



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARRI
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FRANCISCO ALANARIO NOGUEIRA LACERDA

**AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO COM
TEORES DE RESÍDUOS DAS ATIVIDADES EXTRATIVISTAS DE MACAÚBA,
COCO BABAÇU E JATOBÁ NO CARIRI CEARENSE**

JUAZEIRO DO NORTE

2026

FRANCISCO ALANARIO NOGUEIRA LACERDA

**AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO COM
TEORES DE RESÍDUOS DA ATIVIDADE EXTRATIVISTA DE MACAÚBA,
BABAÇU E JATOBÁ NO CARIRI CEARENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Programa de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal
do Cariri, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Aerson Moreira
Barreto

JUAZEIRO DO NORTE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Cariri
Sistema de Bibliotecas

L131a Lacerda, Francisco Alanario Nogueira.
Avaliação de resistência à compressão de concreto com teores de resíduos das
atividades extrativistas de macaúba, coco babaçu e jatobá no Cariri Cearense /
Francisco Alanario Nogueira Lacerda. – 2026.
54 f. : il. color.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências e Tecnologia,
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro
do Norte, CE, 2026.

Orientador: Prof. Dr. Aerson Moreira Barreto.

1. Engenharia civil. 2. Materiais de construção - Concreto alternativo - Traço.
3. Bioagregados - Resíduos vegetais - Macaúba - Coco babaçu - Jatobá. 4. Mecânica das
estruturas - Resistência à compressão - Ensaios laboratoriais. 5. Sustentabilidade - Cariri
cearense. I. Barreto, Aerson Moreira (Orient.). II. Universidade Federal do Cariri.
III. Título.

CDD 624.1834

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade que me concedeu de poder terminar a graduação em engenharia civil, pois sem a permissão dele não estaria aqui.

Aos meus pais, que tanto sonharam comigo para que esse momento se concretizasse, em especial ao meu pai Nazário, in memoriam, que tanto me incentivou e batalhou de sol a sol em prol da minha formatura.

À minha irmã Talinny, que sempre se preocupou comigo e me incentivou durante todo esse árduo e longo processo.

Ao meu amigo Diego, que tanto me ajudou e colaborou para que essa pesquisa fosse desenvolvida.

Aos monitores do LAMAC, em especial a Renata que sempre colaborou com o desenvolvimento do trabalho, sempre disposta a ajudar nos momentos mais trabalhosos.

Ao meu orientador, professor Aerson Moreira Barreto, que esteve sempre junto, tirando dúvidas e auxiliando na formulação de ideias.

Ao técnico do laboratório de estruturas e membro da banca, mestre Igor Silva, que sempre esteve disposto a ajudar, propondo ideias e auxiliando nos procedimentos realizados no LAMAC.

À banca examinadora por aceitar participar, especialmente a professora Fabiana, que trouxe contribuições importantes.

RESUMO

O concreto é amplamente utilizado na construção civil, sendo constituído por cimento, água e agregados como areia e brita, podendo ainda incorporar aditivos e/ou adições que aprimoram sua trabalhabilidade e resistência. Entretanto, sua produção está associada ao elevado consumo de recursos naturais não renováveis e à geração expressiva de resíduos, configurando-se como uma atividade de significativo impacto ambiental. Nesse contexto, intensifica-se a busca por soluções mais sustentáveis que minimizem esses efeitos. Entre essas alternativas, destaca-se o uso do concreto alternativo, obtido a partir da substituição parcial dos agregados convencionais por resíduos de origem vegetal provenientes de atividades extrativistas. Considerando esse panorama, o presente estudo tem como objetivo avaliar o desempenho do concreto alternativo, com a utilização de resíduos de macaúba, coco babaçu e jatobá. Os concretos alternativos analisados foram produzidos com substituição parcial dos agregados miúdos, sendo os bioagregados previamente caracterizados quanto às suas propriedades físicas e incorporados em teores de 10% e 30%. Além disso, foi elaborado um concreto convencional de referência, utilizado como base para comparação da resistência final e para a definição do traço dos concretos alternativos desenvolvidos. Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados aos 7 e 28 dias. Nos ensaios de abatimento, com exceção da mistura contendo 10% de macaúba, foram obtidos valores elevados, variando entre 160 mm e 225 mm. Já os resultados de resistência à compressão indicaram que a substituição parcial dos agregados convencionais por resíduos vegetais ocasionou redução na resistência final, sendo essa influência dependente do tipo e do teor de bioagregado empregado. A análise estatística revelou que a macaúba apresentou o desempenho mais promissor entre os materiais estudados, com o traço contendo 10% de substituição atingindo resistência à compressão de 14,83 MPa, o melhor resultado entre os concretos alternativos. Em contrapartida, o jatobá apresentou os menores valores de resistência, possivelmente em função de sua elevada taxa de absorção de água.

