínquer em teores de 6 a 14% de pozolana, estabelecido na NBR 11578 (1991), no CII-Z-32 resulta em um cimento mais

sustentável em comparação a tipos sem aditivos. Essa composição permite uma menor pegada de carbono, pois segundo Martins (2019) a substituição parcial do clínquer contribui para uma redução de até 30% nas emissões de CO₂, promovendo um uso mais consciente de recursos naturais.

A tabela 2 mostra as especificações técnicas do cimento CP II-32-Z. O cimento Portland CII Z-32 conforme Mendes *et al.* (2020) é um composto que possui como sua principal adição pozolana, que varia entre 6% a 14% de sua composição, e pode conter até 10% de material carbonático, como o filer, suas propriedades atendem desde estruturas de concreto até argamassas de revestimento e assentamento. Conforme Pereira (2021) essa adição confere ao cimento uma maior durabilidade e menor permeabilidade, sendo amplamente utilizado em obras que exigem resistência a condições adversas, como a presença de água e ambientes marinhos, subterrâneos e industriais.

Tabela 2 - Especificações Técnicas CP II- 32-Z.

Propriedades	Especificação	Norma ABNT
Composição	Clíquer, gesso, pozolana (6% a 14%), e até 10% de filer carbonático.	NBR 11.578
Classe de Resistência	32 MPa	NBR 5732
RC 1 dia	8-12 MPa	NBR 5739
RC 3 dias	15-20 MPa	NBR 5739
RC 7 dias	22-28 MPa	NBR 5739
RC 28 dias	≥ 32MPa	NBR 5739
TMP	≤ 40 (µm)	(MENDES, 2019)
Finura de Blaine	3000 a 4000 cm ² /g	NBR 11.578
Finura de Blaine	≥ 2600 cm ² /g	NBR NM 76
Densidade aparente	2,90 g/cm ³ a 3,15 g/cm ³	
Tempo de pega inicial	≥ 60 minutos	NBR NM 65
Tempo de pega final	≤ 600 minutos	NBR NM 65
Calor de hidratação	Moderado	
Legenda:		
RC: Resistência à compressão		
TMP: Tamanho médio das partículas		

Fonte: A autora (2025).

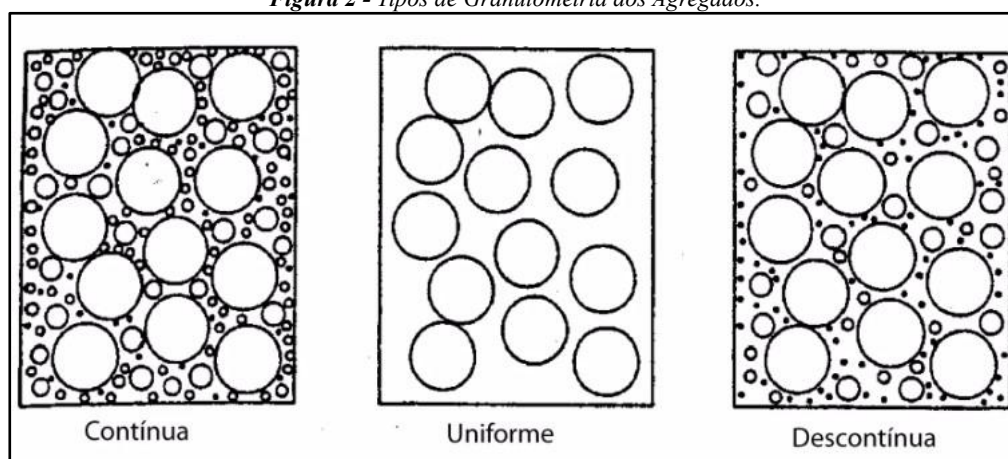
Para Mendes *et al.* (2020) o CII Z-32 possui partículas com tamanho menor que 40 micrômetros (μm), o que garante uma boa trabalhabilidade e aderência na mistura de argamassas e concreto. Esse tamanho de partícula mais fina contribui para uma maior área de contato durante a hidratação, promovendo um desenvolvimento uniforme da resistência mecânica e reduzindo o calor de hidratação, aspecto relevante para concretos de grandes volumes.

3.4. AGREGADOS

A granulometria dos agregados é um fator determinante na qualidade final da argamassa autonivelante, Melo (2015) recomenda com base em diversos autores que os agregados miúdos sejam retirados de fontes naturais por apresentarem formas mais lisas e arredadas que os agregados industriais, em virtude deste último terem uma granulometria mais descontínua, podendo haver a necessidade de um volume maior de matriz cimentícia.

A Figura 3 mostra as variedades de tipos de granulometria dos agregados, que podem ser contínua, uniforme e descontínua. Uma distribuição granulométrica adequada contribui para a formação de uma estrutura mais compacta e homogênea, o que resulta em uma maior resistência mecânica e estabilidade dimensional ao longo do tempo. Segundo Mendes (2019) Estudos mostram que a utilização de agregados com uma curva granulométrica bem distribuída promove uma melhor acomodação das partículas, o que melhora a coesão e reduz a segregação do material, um problema comum em argamassas com alta fluidez.

Figura 2 - Tipos de Granulometria dos Agregados.



Fonte: Mendes (2015).

Além disso, deve-se fazer uma análise quanto ao módulo de finura da areia de modo que quando este supera o valor numérico 3 indica que esse agregado deve ser evitado, pois a mistura pode apresentar segregação facilmente pela má distribuição granulométrica (MELO, 2015).

3.5. ÁGUA

A relação água/cimento (a/c) representa a quantidade de água adicionada na mistura em relação massa total do cimento, sendo expressa como uma fração decimal ou porcentagem. Uma baixa relação a/c indica uma menor quantidade de água na mistura, enquanto uma relação a/c alta indica um teor de água maior.

Conforme Mendes *et al.* (2020), a resistência mecânica da argamassa é fortemente influenciada pela relação a/c . Uma menor relação a/c tende a aumentar a resistência da argamassa, uma vez que há menos espaço para a formação de vazios capilares e microfissuras. Com menos água na mistura, o produto final é mais denso e menos poroso, o que melhora suas características de resistência e durabilidade.

Por outro lado, uma relação a/c elevada resulta em maior porosidade, pois o excesso de água evapora durante a cura, deixando espaços vazios que enfraquecem a matriz cimentícia (Mendes *et al.* 2020). Esses poros formados na estrutura interna, tornam o material mais suscetível a agentes externos, tais como a umidade e produtos químicos, e podem comprometer a resistência e durabilidade da argamassa. A resistência de uma argamassa tende a diminuir significativamente à medida que a relação a/c aumenta.

Além da diminuição da resistência, a quantidade de água excessiva torna a argamassa mais permeável, facilitando a penetração de substâncias prejudiciais, como cloretos e sulfatos, que podem causar reações expansivas e deteriorar o material. Um aumento na permeabilidade também favorece a absorção de umidade, que pode resultar em eflorescências, manchas e deterioração precoce da superfície.

A retração por secagem é outro aspecto influenciado pela relação a/c . Para Mendes *et al.* (2020), uma argamassa com alta relação a/c tende a apresentar maior retração, pois a quantidade excessiva de água, evapora durante a cura, causando encolhimento. Esse encolhimento cria tensões internas que podem resultar em fissuras e reduzir a estabilidade dimensional da argamassa, afetando a integridade do revestimento.

A retração excessiva é um dos principais fatores que contribuem para o surgimento de fissuras em argamassas e concretos. Segundo Tecnosil (2024), para minimizar a

retração e as fissuras, é importante manter a relação a/c em níveis controlados e utilizar aditivos que retardem a evaporação da água.

3.6. ADIÇÕES MINERAIS

3.6.1. Cinza do caroço do açaí

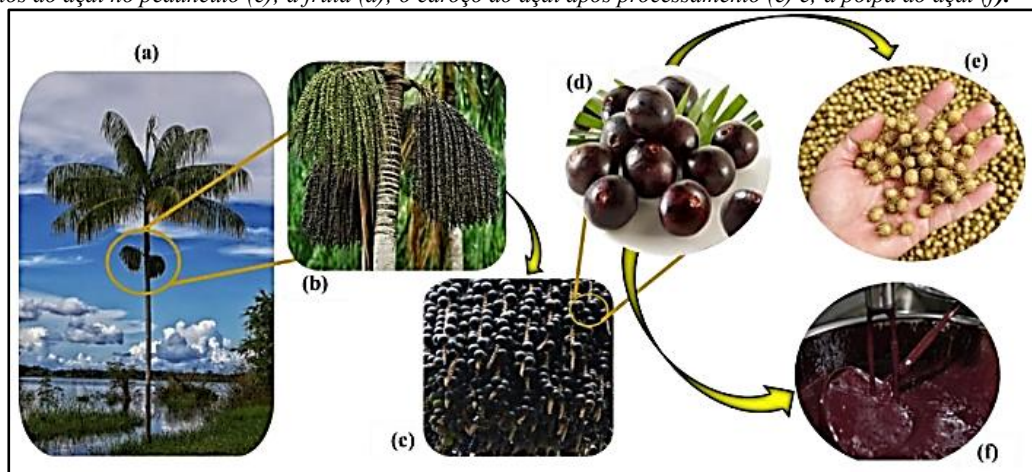
O caroço do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), amplamente produzido na região Norte do Brasil, especialmente no Amazonas, é um resíduo gerado em grandes quantidades durante o processamento do fruto. A produção anual média do fruto do açaí no Brasil entre os anos 1986 e 2010 foi de 115 mil toneladas por ano. Esta produção aumentou 80,3 % de 2011 a 2018 (RAMOS *et al.*, 2020), sendo o Estado do Pará o maior produtor de açaí (58,4 %), seguido pelos estados do Amazonas (31,0 %) e Maranhão (7,1 %). Em 2021 a produção de açaí ultrapassou 225 mil toneladas gerando por volta de 150 mil toneladas de resíduos com o descarte dos caroços (GARCEZ, 2023).

O crescimento da produção nacional da polpa do açaí deve-se principalmente ao aumento de políticas de exportação, aumento do consumo e investimento público nos setores florestal e agrícola, além de um aumento de áreas cultivadas. Contudo, a produção do cultivo comercial dos estados do Acre, Amazonas e Rondônia é predominantemente explorado por pequenos e médios agricultores, sob monoculturas de baixa tecnologia (GARCEZ, 2023).

Com o aumento comercial da polpa do açaí elevou-se também a quantidade de resíduos, formada principalmente pelos caroços que, comumente são descartados e têm sido fonte de estudos em diversas áreas com interesse no desenvolvimento de tratamentos adequados para descarte e reutilização deste resíduo (GARCEZ, 2023).

A figura 4 mostra o processo de obtenção da polpa do açaí, a maior parte da fruta (Figura 4d) é composta do caroço (Figura 4e) que proporciona uma grande disponibilidade de resíduos, podendo ser aplicado em diversas técnicas, materiais e produtos. Ao considerar o comportamento térmico, o caroço do açaí apresentou características semelhantes às fibras naturais como o sisal e o coco, o que abre novas e promissoras perspectivas para sua utilização (MARTINS *et al.*, 2009).