Palavras-chave: Concreto Alternativo, Macaúba, Jatobá, Babaçu, Bioagregado, Resíduos Vegetais.

ABSTRACT

Concrete is widely used in civil construction, consisting of cement, water, and aggregates such as sand and gravel, and may also incorporate additives and/or admixtures that improve its workability and strength. However, its production is associated with the high consumption of non-renewable natural resources and the significant generation of waste, making it an activity with a significant environmental impact. In this context, the search for more sustainable solutions that minimize these effects is intensifying. Among these alternatives, the use of alternative concrete stands out, obtained from the partial replacement of conventional aggregates with plant-based waste from extractive activities. Considering this scenario, the present study aims to evaluate the performance of alternative concrete using waste from macauba, babassu coconut, and jatobá. The alternative concretes analyzed were produced with partial replacement of fine aggregates, with the bioaggregates previously characterized in terms of their physical properties and incorporated in proportions of 10% and 30%. Furthermore, a conventional reference concrete mix was developed, used as a basis for comparing the final strength and for defining the mix design of the alternative concrete mixes developed. Axial compression strength tests were performed at 7 and 28 days. In the slump tests, with the exception of the mixture containing 10% macauba, high values were obtained, ranging from 160 mm to 225 mm. The compression strength results indicated that the partial replacement of conventional aggregates with vegetable residues caused a reduction in final strength, this influence being dependent on the type and content of bioaggregate used. Statistical analysis revealed that macauba showed the most promising performance among the materials studied, with the mix containing 10% replacement reaching a compressive strength of 14.83 MPa, the best result among the alternative concrete mixes. In contrast, jatobá showed the lowest strength values, possibly due to its high water absorption rate.

Keywords: Alternative Concrete, Macaúba, Jatobá, Babassu, Bioaggregate, Vegetable Waste.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Justificativa	9
1.2	Objetivos	10
1.2.1	Objetivo Geral	10
1.2.2	Objetivos Específicos	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Concreto Convencional	11
2.2	Concreto com resíduos vegetais	12
2.3	Atividade extrativista no Cariri Cearense	13
2.3.1	Ativida extrativista de Macaúba	14
2.3.2	Atividade extrativista de Coco babaçu	15
2.3.3	Atividade extrativista de Jatobá.....	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1	Tipo de pesquisa	18
3.2	Materiais	18
3.2.1	Materiais utilizados	18
3.3	Método da pesquisa	18
3.3.1	<i>Etapas da pesquisa</i>	18
3.3.2	Caracterização granulométrica agregado graúdo.....	19
3.3.3	Caracterização granulométrica dos bioagregados	20
3.3.4	Densidade e absorção dos bioagregados	22
3.3.5	Densidade e absorção de água (agregado miúdo)	23
3.3.6	Ensaio de massa unitária e índice de vazios.....	26
3.3.7	Caracterização da massa específica e absorção do agregado graúdo.....	26
3.3.8	Massa unitária do agregado miúdo (Método C – estado solto).....	26
3.3.8	Massa unitária do agregado graúdo (Método A – estado compactado).....	27
3.4	Definição do traço	27
3.5	Produção do concreto	29
3.6	Ensaio de abatimento de tronco de cone	29

3.7	Ensaio de abatimento de tronco de cone	29
3.8	Ensaio de resistência à compressão axial	31
3.9	Análise estatística	32
4	RESULTADO E DISCUSSÕES	33
4.1	Agregado miúdo (densidade e absorção de água)	33
4.2	Bioagregados (densidade e absorção de água).....	34
4.3	Granulometria dos bioagregados e agregado miúdo (areia).....	35
4.4	Granulometria agregado graúdo (brita).....	36
4.5	Agregado miúdo e graúdo (massa unitária)	36
4.6	Dosagem do concreto	36
4.6.1	Traço referência	37
4.6.2	Concretos alternativos	38
4.7	Ensaio de abatimento de tronco de cone	39
4.8	Resistência à compressão axial	41
4.9	Análise do resultado do ensaio de resistência à compressão axial.....	41
4.10	Análise estatística	42
5	CONCLUSÕES	45
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE 1.....	50