Figura 3 - Processo da obtenção da polpa do açaí: Palmeira do açaizeiro (a); cacho contendo o fruto (b); os frutos do açaí no pedúnculo (c); a fruta (d); o caroço do açaí após processamento (e) e; a polpa do açaí (f).



Fonte: Garcez (2023).

Uma solução econômica e ecológica para a problemática da gestão do caroço de açaí é utilizá-lo como precursor na produção de cinzas e aplicação destas cinzas em outros materiais, pois trata-se de uma biomassa residual com baixo custo, que propicia a obtenção de uma matéria-prima com propriedades físico-químicas ideais para diversas aplicações e, apresenta uma alternativa renovável (GARCEZ, 2023).

Garcez (2023) cita a utilização da cinza do caroço de açaí, por diversos autores, para produção de argamassa, argamassa destacando como benefício a superfície específica da cinza e a relação entre a quantidade de finos e a necessidade de água. Os autores relacionaram esse fenômeno ao fato de as partículas da cinza terem a capacidade de retenção de água, portanto, quanto maior for a concentração de partículas finas, maior será o acúmulo de umidade no interior da argamassa.

Outros autores evidenciaram que a adição das cinzas do caroço do açaí, possibilitou efeito filer, além de apresentar uma maior durabilidade na estrutura com menor tendência à patologias. Este comportamento se deve ao efeito microfíler da cinza que apresenta um alto fator de empacotamento, densificando desta forma o concreto, proporcionando uma diminuição de sua porosidade e resultando em uma menor absorção de água (GARCEZ, 2023).

3.7. ADITIVOS QUÍMICOS

Para Alves (2020), os aditivos químicos desempenham um papel fundamental no desempenho das argamassas autonivelantes, garantindo propriedades específicas como fluidez, coesão e resistência mecânica. Entre os aditivos mais utilizados estão os

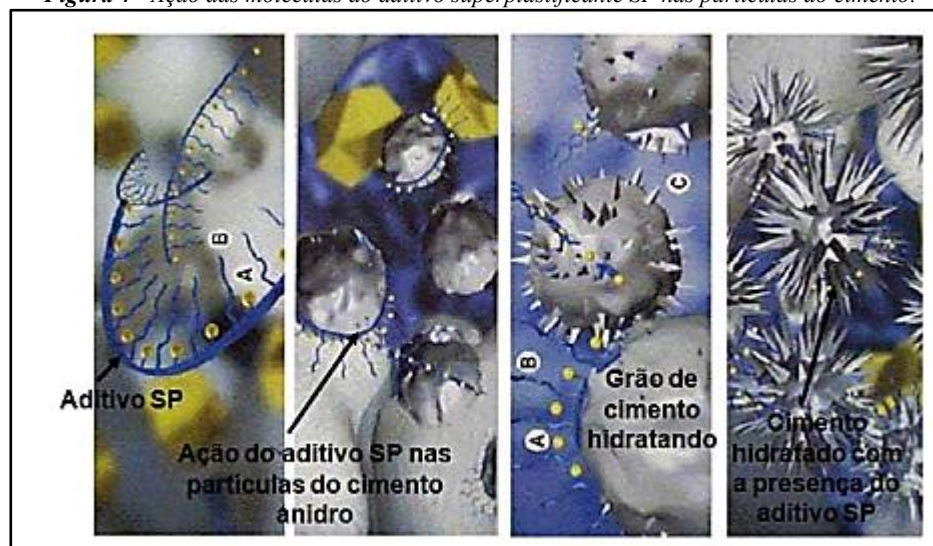
superplastificantes (SP) e os modificadores de viscosidade. Estes superplastificantes quando combinados, otimizam as características reológicas e o comportamento da argamassa durante a aplicação e endurecimento.

Alves (2020) explica que os SP são agentes redutores de água de alta eficiência que aumentam a fluidez pela dispersão das partículas sólidas sem comprometer a resistência. Baseados frequentemente em policarboxilatos ou naftalenossulfonatos, eles permitem uma dispersão eficiente das partículas de cimento, reduzindo o atrito interno da mistura. Isso resulta em maior trabalhabilidade e melhor acomodação em superfícies irregulares, características indispensáveis para argamassas autonivelantes. Além disso, a redução da relação água/cimento contribui para a diminuição da porosidade e, conseqüentemente, melhora as propriedades mecânicas do material.

Sua desvantagem é que em alguns casos o uso em excesso do SP pode resultar em efeitos indesejados como, por exemplo, a redução da coesão ocasionando a segregação entre partículas e exsudação na mistura, e sua falta não será eficaz na dispersão das partículas (ALVEZ, 2020).

A Figura 5 mostra a ação das moléculas do aditivo na Figura 5a, posterior ação do SP no cimento, hidratação na Figura 5b e cimento hidratado após o endurecimento na Figura 5c.

Figura 4 - Ação das moléculas do aditivo superplastificante SP nas partículas do cimento.



Fonte: Martins (2009).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Por sua característica técnico-científica, a pesquisa está dividida em duas etapas principais. A primeira aborda a seleção dos materiais utilizados para a produção da pasta

para argamassa autonivelante e a metodologia utilizada para sua caracterização. Enquanto a segunda descreve o ensaio específico para se caracterizar a pasta autonivelante, juntamente com os ajustes dos teores de materiais, como por exemplo, a relação água/materiais secos, aditivo superplastificante e cinza do caroço do açaí, visando à formulação ideal para as pastas cimentícia autonivelante.

4.1. MATERIAIS

4.1.1. Cimento Portland

A figura 6 mostra o cimento utilizado nesta pesquisa, CII-Z 32 da marca Forte, conhecido por sua composição com adição de materiais pozolânicos. Essa característica torna o CII-Z 32 particularmente adequado para aplicações em argamassas autonivelantes, pois a pozolana contribui para a redução da porosidade e melhora a durabilidade do material.

Figura 5 - Foto do cimento Portland CP II Z - 32.



Fonte: A Autora (2025).

Outro ponto relevante é a sustentabilidade associada ao CII-Z 32, uma vez que sua produção demanda menor quantidade de clínquer em comparação aos cimentos convencionais, como o CP I. Isso implica na redução da emissão de dióxido de carbono durante a fabricação, alinhando-se às práticas de construção sustentável.

4.1.2. Areia

A areia utilizada é aquela proveniente de rio, adquirida pelo Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), mostrada na figura 7, sendo a mais comum na região de Manaus. Areia de rio é mais limpa quanto as matérias orgânicas e pulverulentos (materiais que passam através da peneira #200). Nos ensaios usamos areia de rio retida na peneira 0,297 mm.

Figura 6 - Foto da areia de rio.*Fonte: A autora (2025).*

4.1.3. Superplastificante

Na Tabela 3 estão os dados técnicos do superplastificante utilizados nas argamassas, da marca MC-PowerFlow 1180, fabricado pela MC-Bauchemie Brasil, sendo um aditivo líquido da cor marrom à base em polímero policarboxilatos.

Tabela 3 - Dados do superplastificante policarboxilatos Mc – PowerFlow 1180.

Característica	Unidade	Valor	Observações
Densidade	Kg/L	1,09	
Dosagem recomendada	%	0,2 a 5,0	Sobre o peso do cimento
Tipo produto	-	-	Redutor de água

Fonte: MC-Bauchemie Brasil (2024).

4.1.4. Água

A água utilizada nos ensaios, é potável e proveniente do sistema de abastecimento da UFAM ao Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM).

4.1.5. Carvão do Açáí

Em Manaus, o caroço do açáí foi obtido principalmente em feiras e mercados dos bairros Alvorada e Centro, onde a polpa é extraída e o caroço do açáí é descartado. Esses locais geram grandes quantidades de resíduos diariamente, que em muitos casos são destinados a aterros ou simplesmente descartados de forma inadequada.

O caroço coletado foi lavado para retirada das borras que permanecem após o processamento, em seguida, colocado para secar ao ar livre por três dias e assim ser produzido a cinza após a sua queima.

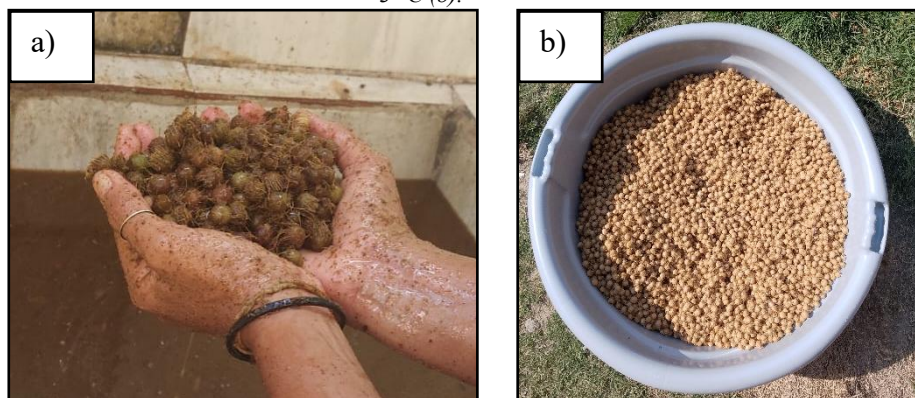
4.2. MÉTODOS

4.2.1. Preparação e caracterização do caroço do açaí

4.2.1.1. Preparação do caroço do açaí

Primeiramente, os caroços de açaí foram peneirados para retirada do excesso da borra e lavados com água corrente até a limpeza completa (Figura 8a). Este procedimento aumenta o poder calorífico do caroço. Após a lavagem, os caroços foram colocados para secar ao ar livre (Figura 8b), por três dias a temperatura $30 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$, para diminuir o teor de umidade da parte interna do caroço, em seguida foi seco em estufa por 4h a uma temperatura $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Figura 7 - Foto do processo de lavagem do caroço do açaí (a) e de secagem ao ar livre temperatura $30 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ (b).

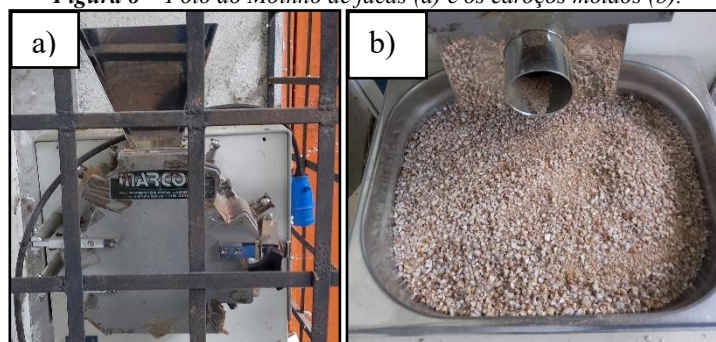


Fonte: A autora (2025).

4.2.1.2. Trituração do caroço de açaí

Com os caroços secos em estufa realizou-se a trituração com o objetivo de diminuir o tamanho das partículas e facilitar a queima, conforme Figura 9, temos caroços moídos (Figura 9b). Para esta trituração utilizou-se um moinho de facas (Figura 9a), marca Marconi, do Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos (LaMAC).

Figura 8 - Foto do Moinho de facas (a) e os caroços moídos (b).

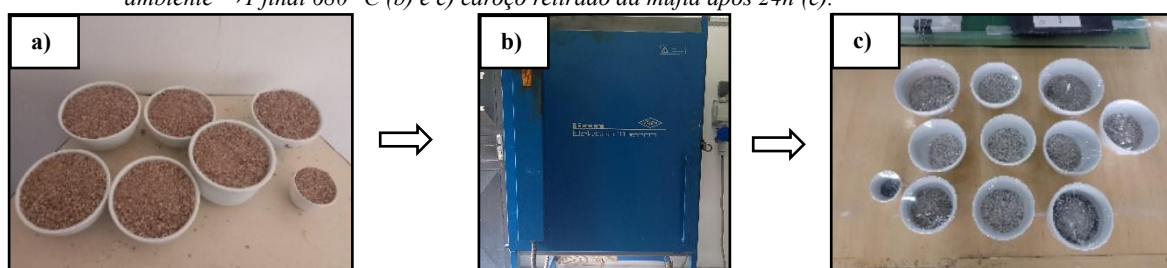


Fonte: A autora (2025).

4.2.1.3. Produção das cinzas

O processo de queima dos caroços de açaí (Figura 10), antes foram triturados (figura 10a) e depois queimados (figura 10c). O forno mufla (Figura 10b) utilizado, é do Laboratório de Laminação – LAMINAGEO, do Departamento de Geociências da UFAM. As condições de queimas foram: temperatura de processamento T ambiente → T final 680 °C por uma hora em seguida ocorreu desligamento do equipamento. As cinzas obtidas (Figura 10c), permaneceram no interior da mufla, para resfriamento por 24 h.

Figura 9 - Processo de queima dos caroços: Amostra do caroço do açaí triturado (a); forno mufla T ambiente → T final 680° C (b) e c) caroço retirado da mufla após 24h (c).



Fonte: A autora (2025).

A Figura 11 mostra as cinzas do caroço de açaí após a queima. Para reduzir as partículas, as cinzas foram levadas ao moinho de bolas do Laboratório de Laminação por 24h, no intuito de deixá-las o mais próxima possível do cimento.

Figura 10 - Cinzas do caroço do açaí após a moagem.



Fonte: A autora (2025).

4.2.2. Ensaio de Granulometria a laser

As amostras de cimento, areia e cinza foram analisadas no laboratório CPRM - Serviço Geológico do Brasil - Superintendência Regional de Manaus, para a realização da análise granulométrica pelo método de espalhamento a laser no tempo de medição de 12 segundos. A técnica de granulometria a laser mede a distribuição de tamanho das

partículas, e o $D[4,3]$ corresponde ao diâmetro médio ponderado pelo volume das partículas. O equipamento utilizado foi da marca Malvern Instrumentos, Mastersizer 2000. A granulometria utilizada além de determinar a distribuição no tamanho das partículas, auxilia na classificação do material.

4.2.3. Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX)

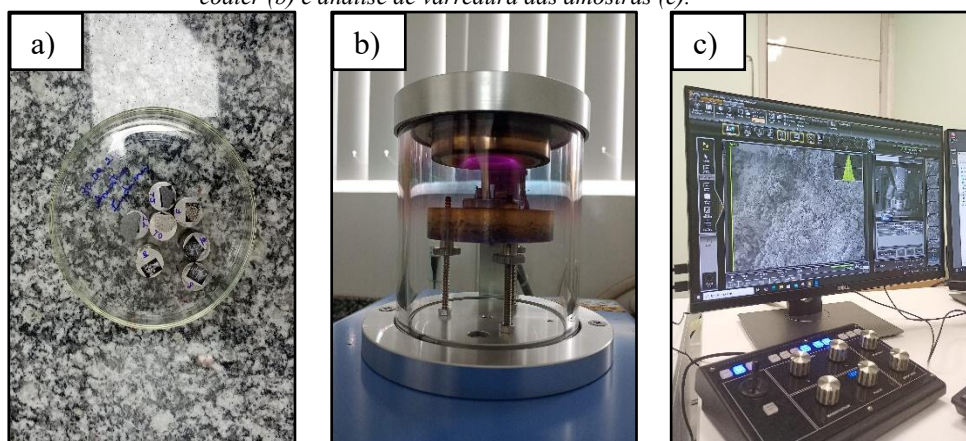
Esta técnica foi realizada para identificar a composição química do cimento e da cinza do caroço do açaí. A composição química de um material (resíduo), é fundamental para determinar o seu potencial relativo, quando combinados com cimentos, tendo em vista que é uma matéria-prima não originária do calcário.

As análises de espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva foram realizadas em equipamento da marca Panalytical modelo Epsilon 3-X, com tensão máxima de 50 kV, corrente máxima de 3 mA, Gás Hélio (pressão 10 atm./10 kgf/cm²), localizado no laboratório de Ensaio Físico-Químicos/FT/UFAM (LEM).

4.2.4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A caracterização morfológica (Figura 12) foi realizada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), com o objetivo de observar a interação das partículas da cinza do caroço do açaí em seu estado endurecido. As amostras foram preparadas, seguidas de revestimento com uma fina camada de ouro (metalização), utilizando um *sputter coater*, para assegurar a condutividade elétrica durante a análise.

Figura 11 - Foto da reparação da amostra (a); metalização das amostras com camadas de ouro no sputter coater (b) e análise de varredura das amostras (c).



Fonte: A autora (2025).

As imagens foram obtidas em um microscópio modelo JSM-IT500HR, operando com tensão de aceleração de 100-30000 V. O equipamento JSTM-IT500HR, é um FEG-Schottky de alta resolução e com modo de operação ambiental até 50 MPa. A análise foi realizada no Laboratório Centro Multiusuário para Análise de Fenômenos Biomédicos (CMABio) da UEA.

4.2.5. Dosagem da argamassa autonivelante

Para dar início aos ensaios iniciais sobre argamassa autonivelante adotou-se como base o estudo de dosagem apresentado por Mendes (2019).

A partir da definição dos traços da Mendes (2019) de relação a/c de 1:1 foram feitos os ensaios iniciais e suas análises respectivas borda, segregação, tempo de espalhamento e diâmetro.

Para a adição da cinza do caroço de açai, foi necessário ajustes na formulação de referência, que serviu como base para a adição de 2% das cinzas do caroço de açai substituindo o cimento. Esses ajustes incluíram modificações na relação água/cimento, passando a obter uma argamassa de referência com diâmetro médio de espalhamento superior a 130 mm, conforme indicado por Nakakura e Bucher (1997). Além disso, foi garantido que a argamassa apresentasse bordas uniformes, sem sinais de segregação ou exsudação, em conformidade com as posições descritas por Martins (2009).

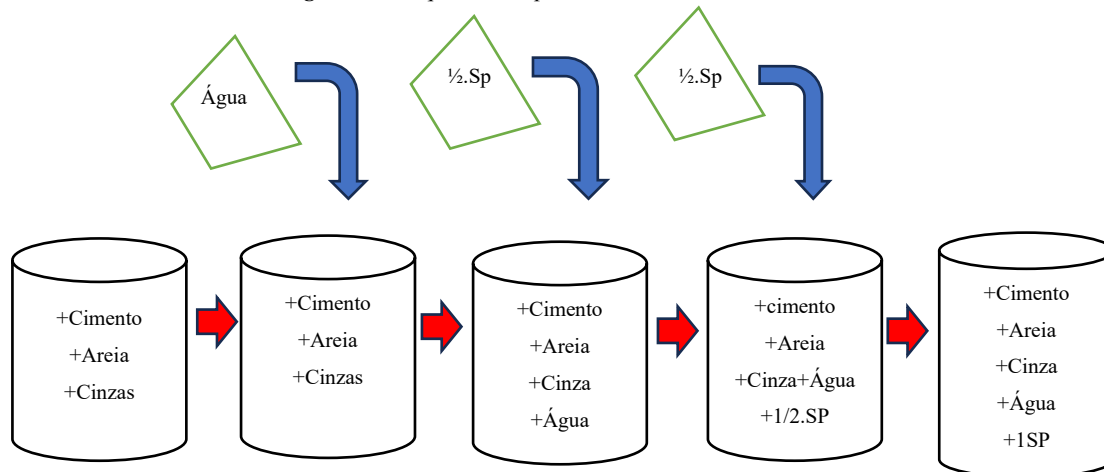
Feito isso, foram realizados os ensaios de referência sem adição de cinza, depois com adição de 5% e 10% de cinzas substituindo o cimento, e repetindo as mesmas análises quantitativas e visuais para produção das argamassas.

4.2.6. Procedimento de Mistura da Argamassa

O procedimento de mistura ocorreu com auxílio de um misturador da marca PAVITEST com capacidade 5 litros, do LEM UFAM. Os materiais foram adicionados em parcelas, iniciou-se pela homogeneização dos materiais secos (cimento-C, areia-A, cinzas-CA) na cuba de forma manual com auxílio de uma espátula por 1 min. Em seguida, foi adicionado aos poucos a água e assim realizar essa mistura por cerca por 1 min, até que mesmo estivessem bem umedecidos, mas respeitando tempo de mistura. Posteriormente, realizou-se a retirada do excesso de material das paredes da cuba antes de ser colocado no misturador.

A próxima etapa foi adição de cerca metade de Sp antes de ligar o misturador, em rotação lenta por 1 min no misturador, depois parou-se o misturador e retirou excesso do material das paredes e do fundo e adicionou outra metade de Sp e aumentou-se o misturador para velocidade máxima por mais 1 min. Em seguida, parou-se mais vez o misturador para retirada do material das paredes e do fundo da cuba para garantir que todo material fosse bem misturado por mais 1 min em velocidade máxima, dando total de 5 min de todo processo.

Figura 12 - Sequência do procedimento de mistura.



Fonte: a autora (2024).

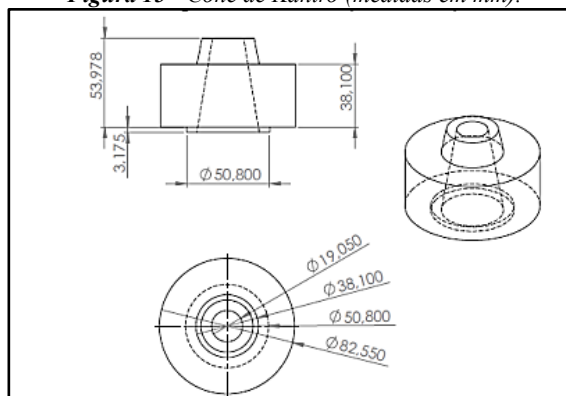
4.2.7. Determinação do teor de superplastificante.

A partir das observações de Mendes (2019) sobre argamassa autonivelante iniciamos os traços deixando fixo os parâmetros de cimento, areia e água e variamos a porcentagem de superplastificantes, nesse primeiro momento não foi adicionada cinza nos traços.

O método adotado foi ensaio de consistência com cone Kantro (Kantro,1980) em que se verifica o diâmetro de espalhamento do material para avaliar a fluidez e, simultaneamente, seguindo os critérios de Martins (2009), avaliou-se visualmente as condições de borda e a existência de segregação e exsudação. Ressalta-se que o ensaio do cone de Kantro foi originalmente desenvolvido para avaliação de pasta, porém Nakakura e Bucher (1997) propuseram avaliação da consistência de argamassas autonivelantes por esse método, devido à fluidez e composição destas (SILVA, 2016).