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o principal material composto utilizado na construção civil, sendo obtido a partir da mistura do cimento, água, agregados graúdos (brita), agregados miúdos (areia), podendo ser utilizados também aditivos específicos que resultam em uma melhor trabalhabilidade e resistência do material. Através da mistura desses elementos pode se obter uma liga que pode ser moldada, e pode ser definida como dosagem de concreto, podendo ser utilizada para diversas aplicações. A preparação do concreto pode ser feita de diversas formas, seja manualmente, em betoneiras ou em usinas de concreto, cada uma possuindo as suas vantagens e desvantagens (Couto, *et al.*, 2013).

O impacto ambiental da construção civil não se encontra apenas em um setor, ele está por trás de toda uma cadeia produtiva, para que essa atividade funcione de forma eficiente, desde a extração de matéria prima para construção até a destinação de resíduos advindos da demolição após a vida útil. Todo esse processo é influenciado por outros fatores que são determinantes para que a atividade seja executada dentro de padrões pré- estabelecidos, como normas técnicas, planos diretores ou ainda políticas públicas. Essas etapas envolvem vários setores, dentre eles os recursos ambientais e econômicos, gerando impactos sociais, que atingem cidadãos e empresas e não apenas aqueles que estão envolvidos diretamente (John; Agopyan, 2011).

O processo que envolve a construção civil, desde a extração de matéria prima com a utilização em grande escala de energia, até o transporte desses recursos gera diversos impactos ao meio ambiente, pois são extraídos de fontes naturais não renováveis (Azevedo; Valporto, 2016).

Conforme Shafigh *et al.* (2014) o bioconcreto fabricado com teores de resíduos agrícolas apresentam melhores propriedades térmicas em pesquisas desenvolvidas, contribuindo, dessa forma, para o processo sustentável na categoria energia e atmosfera no sistema de classificação LEED (Liderança em Energia e Design Ambiental).

A biomassa vegetal tem grande potencial sustentável, sendo esse um recurso natural renovável, e pode ser utilizada de forma alternativa para o concreto convencional, pois apresenta fibras orgânicas que podem ser utilizadas na produção de bioconcretos (Santiago *et al.*, 2021).

Estudos nessa área têm sido desenvolvidos com a intenção de buscar soluções que

possam sanar esse problema, dentre esses estudos pode se destacar a pesquisa realizada por Freire e Milani (2006), que desenvolveram solo-cimento-casca de arroz para eventual utilização em elementos construtivos, buscando condições para minimizar possível degradação ambiental. Ainda nessa perspectiva, Andrade (2022), considerou o endocarpo de macaúba como agregado miúdo para a produção de bioconcreto como uma alternativa promissora, considerando que esse material é de origem natural renovável, podendo atender demandas com baixo impacto ambiental em relação ao concreto convencional.

1.1 Justificativa

A construção civil tem se tornado uma das principais responsáveis pelo alto consumo de energia e recursos naturais não renováveis, causando como consequência uma alta produção de resíduos sólidos e líquidos, que costumeiramente são descartados no meio ambiente. Esses resíduos, em grande volume, causam um desequilíbrio ambiental e favorecem o surgimento de diversos problemas socioambientais. Dessa forma, faz-se necessário contribuir para que essa atividade seja menos prejudicial ao meio ambiente, recorrendo a materiais mais sustentáveis e tecnologias que possam contribuir para o conforto das pessoas, a diminuição da poluição e a economia da matéria prima (Cunha, 2022).

A sustentabilidade se tornou um tema muito discutido no setor da construção civil, por ser um setor que gera muitos resíduos e causa grande impacto ambiental. Com o objetivo de diminuir esses impactos, muitas alternativas sustentáveis têm surgido com a intenção de apresentar soluções que sejam eficientes e tecnicamente viáveis (Santiago; Botelho; Santarém, 2021).

Uma alternativa viável e promissora é a utilização do endocarpo de macaúba como substituto do agregado miúdo, por ser um material renovável e que causa um pequeno

impacto ao meio ambiente, sabendo que o mesmo é forte aliado na geração de novas tecnologias, valorizando o produto (Andrade, 2022).