O cone de Kantro apresenta as seguintes dimensões, conforme a figura 14 a seguir.

Figura 13 - Cone de Kantro (medidas em mm).



Fonte: Silva (2016).

Para determinar o diâmetro de espalhamento da argamassa foi obtido após seu escoamento sobre uma placa de vidro nivelada. O diâmetro é determinado a partir da média aritmética de duas medidas ortogonais por meio de um paquímetro. A Figura 15 mostra procedimento do ensaio do cone de Kantro para determinação do diâmetro de espalhamento.

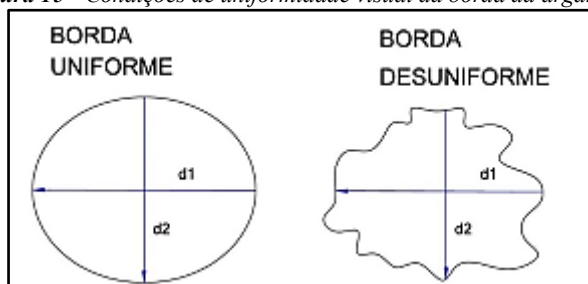
Figura 14 - Ensaio cone de Kantro; a) cone de kantro cheio b) retirada do cone e c) medição do diâmetro.



Fonte: a autora (2024).

A Figura 16 mostra as bordas uniforme e borda desuniforme para o diâmetro de espalhamento da argamassa. Assim foi feita a avaliação visual das condições da borda da argamassa espalhada, existência de segregação e exsudação.



Figura 15 - Condições de uniformidade visual da borda da argamassa escoada.



Fonte: Silva (2016).

As bordas da argamassa podem se apresentar altas ou baixas, fluidas em excesso ou não, com ou sem forma definida, e também pode-se identificar a presença de sólidos aglomerados (SILVA, 2016).

Figura 16. Identificação visual das bordas das argamassas quanto a segregação.

	<ul style="list-style-type: none"> • PASTA SEM SEGREGAÇÃO • Bordas altas • Coesão da mistura • Borda com forma lisa
	<ul style="list-style-type: none"> • PASTA COM SEGREGAÇÃO • Bordas baixas ou líquidas • Bordas sem forma

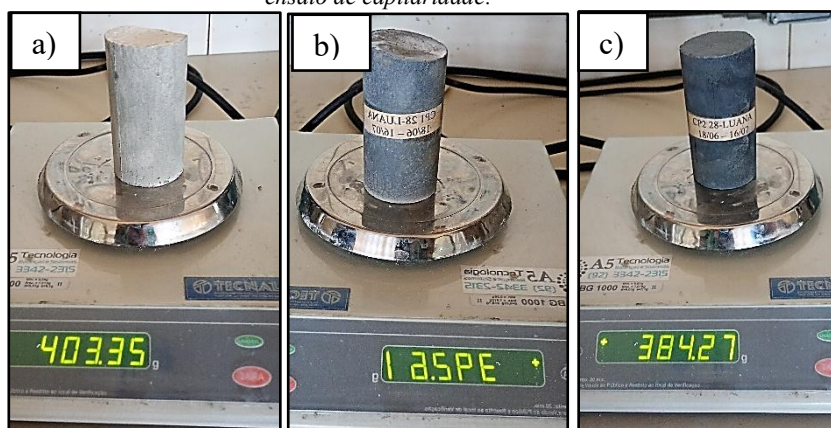
Fonte: Adaptado de Silva (2016).

4.2.8. Absorção água por capilaridade

Para a realização dos ensaios de absorção de água por capilaridade foram adotados os procedimentos previstos na ABNT NBR 9779:2012. Este ensaio foi utilizado para avaliar absorção de água dos corpos de provas por meios dos poros capilares.

A Figura 18 mostra os corpos de provas com seguintes nomenclaturas: Referência aos 28 dias – CPR 28 (Figura 18a), Copo de prova 1 aos 28 dias - CP1 28 (Figura 18b) com 5% de cinza e Copo de prova 2 aos 28 dias - CP2 28 (Figura 18c) com 10% de cinza, foram levados em estufa 105 ± 5 °C até a massa constante e colocada para resfriar a temperatura ambiente. Após o resfriamento foi medido o diâmetro dos CPs, o peso inicial de cada um em balança e anotado uma altura de 5 ± 1 mm acima sua face inferior, conforme a norma.

Figura 17 - Foto dos corpos de prova aos 28 dias: CPR (a); CP1 (b); CP2 (c), pesados na balança para ensaio de capilaridade:



Fonte: A autora (2025).

O ensaio foi realizado colocando os corpos de prova dentro recipiente plano sobre placa de vidro nivelada, foi colocado dois palitos para isolar os corpos de prova da base

do recipiente e assim ir adicionando aos poucos água até atingir a lâmina de água na altura de 5 ± 1 mm. As massas foram medidas nos intervalos de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h.

A absorção de água por capilaridade foi calculada para cada tempo, por meio da Equação (2).

$$C = \frac{M_{sat} - M_s}{S} \quad (2)$$

Onde,

C = absorção de água por capilaridade, expressa em gramas por centímetro quadrado (g/cm^2);

M_{sat} = é a massa saturada do corpo de prova em cada tempo, expresso em gramas (g);

M_s = massa inicial do corpo de prova seco, expresso em gramas (g);

S = é a área da seção transversal, expressa em centímetros quadrados (cm^2).

4.2.9. Ensaio de Resistência à compressão

Os corpos de prova para a determinação da resistência à compressão axial foram confeccionados segundo a NBR 5739:2018, sendo moldados 4 corpos de prova para idades 7 dias e 3 corpos de provas para a idade de 28 dias, os cilindros medindo 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

Em virtude da alta fluidez da argamassa, não foi possível adensá-las em camadas, e sim preenchê-las por camadas, foram produzidos os traços equivalentes a dois corpos de provas, após produção da argamassa, deixa-se dois corpos de prova cilindro enfileirado um do lado do outro e preenchia-se o cilindro com argamassa até preencher mais ou menos 30 mm de altura, e restantes da argamassa na cuba fazia-se uma mistura manual com auxílio de uma espátula polimérica flexível para misturar material estava fundo e na parede da cuba e seguida imediatamente preenchia mais ou menos 30 mm do cilindro, e repetia mesmo procedimento de mistura manual e seguida preenchia restante do cilindro que faltava, repetimos mesmo procedimento pra outros dois corpos de provas dando um total de 4.

Os corpos de provas foram deixados por 24 horas em cura, em seguida desformados e identificados e envolvidos em plástico filme para conservar sua umidade. Após um tempo de cura de 7 e 28 dias, na véspera do ensaio a compressão os corpos de provas foram capeados com enxofre nas extremidades para diminuir as imperfeições e deixar superfície mais plana para realização do ensaio a compressão feitos no laboratório da empresa Konkrex Engenharia de Concretos Ltda.

Figura 18 - Copo de Provas capeados para ensaios de resistências à compressão a idade de 7 dias: CPR de referência sem adição de cinza (a); CP1 com adição de 5% de cinza (b); CP2 com adição de 10% de cinza (c).



Fonte: A autora (2025).

5 RESULTADOS E DISCURSÕES

5.1 Caracterização dos Materiais

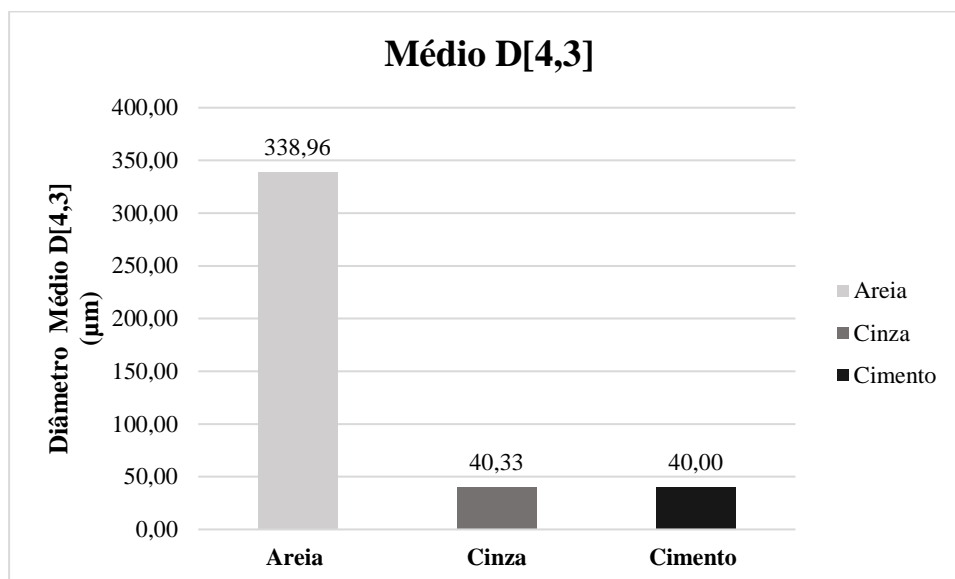
5.1.1. Caracterização Física

O ensaio para determinar o módulo de finura da areia foi realizado com base na NBR NM 248:2003, como sugere Melo (2015) para que a má distribuição granulométrica não influencie na segregação deve-se apresentar módulo de finura não superior 3. Os dados do ensaio encontram-se no Apêndice A e o resultado apresentou módulo de finura de 1,75 dentro do limite aceitável.

5.1.2. Ensaio de granulometria a laser

No Gráfico 1 temos o diâmetro médio da areia e da cinza do caroço de açaí realizado por granulometria a laser, enquanto do cimento usamos como base as especificações técnicas do tamanho das partículas. Podemos perceber que a substituição da cinza pelo cimento seria viável pelo fato da análise granulométrica da cinza apresentar diâmetro médio próxima do cimento, cerca de 40,33 μm .

Gráfico 1 - Diâmetro médio da areia, cinza e do cimento.



Fonte: A autora (2024).

5.1.3. Espectrometria de fluorescência de raio -X (FRX)

Na Tabela 5 temos resultados de espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) do cimento Portland e da cinza do caroço de açaí. Os valores encontrados para cimento de SO₃ foi 2,665% ≤ 4,5% e de MgO 1,162% ≤ 6,5%, dentro do limite estabelecido na NBR 16697/2018 (ABNT, 2018). Porém, a cinza do caroço do açaí apresentou 7,561% de SO₃, o que pode influenciar nas características de resistência do compósito cimentício, quando da substituição parcial do cimento, uma vez que este valor está acima daquele permitido pela norma para o cimento Portland.

O que pode ter influenciado na resistência à compressão, a qual foi menor com adição de 10% de cinza em relação à adição de 5%.

Tabela 4. Análise química do Cimento Portland CP II Z 32 e Cinza do Caroço do Açaí.

Material	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	Ti (%)	P ₂ O ₅ (%)	Cl (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
Cinza	2,447	-	4,703	7,561	55,152	13,246	-	8,622	4,982	0,587
CP II Z - 32	1,162	3,517	16,607	2,665	1,697	68,906	0,253	-	-	4,823

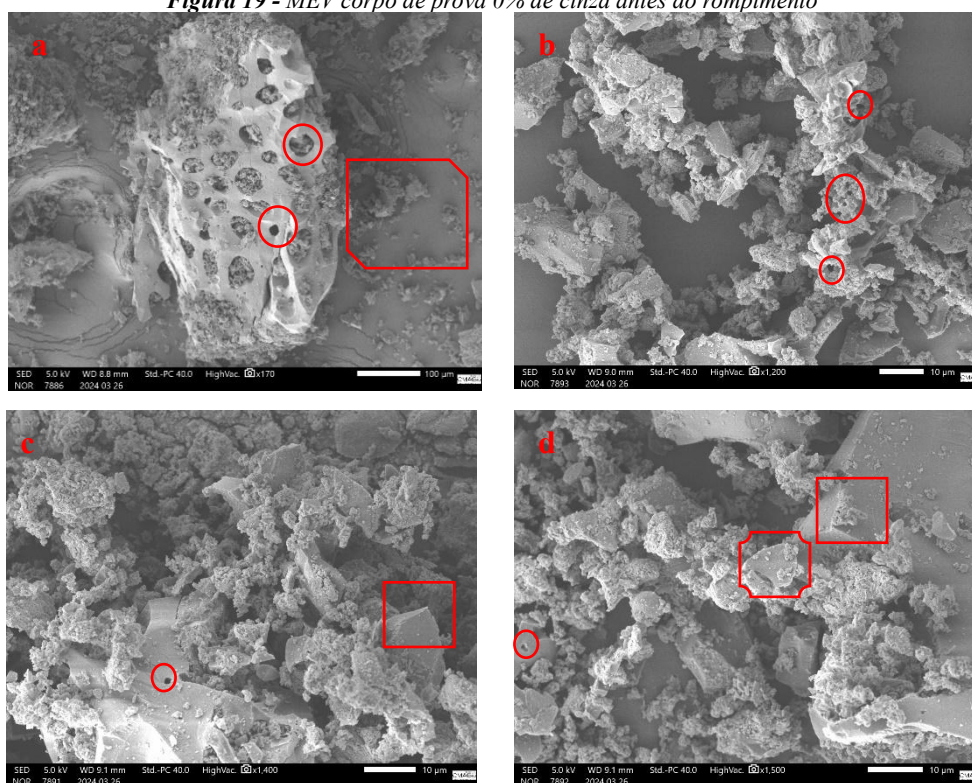
Fonte: A autora (2025).

A análise da cinza de açaí apresentou três dentre quatro óxidos fundamentais do Cimento Portland: CaO, SiO₂, Fe₂O₃ e óxidos secundários MgO, K₂O, SO₃, P₂O₅ e Cl que colaboram com uma boa resistência à compressão.

5.1.4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As partículas da cinza foram analisadas por microscopia de varredura e é possível observar na Figura 20a microporos e partículas de diferentes tamanhos, que podem contribuir para um melhor empacotamento das partículas da cinza com as dos outros materiais. A Figura 20b, 20c e 20d há presença de microporos que como afirma Garcez (2023), pode facilitar o armazenamento de água e assim, contribuir para o processo de cura das partículas do cimento, e na Figura 20c apresenta bordas irregulares que podem influenciar na adesão ao cimento. Na figura 20d temos micropartículas menores aderidas a partículas maiores aumentando área superficial da cinza e bordas irregulares.

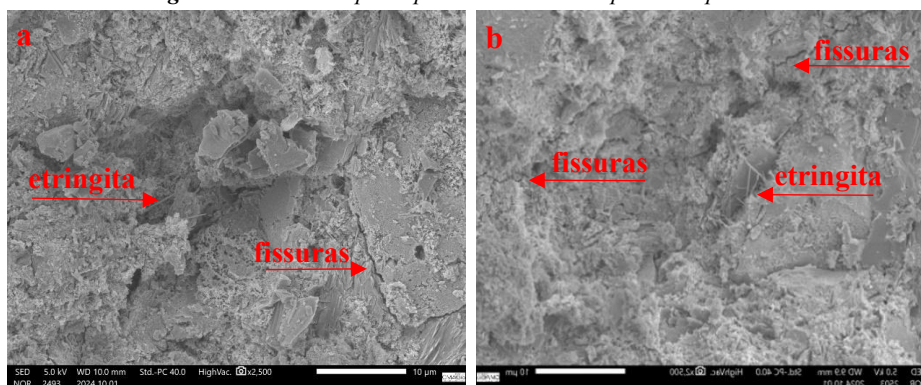
Figura 19 - MEV corpo de prova 0% de cinza antes do rompimento



Fonte: A autora (2025).

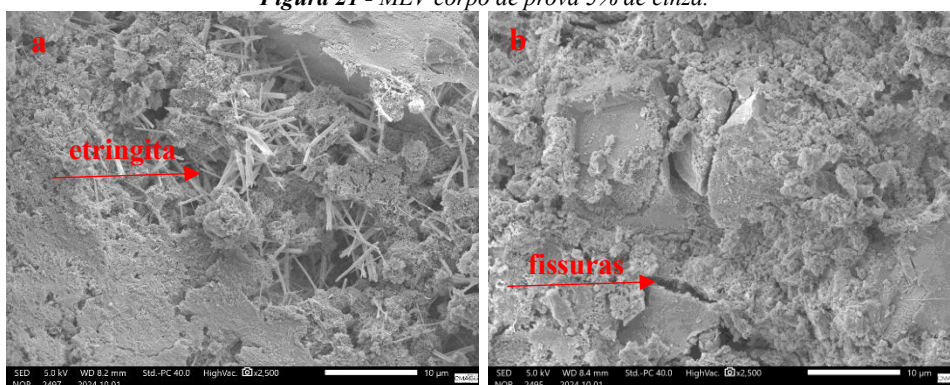
A análise microscopia de varredura nas argamassas no seu estado endurecido aos 28 dias de idade para adição de cinza de 0%, 5% e 10%, após serem rompidas. A figura 21a, 21b, 22a, 23a e 23b apresentaram cristais de estringita. Na Figura 21a, 21b e 22b apresentaram fissuras, que podem ser justificadas como pontos frágeis próximos a estringita durante rompimento do corpo de prova.

Figura 20 – MEV corpo de prova 0% de cinza após o rompimento.



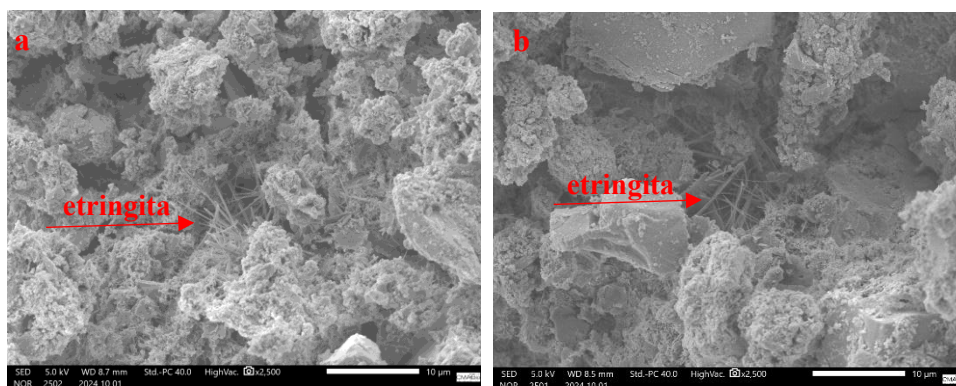
Fonte: A autora (2025).

Figura 21 - MEV corpo de prova 5% de cinza.



Fonte: A autora (2025).

Figura 22 - MEV corpo de prova com adição de 10% de cinza



Fonte: A autora (2025).

5.2. Caracterização das Argamassas Autonivelantes

5.2.1. Determinação da dosagem da argamassa

A partir do estudo de dosagem apresentado por Mendes, foram feitos os traços variando as proporções em relação à massa de cimento, mantivemos fixo o cimento, areia, água e variamos superplastificante, conforme apresentados na Tabela 6. Para validação

das características de argamassa autonivelantes foram analisados os diâmetros médios de espalhamento superior a 130 mm, conforme indicado por Nakakura e Bucher (1997).

Tabela 5 - Dosagens das argamassas autonivelantes ensaiadas.

Tabela															
Ensaio variando superplastificante.															
Data:															
Ensaio	C (g)		AR (g)		AG(g)		SP (g)		Bordas		S. M		Exsudação	T. E	Di
	(g)		(g)		(g)		(g)		U	D	SS	CS			
REF1	104	1	104	0,5	52	0,00	0,00	x		x			sem	5,00	61
E1	104	1	104	0,5	52	0,50%	0,52	x		x			leve	23,59	120
E2	104	1	104	0,5	52	0,60%	0,62	x			x		moderada	26,37	135
E3	104	1	104	0,5	52	0,70%	0,73		x		x		elevada	25,00	144
E4	104	1	104	0,5	52	0,80%	0,83		x		x		elevada	31,00	158
Total	520		520				2,70								

Legenda:

C-Cimento

AR-Areia

AG Água

SP- Superplastificantes

S.M-Separação dos Materiais






T.E-tempo de espalhamento.

D-Diâmetro

Fonte: A autora (2025).

A Tabela 7 mostra os resultados dos ensaios iniciais das dosagens dos traços C:AR:AG:SP (cimento:areia:água:superplastificante). Os ensaios a partir do E2 apresentaram espalhamento maior que 130 mm, porém apresentaram bordas desuniformes, segregação e exsudação elevada.

Tabela 6 - Resultado dos ensaios sem adição de cinza de açaí variando superplastificante.

Ensaio	Descrição	Imagens
REF1	<p>C:A:W:SP 1:1:0,5:0,000</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água e sem adição de SP, e verificamos bordas uniformes, sem segregação e sem exsudação, abertura de espalhamento 61 mm, inferior para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	
E1	<p>C:A:W:SP 1:1:0,5:0,005</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água e variamos SP, utilizamos 0,50% e verificamos bordas uniformes, sem segregação e com uma leve exsudação, abertura de espalhamento 120 mm, inferior para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	
E2	<p>C:A:W:SP 1:1:0,5:0,006</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água e variamos SP, utilizamos 0,60% e verificamos bordas uniformes, com segregação, porém com média exsudação, abertura de espalhamento 135 mm, dentro do necessário para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	
E3	<p>C:A:W:SP 1:1:0,5:0,007</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água e variamos SP, utilizamos 0,70% e verificamos bordas desuniformes, com segregação e com elevada exsudação m, abertura de espalhamento 144 mm, dentro necessário para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	
E4	<p>C:A:W:SP 1:1:0,5:0,008</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água e variamos SP, utilizamos 0,80% e verificamos bordas desuniformes, com segregação e com elevada exsudação, abertura de espalhamento 158 mm, dentro necessário para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	

Fonte: A autora (2025).

A partir da análise dos resultados da Tabela 8, repetimos os traços iniciais e adicionamos cinza do caroço do açaí (CCA) ao traço, mantivemos fixo cimento, areia, água e variamos o superplastificante.

Tabela 7 - Dosagens das argamassas autonivelantes com adição de 2% de cinza.