Considerando pesquisas relacionadas com a ideia de sustentabilidade e utilização de resíduos agrícolas para a produção de bioconcreto. Azevedo *et al.* (2019) afirma que construção civil pode utilizar vários resíduos em seus segmentos, por exemplo, a utilização de cinzas e escórias na produção de cimentos e argamassas, porém, para que um resíduo seja útil para a construção civil, a sua viabilidade técnica deve ser analisada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o abatimento no estado fresco e a resistência à compressão axial no estado endurecido do concreto, com substituição parcial do agregado miúdo por teores de resíduos de macaúba, coco babaçu e jatobá, obtidos das atividades extrativistas da região do Cariri.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a resistência à compressão e comparar o desempenho do concreto vegetal com o concreto convencional;
- Analisar a viabilidade técnica do uso dos concretos alternativos com bioagregados, objeto deste estudo, a partir da resistência à compressão axial;
- Avaliar por meio de análise estatística com tabela ANOVA e teste de Tuckey os dados obtidos no ensaio de resistência à compressão axial, aos 28 dias, dos corpos de prova desenvolvidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto Convencional

Pedroso (2009) afirma que o concreto é uma espécie de pedra artificial que pode ser moldada conforme a criatividade da construção humana. O homem desenvolveu um material que, depois de endurecer, apresenta resistência semelhante à das rochas naturais e, enquanto ainda está fresco, possui consistência plástica, permitindo ser modelado em diferentes formas e tamanhos.

Ribeiro *et al.* (2016) afirmam que a qualidade do concreto é uma preocupação importante na construção civil, pois precisa atender a propriedades como resistência à compressão, módulo de elasticidade e trabalhabilidade para garantir o desempenho e a segurança estrutural exigidos pelas normas. Essa qualidade pode variar devido a fatores como a dosagem, o tipo de material utilizado e o processo de produção.

Segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials), o concreto é um material compósito formado por um aglomerante (cimento com água) que une agregados de diferentes tipos. Esses agregados podem ser miúdos (menores que 4,75 mm, como areia) ou graúdos (maiores que 4,75 mm, como brita). Também podem ser adicionados aditivos e adições químicas para modificar propriedades do material conforme as necessidades da construção (Pedroso, 2009).

De acordo com Inês Battagin, da (ABNT) Associação Brasileira de Normas Técnicas, o concreto é basicamente uma mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, com ou sem aditivos, que adquire resistência e outras propriedades à medida que a pasta de cimento endurece (Pedroso, 2009).

Duas características que fazem do concreto um material muito utilizado na construção são a resistência à água já que, ao contrário do aço e da madeira, ele se deteriora menos quando exposto à umidade, sendo bastante usado em obras de controle, armazenamento e transporte de água e a sua plasticidade, que possibilita criar formas arquitetônicas variadas e até incomuns, como nas obras de Niemeyer. Além disso, o concreto apresenta outras vantagens, como a grande disponibilidade de seus materiais básicos e o baixo custo (Pedroso, 2009).

A consistência do concreto refere-se à facilidade de escoamento e à coesão do material. Já a trabalhabilidade diz respeito à capacidade do concreto de se adequar às etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento. Assim, a consistência faz parte do conceito mais amplo de trabalhabilidade, estando ligada principalmente ao comportamento do concreto durante o

lançamento. A maioria dos métodos que analisam o concreto no estado fresco avalia sua capacidade de fluxo, ou seja, sua consistência (Romano *et al.*, 2022).

2.2 Concreto com resíduos vegetais

Gomes *et al.* (2023) afirmam que o bioconcreto utiliza partículas provenientes de biomassa vegetal em sua composição, formando um compósito que aglutina com uma matriz cimentícia. Ayala *et al.* (2002) *apud* Farra (2004), procurou encontrar soluções para destinar os resíduos de madeira produzido pelas serrarias, com o objetivo de agregar valor a esses resíduos e entre as possíveis utilizações desses resíduos, o autor destacou a produção do concreto com resíduos vegetais.

Lima (2020, p. 29) define que

Os bioconcretos são materiais compostos por agregados de origem vegetal adicionados a uma matriz cimentícia. Se diferem dos compósitos fibrosos no quesito de quantidade de biomassa, pois este último utiliza no máximo 10% e funciona como reforço, enquanto que o bioconcreto utiliza biomassa como agregado. Os bioagregados trazem leveza e isolamento termoacústico para as misturas.