Tabela														Ensaio variando superplastificante com adição de cinzas do caroço de açaí.													
Data:																											
Ensaio	C		AR (g)		AG(g)		SP (g)		CCA		Bordas		S. M		Ex	T. E	Di										
	(g)		(g)		(g)		(g)		(g)		U	D	SS	CS				(s)	(mm)								
REFC1	101,92	1	104		0,50	52,00	0,00	0,00	0,02	2,08	x		x		sem	7,00	64										
EC1	101,92	1	104		0,50	52,00	0,50%	0,51	0,02	2,08		x	x		leve	15,00	136										
EC2	101,92	1	104		0,50	52,00	0,60%	0,61	0,02	2,08		x	x		leve	23,18	138										
EC3	101,92	1	104		0,50	52,00	0,70%	0,71	0,02	2,08		x		x	leve	18,90	143										
ED4	101,92	1	104		0,45	46,80	0,60%	0,61	0,02	2,08	x		x		sem	24,60	135										
Total	509,6		520					2,45																			

Legenda:

CCa – Cinza do caroço de açaí

C-Cimento

AR-Areia

AG Água

SP- Superplastificantes

S.M-Separação dos Materiais

T.E-tempo de espalhamento.

D-Diâmetro

Fonte: A autora (2025).

Na tabela 9 apresentam os resultados já com adição de 2% de cinza, mantivemos mesmos parâmetros e variamos superplastificante até EC3, e assim analisamos os resultados.

Tabela 8 - Resultado dos ensaios sem adição de cinza de açai variando superplastificante.

Ensaio	Descrição	Imagens
REFC1	<p style="text-align: center;">C:A:W:CCA:SP 1:1:0,5:0,02:0,00</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água e incluímos 2% cinza do caroço de açai, e sem adição de SP, e verificamos bordas desuniformes, sem segregação e sem exsudação, abertura de espalhamento 64 mm, inferior necessário para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	
EC1	<p style="text-align: center;">C:A:W:CCA:SP 1:1:0,5:0,02:0,005</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água e incluímos cinza do caroço de açai, e variamos SP, utilizamos 0,50% e verificamos bordas desuniformes, sem segregação e leve exsudação, abertura de espalhamento 136 mm, dentro do necessário para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	
EC2	<p style="text-align: center;">C:A:W:CCA:SP 1:1:0,5:0,02:0,006</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água e incluímos cinza do caroço de açai, e variamos SP, utilizamos 0,60% e verificamos bordas desuniformes, sem segregação e com uma leve exsudação, abertura de espalhamento 138 mm, dentro do necessário para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	
EC3	<p style="text-align: center;">C:A:W:CCA:SP 1:1:0,5:0,02:0,007</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água e incluímos cinza do caroço de açai, e variamos SP, utilizamos 0,70% e verificamos bordas desuniformes, com segregação e com uma leve exsudação, abertura de espalhamento 143 mm, dentro do necessário para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	
ED4	<p style="text-align: center;">C:A:W:CCA:SP 1:1:0,45:0,02:0,006</p> <p>A partir do ensaio EC2 que obtemos uma abertura consideravel, porem ainda com uma leve exsudação, decidimos reduzir a relação água e cimento e repetir o ensaio. Então, obtemos os seguintes resultados: bordas uniformes, sem segregação e sem exsudação, abertura de espalhamento 135 mm, dentro do necessário para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	 

Fonte: A autora (2025).

No ensaio ED4 resolvemos diminuir a relação a/c e repetiu-se o ensaio, o resultado apresentou bordas uniformes, sem segregação, exsudação e espalhamento de 135 mm.

A Tabela 10 mostra os traços finais das argamassas autonivelantes com base no ensaio ED4, após terem sido feitas as correções de água, bordas, segregação dos materiais, exsudação e superplastificante até chegar ao traço final com adição de cinza de 0%, 5% e 10 % de cinza.

Tabela 9 - Dosagens das argamassas autonivelantes com adição de 5% e 10% de cinza.

Tabela														Ensaio variando superplastificante com adição de cinzas do caroço de açaí.													
Data:																											
Ensaio	C	AR (g)		AG(g)		SP (g)		CCA		Bordas		S. M		Ex	T. E	Di											
	(g)	(g)		(g)		(g)		(g)		U	D	SS	CS		(s)	(mm)											
REFC2	104,00	1	104	0,45	47	0,60%	0,62	0,00	0,00	x		x		sem	30,15	148											
ED5	98,80	1	104	0,45	47	0,60%	0,62	0,05	5,20	x		x		sem	20,30	141											
ED6	93,60	1	104	0,45	47	0,60%	0,62	0,10	10,40	x		x		sem	15,20	131											
Total	296,40		312,00				1,87																				

Legenda:

CCa – Cinza do caroço de açaí

C-Cimento

AR-Areia

AG Água

SP- Superplastificantes

S.M-Separação dos Materiais

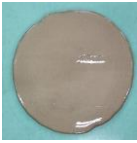


T.E-tempo de espalhamento.

D-Diâmetro

Fonte: A autora (2025).

Tabela 11 os resultados dos ensaios de espalhamento com adição 0%,5% e 10% de cinza do caroço de açaí.

Tabela 10 - Resultado dos ensaios com adição de 5% e 10% de cinza de açaí variando superplastificante.

Ensaio	Descrição	Imagens
REFC2	<p>C:A:W:CCA:SP 1:1:0,45:0,00:0,006</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água, SP e variamos cinza do caroço de açaí, , utilizamos 0% e verificamos bordas uniformes, sem segregação e sem exsudação, abertura de espalhamento 148 mm, dentro do necessário para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	
ED5	<p>C:A:W:CCA:SP 1:1:0,45:0,05:0,006</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água, SP e variamos cinza do caroço de açaí, , utilizamos 5% e verificamos bordas uniformes, sem segregação e sem exsudação, abertura de espalhamento 141 mm, dentro do necessário para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	
ED6	<p>C:A:W:CCA:SP 1:1:0,45:0,10:0,006</p> <p>Neste ensaio mativemos as dosages de cimento, areia, água, SP e variamos cinza do caroço de açaí, , utilizamos 10% e verificamos bordas uniformes, sem segregação e sem exsudação, abertura de espalhamento 131 mm, dentro do necessário para agramassas autonivelantes $D \geq 130$ mm.</p>	

Fonte: A autora (2025).

Os resultados apresentaram bordas uniformes e sem segregação e exsudação e diâmetro mínimo de 130 mm. O traço com 10% de cinza apresentou uma redução no tempo de espalhamento e consequentemente redução do espalhamento em comparação com os demais, ficando mais próximo do espalhamento mínimo.

5.3. Caracterização físico-mecânica das argamassas autonivelantes

5.3.1. Absorção por Capilaridade

O resultado do ensaio de absorção por capilaridade foi feito em 1CP para cada argamassas aos 28 dias de idade, e pode ser observado na Tabela 12, percebe-se que à

medida que cresceu o teor de substituição aumentou-se a absorção e conseqüentemente o coeficiente de capilaridade.

Tabela 11 - Massas obtidas do ensaio de capilaridade

Absorção de Água por Capilaridade (Msat)					
Identificação do CP	3h	6h	24h	48h	72h
Referência	391,16	392,63	397,43	399,04	399,71
5% de cinza	382,32	384,22	390,79	393,44	394,54
10% de cinza	376,82	379,64	388,51	391,54	392,53

Fonte: A autora (2025).

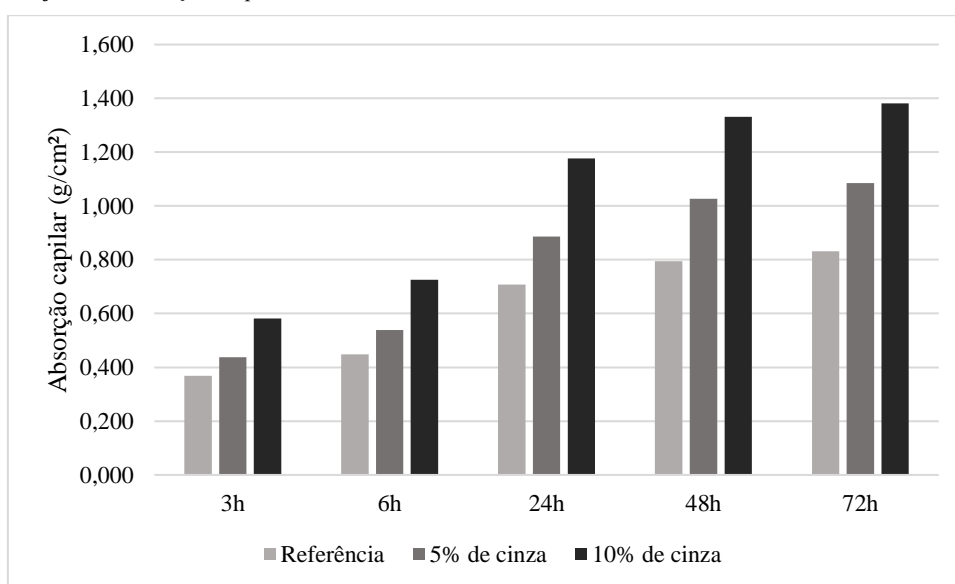
A absorção capilar é uma das formas pela qual ocorre o fenômeno de transporte de agentes agressivos em materiais como argamassas e concretos, por isso funciona como um bom parâmetro para avaliar a durabilidade desses materiais (SCOLARO, 2020).

Tabela 12 - Resultados de absorção capilar

Absorção de Água por Capilaridade (g/cm²)					
Identificação do CP	3h	6h	24h	48h	72h
Referência	0,369	0,448	0,708	0,795	0,831
5% de cinza	0,437	0,538	0,887	1,027	1,086
10% de cinza	0,582	0,725	1,177	1,331	1,382

Fonte: A autora (2025).

Gráfico 2 - Absorção Capilar.



Fonte: A autora (2025).

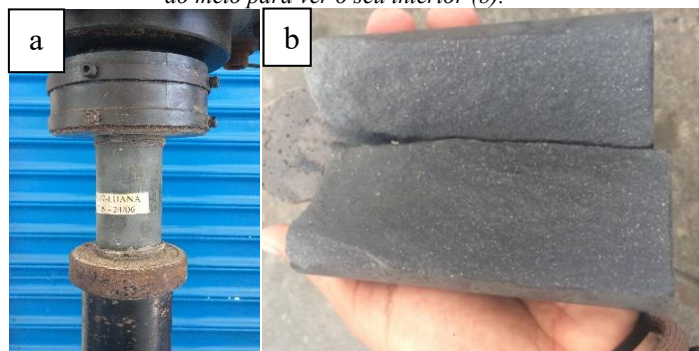
Um fator que influencia na absorção de água é referente ao tamanho da partícula e da área de superfície das matérias-primas, pois quanto melhor a distribuição granulométrica, menor é a absorção devido a uma menor porosidade, maior densidade e consequentemente um maior empacotamento das partículas (GARCEZ, 2023).

Normalmente é esperado que a absorção de água diminua com o passar da idade, pois os produtos formados pela hidratação do cimento vão preenchendo os espaços vazios existentes, diminuindo, assim, a porosidade do material e, consequentemente, sua capacidade de absorção (GARCEZ, 2023). Kaszuba (2023), obteve coeficientes de capilaridades que reduziram entre as idades de 28 e 91 dias, indicando que com o decorrer do tempo uma parcela dos poros existentes na estrutura interna da argamassa foram sendo preenchidos reduzindo a conectividade entre eles.

5.3.2. Ensaio de resistência à compressão

A Figura 24 (a) apresenta o corpo de prova durante o ensaio de resistência à compressão, enquanto a Figura 24 (b) temos o corpo de prova após o ensaio, repartido ao meio para verificar seu estado internamente. De acordo com Carvalho (2017), os concretos com adição de Cinza de Carvão de Açai apresentaram efeito microfíler, ou seja, o preenchimento dos espaços vazios pelas minúsculas partículas das adições das cinzas proporcionou redução no índice de vazios, isso explicaria a argamassa estudada ter apresentado uma estrutura internamente bem compactada.

Figura 23 - Ensaio de resistência à compressão a idade de 7 dias (a); Corpo de prova rompido e partido ao meio para ver o seu interior (b).



Fonte: A autora (2025).

Na Figura 25 é apresentada os corpos de prova após o ensaio de resistência a compressão, o corpo de prova CP2 com adição de 10% de cinza e CP1 com adição de 5% de cinza.

Figura 24 - Ensaio de resistência à compressão a idade de 28 dias.



Fonte: A autora (2025).

Os valores das resistências à compressão foram realizados nas argamassas autonivelantes para as idades 7 dias e 28 dias. Para obter média mais representativa dos valores, desconsideramos o menor valor ou valor muito atípico da amostra e realizamos o cálculo da média entre as amostras restantes. Os resultados dos ensaios podem ser visualizados na Tabela 16, que apresenta o teor em % de adição de cinza, os valores das amostras em MPa e a média das amostras.

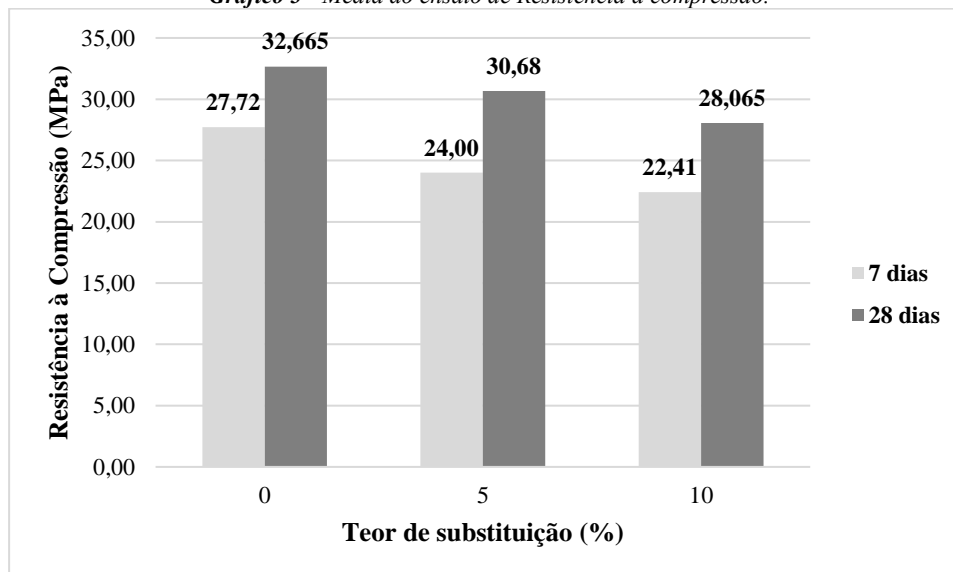
Tabela 13 - Dados do ensaio de Resistência à Compressão.

Teor (%)	Amostra (MPa)			Média (Mpa)
	CPref	CP1	CP2	
7 DIAS				
0	24,24	27,70	27,74	26,56
5	21,55	23,59	24,41	23,18
10	22,09	20,37	22,73	21,73
28 DIAS				
0	26,24	30,93	34,40	30,52
5	30,36	30,61	30,75	30,57
10	21,84	27,74	28,39	25,99

Fonte: a autora (2024).

A Gráfico 3 apresenta o gráfico da média em MPa da Tabela 14 do ensaio de resistência à compressão com substituição de 0%, 5% e 10% de cinza, respectivamente.

Gráfico 3 - Média do ensaio de Resistência à compressão.



Fontes: A autora (2025).

De acordo com a norma EFARC (2001) a resistência compressão simples de pisos autonivelantes é igual ou maior que 20 MPa e conforme recomendações de Tarkett (2019) a resistência mecânica à compressão do contrapiso deve ser maior ou igual a 15 MPa para classes de uso 21, 22 e 23, que compreendem às áreas residenciais com tráfego moderado, geral e pesado, e resistência à compressão mínima de 20 MPa para classes de uso acima de 31, que são os ambientes comerciais e industriais com tráfego geral, moderado, pesado e muito pesado.

Analisando os resultados obtidos pelo ensaio realizados durante a pesquisa, conforme a Gráfico 3, verifica-se que a substituição de 5% e 10% poderiam ser utilizadas como opção na aplicação de contrapisos tanto residenciais como comerciais.

6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa possibilitou avaliação das argamassas autonivelante com substituição parcial do cimento Portland por cinza do caroço de açaí. Com ajustes iniciais a parti das dosagens de Mendes (2019) para os traços ensaiados sem adição de cinza de açaí inicialmente foi possível obter um traço de referência e assim fazer a substituições de 5% e 10% de cimento por cinza do caroço de açaí, e assim, atender a normatização.

O ensaio de cone de Kantro para os traços com 5% e 10% de cinza apresentaram espalhamento de 141 e 131 mm, atendendo a parâmetro de espalhamento mínimo 130 mm. O ensaio também indicou que conforme aumenta porcentagem de cinza o tempo de espalhamento diminui, mostrando que a utilização de um modificador de viscosidade poderia ter melhorado a trabalhabilidade da mistura. Mas, apresentaram bordas uniformes, sem segregação, e exsudação, viabilizando a continuidade do ensaio.

Para ensaio de absorção por capilaridade a dosagem com teor de substituição de 10% de cinza apresentou coeficiente de capilaridade maior de 1,382 g/cm², porém é esperado que essa absorção diminua ao decorrer do tempo, pois durante processo de hidratação do cimento como descreve Pereira (2001) os espaços vazios vão sendo preenchidos, e assim diminuindo sua capacidade de absorção.

Nas dosagens com teor de substituição de 5% e 10% de cinza, colaborou para um desempenho satisfatório nas propriedades mecânicas das argamassas, com resistência média de 30,68 e 28,065 MPa aos 28 dias de idade, atendendo aos requisitos da EFARC (2001) à resistência compressão simples de pisos autonivelantes é igual ou maior que 20 MPa e conforme recomendações de Tarkett (2019).

Através do estudo pode-se concluir que as argamassas produzidas com cimento CP II Z - 32 com teor de substituição de cinza do caroço de açaí, proporcionaram resultados eficazes utilizando tanto 5% quanto 10% de cinza no cimento Portland, demonstrando sua viabilidade como alternativa na produção de argamassas.

7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Caracterização mineralógica e pozolânica da cinza, por meio de técnicas como DRX (Difração de Raios X) e análise térmica (TGA/DSC).

Aplicação em argamassas convencionais com cinza do caroço de açaí, expandir a pesquisa para analisar o comportamento da cinza do caroço de açaí em misturas de argamassas convencionais, observando aspectos como trabalhabilidade, resistência mecânica e Tempo de pega.

Investigação de aditivos compatíveis com a cinza, estudar o desempenho da cinza em conjunto com aditivos químicos (superplastificantes e plastificantes).

8 REFERÊNCIA

ABNT NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos. ABNT. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. ABNT. Rio de Janeiro, 2018.

ALVES, Brenda Maiara Oliveira. **Argamassa autonivelante para contrapiso: efeito do tipo de cimento no comportamento físico-mecânico.** 2020. 111 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/13427/1/Dissertacao_ArgamassaAutonivelanteContrapiso.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

BOTELHO, Larissa Campos Granato *et al.* Estudo da produção e execução de argamassas de contrapiso. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 1-8, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620220002.1384>.

Dong, W.; Fang, C.; Hu, R. **Influence of Redispersible Powder on Properties of Self-Leveling Mortar of Ternary Cementitious System.** *Materials* 2020, 13, 5703. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma13245703>. Acesso em: 29 out. 2024.

CARVALHO, L. F. G. B. De.; MELO, J. B. S. De.; FONSECA, A. P.; GUIMARÃES, F. S.; LIMA, J. M.; PACHA, J. R. S. *Origem e aplicação de cinzas vegetais na construção civil.* Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia. Fortaleza, 2017.

EFNARC – EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **Specification & guidelines for Polymermodified cementitious flooring as wearing surfaces for industrial and comercial use.** United Kingdom, 2001.

KASZUBA, Ana Caroline. **Estudo da substituição parcial do cimento e da areia natural pela cinza de casca de arroz em argamassa autonivelante.** 2023. 128 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2023. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/32305/1/argamassasautonivelantescascaarroz.pdf>. Acesso em: 11 maio 2025.

MARTINS, Eliziane Jubanski. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa auto-nivelante**. 2009. 139 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2009. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/20949/MARTINS%2c%20E.J.%20-%20PROCEDIMENTO%20PARA%20DOSAGEM%20DE%20PASTAS%20PARA%20ARGAMASSA%20AUTO-NIVELANTE.PDF?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 out. 2024.

MELO, Luan Luiz Félix de. **Dosagem de argamassa autonivelante para contrapiso**. 2015. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015. Disponível em: https://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2014.2/dosagem-de-argamassa-autonivelante-para-contrapiso.pdf. Acesso em: 05 nov. 2024.

MENDES, Ana Paula de Lima. **Efeito da adição de fibras sintéticas e naturais nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas autonivelantes com metacalunita**. 2019. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/7328/5/Disserta%c3%a7%c3%a3o_AnaPaulaMendes_PPGEC.pdf. Acesso em: 05 nov. 2024.

MENDES, Gabriela Azambuja. **Dosagem de argamassa autonivelante com adição de Resíduos do Corte de Mármore e Graníticos (RCMG): Análise das propriedades físicas e mecânicas**. 2019. 126 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2019. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/706/2019_08_05_Gabriela_Azambuja_Mendes_15689961309151_706.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.

MENDES, Gabriela Azambuja *et al.* Argamassa autonivelante com adição de resíduos de mármore e granitos: propriedades físicas e mecânicas. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 403-418, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300436>. Acesso em: 03 nov. 2024.

MENDES, Júlia Castro. **Materiais de Construção Civil I - Agregados**. 2017. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/materiais-i-6-agregados-parte-1/71775916#1>. Acesso em: 05 nov. 2024.

PEDROSO, Bruna Migliorini et al. **Influência do fator água/cimento para resistência do concreto**. In: **congresso científico cultural do estado do paraná**, 07., 2016, Campo Mourão. Anais do VII CONCCEPAR. [S.L.]: Eletrônica, 2016. v. 1, p. 01-01. Disponível em: Disponível em: <https://concepar.grupointegrado.br/resumo/influencia-do-fator-aguacimento-pararesistencia-do-concreto/480/854#:~:text=Nota%2Dse%20que%20a%20maior,e%20forte%20ser%C3%A1%20o%20concreto>. Acesso em: 18 nov. 2024.