Aguiar *et al.* (2022) destacaram a importância de concretos alternativos produzidos com resíduos de madeira, indicando que esses materiais possuem baixa densidade, melhoram a eficiência energética de uma edificação e são capazes de armazenar CO₂. Para determinar como esse material se comporta mecanicamente, o autor avaliou a influência de diferentes teores de bioagregados de madeira na resistência à compressão e à tração desses bioconcretos. Ainda conforme Aguiar *et al.* (2022), os bioconcretos estudados e desenvolvidos a partir da proporção de 40, 45 e 50% de bioagregados de cerragem de madeira, obtiveram uma resistência à compressão de 4,35, 8,45 e 5,82 MPa respectivamente, aos 28 dias.

De acordo com Aguiar *et al.* (2022), na produção do concreto alternativo foi considerada a incorporação de uma quantidade adicional de água correspondente à absorção do agregado alternativo, denominada “água de compensação”. Essa medida teve como objetivo evitar prejuízos ao processo de hidratação do cimento e à trabalhabilidade da mistura. Tanto a água de hidratação quanto a água de compensação foram adicionadas de forma gradual, até que se atingisse a completa homogeneização do concreto alternativo.

Rosa (2024) destaca a dificuldade na produção de bioconcretos, principalmente devido

à elevada capacidade de absorção de água dos bioagregados utilizados. Diante disso, a autora ressalta que esses materiais costumam ser empregados na condição saturada ou com a adoção de uma compensação hídrica. Essa compensação consiste na adição de uma quantidade extra de água, além daquela necessária para a hidratação do cimento, correspondente ao fator água/cimento.

Neto *et al.* (2024) analisaram a viabilidade de substituir parcialmente o agregado graúdo (brita) do concreto pelo endocarpo do caroço da macaúba, buscando uma alternativa mais sustentável para a construção civil. Foram produzidos corpos de prova com substituições de 0%, 10%, 30% e 50%, avaliados por meio de ensaios de resistência à compressão aos 7, 14 e 21 dias de cura. Aos 21 dias, o concreto sem substituição apresentou resistência média de 16,4 MPa, enquanto as substituições de 10%, 30% e 50% apresentaram 10,8 MPa, 7,2 MPa e 6,4 MPa, respectivamente. Os resultados indicaram redução significativa da resistência à medida que aumentava o percentual de substituição. Além disso, foram observadas fissuras nos corpos de prova com endocarpo, atribuídas à absorção de água e à expansão do material durante a cura.

2.3 Atividade extrativista no Cariri Cearense

A atividade de extrativismo natural contribui de forma muito importante na geração de renda para muitas famílias de algumas comunidades, com grande potencial na comercialização de produtos como frutos, farinhas, óleos e carvão. Esses produtos suprem a necessidade de consumo dessas comunidades, que são ligadas em tradições que perpassam gerações e não a uma produção em larga escala. Entretanto, por ser uma atividade que demanda mão de obra específica e desgastante, as gerações recentes, principalmente as das regiões urbanas acabam deixando essa prática de lado em busca de outras fontes de renda que sejam menos trabalhosa (Cardoso *et al.*, 2020).

Apesar disso, os recursos naturais de macaúba no Nordeste, mesmo que pouco explorados, tendem a oferecer oportunidade de aumentar a renda local em curto prazo, para isso é necessário que uma cadeia produtiva seja criada que envolva as duas fazes, tanto a coleta da matéria prima quanto a produção de novos produtos através dela. Essa organização poderia gerar empregos e também contribuir para que a região cresça economicamente, aproveitando todo o seu potencial que outrora foi desperdiçado (Cardoso *et al.*, 2020).

Homma (2008, p. 20) afirma que

A conceituação de extrativismo envolve desde processos empíricos, com a baixa produtividade da terra e da mão-de-obra, até processos de capital intensivo, como se verifica no extrativismo madeireiro, mineral e pesca. O IBGE conceitua o extrativismo vegetal como sendo o processo pelo qual o homem realiza a coleta ou apanha de produtos provenientes dos recursos florestais nativos, tais como: madeiras, látex, sementes, folhas, resinas, óleos, frutos, raízes e outros.

O extrativismo, nas comunidades da região do cariri, funciona como uma fonte complementar de renda, uma vez que permite o aproveitamento imediato dos frutos disponíveis na safra, sem a necessidade de insumos como fertilizantes ou defensivos, como ocorre nas lavouras comerciais. Além disso, uma vantagem importante é a possibilidade de extração de óleo dos frutos, processo que ainda seja rudimentar, agrega valor à produção. No entanto, a atividade enfrenta desafios significativos, o rendimento da coleta de cocos é baixo e não existe um plano de manejo tecnicamente sustentável (Cardoso *et al.*, 2020).