PENHA, Adriana Venâncio do Carmo *et al.* **Argamassas autonivelantes na execução de contrapisos**. 2018. Disponível em: <https://www.rincon061.org/bitstream/aec/1562/3/ARGAMASSAS%20AUTONIVELANTES%20NA%20EXECUC%3%87%C3%83O%20DE%20CONTRAPISOS.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.

PEREIRA, Caio. **Tipos de cimento: Características e especificações**. 2021. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-cimento/>. Acesso em: 03 nov. 2024.

SILVA, Sarah Honorato Lopes da. **Desenvolvimento de formulações de argamassas autonivelantes para pisos e avaliação da retração por secagem**. 2016. 117 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2016. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/45809>. Acesso em: 10 dez. 2024.

PEREIRA, Vália Gomes Alves. **Avaliação do coeficiente de difusão de cloretos em concretos: influência do tipo de cimento, relação a/c, da temperatura e tempo de cura**. 2001. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2801/000326378.pdf?sequence=1>. Acesso em: 24 out. 2024.

TARKETT. **A importância do contrapiso no mundo dos pisos vinílicos**. 2019. Disponível em: [https://tarkett.com.br/blog/a-importancia-do-contrapiso-no-mundo-dos-pisos-](https://tarkett.com.br/blog/a-importancia-do-contrapiso-no-mundo-dos-pisos-vinilicos/#:~:text=Para%20uma%20instala%C3%A7%C3%A3o%20segura%2C%20%20A9,5%25%20de%20umidade%20no%20contrapiso.&text=Para%20que%20o%20vin%C3%ADlico%20n%C3%A3o,moderado%2C%20pesado%20e%20muito%20pesado.&text=Problemas%20com%20umidade%20no%20contrapiso,pode%20ir%20por%20%C3%A1gua%20abaixo)

[vinilicos/#:~:text=Para%20uma%20instala%C3%A7%C3%A3o%20segura%2C%20%20A9,5%25%20de%20umidade%20no%20contrapiso.&text=Para%20que%20o%20vin%C3%ADlico%20n%C3%A3o,moderado%2C%20pesado%20e%20muito%20pesado.&text=Problemas%20com%20umidade%20no%20contrapiso,pode%20ir%20por%20%C3%A1gua%20abaixo](https://tarkett.com.br/blog/a-importancia-do-contrapiso-no-mundo-dos-pisos-vinilicos/#:~:text=Para%20uma%20instala%C3%A7%C3%A3o%20segura%2C%20%20A9,5%25%20de%20umidade%20no%20contrapiso.&text=Para%20que%20o%20vin%C3%ADlico%20n%C3%A3o,moderado%2C%20pesado%20e%20muito%20pesado.&text=Problemas%20com%20umidade%20no%20contrapiso,pode%20ir%20por%20%C3%A1gua%20abaixo). Acesso em: 10 jun. 2025.

TECNOSIL. **Retração do concreto: o que é e como minimizá-lo**. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/retracao-do-concreto-o-que-e-e-como-minimiza-la-2/#:~:text=Em%20condi%C3%A7%C3%B5es%20anormais%2C%20a%20retra%C3%A7%C3%A3o,a%20principal%20causa%20desse%20fen%C3%B4meno..> Acesso em: 18 nov. 2024.

Yushu, Wang., Minglei, Yang., Feifei, Shen., Min, Zhou., Wenli, Du. (2024). 3. **Conceptual design and life-cycle environmental and economic assessment of low-carbon cement manufacturing processes**. *Journal of Cleaner Production*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652624027987>. Acesso em: 03 nov. 2024.

CAPRARO, Ana Paula Brandão *et al.* Influence of internal sulfate attack on cement paste properties: contamination by pyrite. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v. 14, n. 6, p. 1-14, 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952021000600006>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000600006>. Acesso em: 19 jun. 2025.

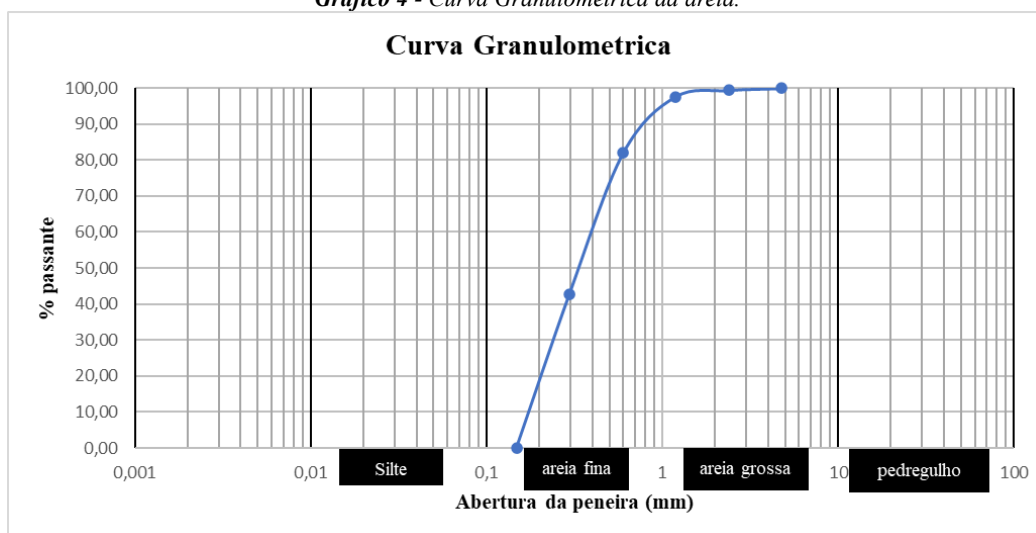
APÊNDICE A – ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA AREIA

Tabela 14 - Ensaio de Granulometria da areia.

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida		Massa retida		Variação	Média	Acumulada	Passa na Peneira
	A (g)	B (g)	A (%)	B (%)	+/- 4%			
4,78	0,270	0,340	0,09	0,11	0,02	0,10	0,10	99,90
2,38	1,790	1,470	0,57	0,47	0,10	0,52	0,62	99,38
1,19	5,630	5,540	1,79	1,76	0,03	1,78	2,39	97,61
0,6	47,940	50,650	15,26	16,12	0,87	15,69	18,08	81,92
0,297	121,160	125,660	38,56	40,00	1,45	39,28	57,36	42,64
0,149	137,460	130,460	43,74	41,53	2,21	42,64	100,00	0,00
Fundo	12,650	10,800						
Total	326,900	324,920	100,00	100,00		100,00		

		Perdas %
Massa Inicial A (g)	315	0,238
Massa Inicial B (g)	315	0,279
Diâmetro máximo (mm)	1,19	
Modulo finura	1,75	

Gráfico 4 - Curva Granulométrica da areia.



Fonte: A autora (2025).

Pedregulho – solos formados por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,0 e 60,0 mm. Quando arredondados ou semi-arredondados, são denominados cascalhos ou seixos. Divide-se quanto ao diâmetro em: pedregulho fino – (2 a 6 mm), pedregulho médio (6 a 20 mm) e pedregulho grosso (20 a 60 mm).

Areia – solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm. As areias de acordo com o

diâmetro classificam-se em: **areia fina (0,06 mm a 0,2 mm)**, **areia média (0,2 mm a 0,6 mm)** e **areia grossa (0,6 mm a 2,0 mm)**.

Silte – solo que apresenta baixo ou nenhuma plasticidade, baixa resistência quando seco ao ar. Suas propriedades dominantes são devidas à parte constituída pela fração silte. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm.

Argila – solo de graduação fina constituída por partículas com dimensões menores que 0,002 mm

APÊNDICE B – GRANULOMETRIA A LASER

Figura 25 - Granulometria a laser areia de rio.

Dados da análise	
Nome da Particula	Areia
Índice de refração da particula	1,544
Índice de absorção da particula	1
Dispersante	Water
Índice de refração do dispersante	1,33
Dispersor da amostra	Hydro 2000MU (A)
Modelo de análise	General purpose
Obscuração (%)	18,76
Resíduo (%)	3,419
Concentração (%volume)	0,8564
Span	1,091
Tipo de transformação de resultado	Volume
Volume médio ponderado D [4, 3] (µm)	338,96
Uniformidade	0,337
Área de superfície específica (m ² /g)	0,0207
Superfície média ponderada D [3, 2] (µm)	290,312
d (0,1) (µm)	184,77
d (0,5) (µm)	315,971
d (0,9) (µm)	529,625
d (0,6) (µm)	348,584

Fonte: A autora (2025).

Figura 26 - Granulometria a laser das cinzas do caroço de açaí.

Dados da análise	
Nome da Particula	Fraunhofer
Índice de refração da particula	0
Índice de absorção da particula	0
Dispersante	Water
Índice de refração do dispersante	1,33
Dispersor da amostra	Hydro 2000MU (A)
Modelo de análise	General purpose
Obscuração (%)	7,46
Resíduo (%)	0,266
Concentração (%volume)	0,0139
Span	2,313
Tipo de transformação de resultado	Volume
Volume médio ponderado D [4, 3] (µm)	40,326
Uniformidade	0,891
Área de superfície específica (m ² /g)	0,475
Superfície média ponderada D [3, 2] (µm)	12,637
d (0,1) (µm)	6,381
d (0,5) (µm)	28,879
d (0,9) (µm)	73,173
d (0,6) (µm)	35,594

Fonte: A autora (2025).

APÊNDICE C – FRX

Figura 27 - FRX do Cimento CII-Z 32.

10-Oct-2024 08:53:54

Sample results

Page

Sample ident	
FRX OUT 18	

Application	<Omnian>
Sequence	1 of 1
Position	8
Measurement time	03-Oct-2024 14:03:33

Normalisation factor	1.692
Minimum He Flow (l/min)	0.74

Compound	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	Ti	V	Cr	Mn	Fe2O3	Ni
Conc	1.162	3.517	16.607	2.665	1.697	68.906	0.253	152.0	219.0	570.2	4.823	133.0
Unit	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm

Compound	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ag	Sn	Sm	Pb
Conc	128.0	12.4	98.7	113.5	509.6	55.7	231.9	60.3	0.131	69.2	0.0	24.6
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm

Compound	Eu	Lu	Re	Ir
Conc	0.0	0.0	0.0	0.0
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm

Fonte: A autora (2025).

Figura 28 - FRX Cinza do Carço de Açai.

22-Mar-2024 15:05:22

Sample results

Page 1

Sample ident	
FRX MAR 21	

Application	<Omnian>
Sequence	1 of 1
Position	5
Measurement time	22-Mar-2024 13:39:41

Normalisation factor	2.641
Minimum He Flow (l/min)	0.87

Compound	MgO	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	Ti	Cr	Mn	Fe2O3	Ni	Cu
Conc	2.447	4.703	8.622	7.561	4.982	55.152	13.246	133.4	92.3	1.926	0.587	104.2	869.9
Unit	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm

Compound	Zn	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Ag	Ce	Os
Conc	0.139	177.7	0.242	351.2	0.0	7.9	0.219	11.5	2.6
Unit	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm

Fonte: A autora (2025).