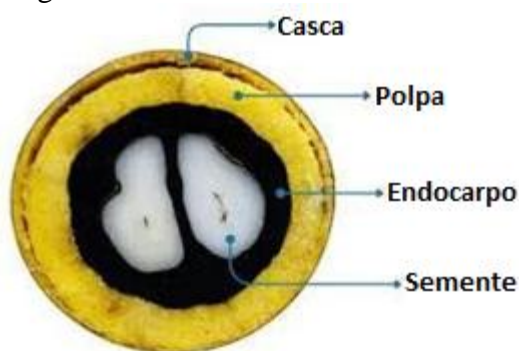
2.3.1 Atividade extrativista de Macaúba

A macaúba produzida no estado do Ceará é resultante da atividade extrativista desenvolvida por agricultores familiares, que na sua maior parte é composto por mulheres da comunidade que visam aumentar a renda das suas famílias (Cardoso *et al.*, 2020).

No estado do Ceará, as regiões que possuem maior quantidade de macaúba são as regiões do Cariri e a serra da Ibiapaba, conforme levantamento feito pela Ematerce (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará). No entanto as famílias da região acabam deixando a coleta do fruto da macaúba em segundo plano, se dedicando de maneira prioritária ao cultivo da lavoura, desde o preparo do solo, cultivo até a colheita, e a criação de animais. A safra geralmente começa na segunda metade de outubro até o mês de abril, dependendo do período chuvoso de cada ano (Cardoso *et al.*, 2020).

O agroextrativismo é a realidade de muitas famílias que residem no Arajara, distrito de Barbalha, essa região é rica em coco babaçu e pode ser encontrado com facilidade, essa prática é a realidade dessas pessoas de geração em geração, bem anterior até mesmo a fundação do distrito, conforme moradores locais relatam. Diversos itens são produzidos através do babaçu, mas atualmente existe uma maior concentração na produção do óleo de babaçu (Pereira, 2019). A figura 1 mostra a composição da macaúba.

Figura 1: Macaúba



Fonte: Scottech, 2024

De acordo com Scottech (2014) a macaúba possui na parte exterior a “Casca”, que protege a “Polpa”, em seguida mais internamente tem-se o “Endocarpo” que no interior detem a “semente”.

2.3.2 Atividade extrativista de Coco babaçu

Lorenzi (2004) *apud* Nunes *et al.* (2019) afirmam que o babaçu é uma planta nativa do Brasil, encontrada com certa facilidade em diversas regiões do interior do país, desde o estado do Amazonas até o estado de São Paulo. Porém as maiores concentrações desse coco são encontradas nos estados do Maranhão e Piauí, além de outras áreas isoladas nos estados do Ceará, Pernambuco e Alagoas.

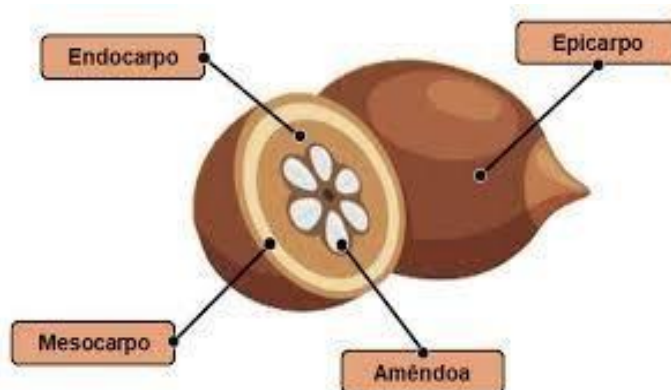
Na região do Cariri, especificamente no Arajara, a população, em sua grande parte, sempre se dedicou à atividade agroextrativista, na qual o babaçu, junto com o pequi e a macaúba são extraídos por pessoas envolvidas com a agricultura. Entretanto, o extrativismo sempre foi uma atividade secundária na economia local (Pereira, 2019).

O fruto do coco babaçu é composto por diferentes partes, cada uma delas com características diferentes e específicas. O epicarpo, que é a camada externa, é fibroso e representa 12% do fruto e tem uma aparência amarelo avermelhada.

A camada intermediária, denominada mesocarpo, é rica em amido, e corresponde a 20% do fruto. Já o endocarpo, que é a parte que será aproveitada na pesquisa, envolve as amêndoas e protege as sementes, corresponde a 58% do fruto e é usado para a produção de carvão vegetal de qualidade alta, e possui um aspecto visual marrom (Lorenzi, 2004 *apud* Nunes *et al.*, 2019). A figura 2 mostra a composição do fruto do babaçu, onde pode-se visualizar o “Epicarpo” externamente, em seguida o “Endocarpo” que são partes proteroras das partes mais internas como o “Endocarpo” que é uma parte mais dura, e no seu interior tem-se a “Amêdoas”,

que é comercializada pelas comunidades extrativistas (Atenaeditora, 2023).

Figura 2 – Demonstração do coco babaçu



Fonte: Atenaeditora, 2023

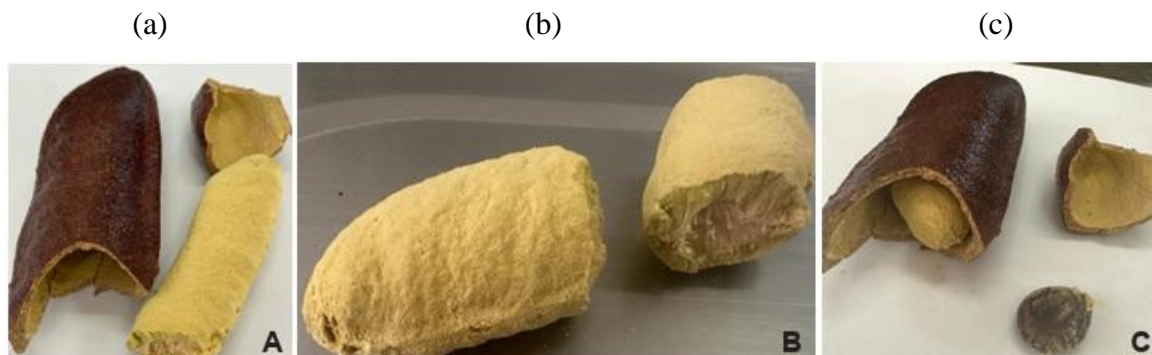
Pereira (2019) afirma que, ao chegar no local, conhecendo a região, fica evidente que essa atividade nunca foi central, mas sim realizada por um grupo específico, na sua maioria composto por mulheres e crianças. Para esse grupo, a extração do babaçu representa a única fonte de renda para a sobrevivência de suas famílias. As palmeiras e os seus frutos têm uma ligação que vai além da economia, sendo um produto com valor efetivo e simbólico.

O babaçu pode ser utilizado de várias formas, tanto na forma material ou não, podendo ser amplamente usado na produção de óleo vegetal. No entanto, muitas famílias acabam desistindo dessa atividade, devido as recentes mudanças e dinâmicas do mercado. Aquelas famílias que continuam a trabalhar com o babaçu, em sua grande parte, são os mais velhos que estão envolvidos nessa prática há muito tempo (Pereira, 2019).

2.3.3 Atividade extrativista de Jatobá

Silva *et al.* (2020) analisaram as características físico-químicas do fruto do Jatobá do cerrado e concluiu que a casca compõe a maior parte do fruto, representando aproximadamente 70% do fruto. Ainda conforme Silva *et al.* (2020) o fruto possui característica endurecida, sendo necessário o auxílio de uma ferramenta para a separação da casca, semente e polpa, portanto, a ideia da pesquisa de utilizar a casca do fruto do jatobá na produção de bioconcreto se torna bastante promissora. As partes constituintes do fruto são facilmente identificadas, sendo casca, polpa e sementes. A Figura 3 mostra as características do fruto do jatobá, pode-se observar na parte externa a casca do fruto revestindo a polpa que é a parte interior do mesmo, e dentro da polpa a semente do jatobá (Sobral *et al.*, 2024).

Figura 3: Casca do fruto (a), Polpa (b), Semente fora da polpa (c)



Fonte: Sobral *et al.* (2024)

O jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) é uma espécie bastante conhecida e explorada por extrativistas, sendo considerada rara e de baixa densidade natural. Pertence à família Caesalpiniaceae e caracteriza-se como uma árvore de grande porte, podendo alcançar até 40 metros de altura, com tronco reto e cilíndrico que pode chegar a 2 metros de diâmetro. Possui copa ampla, casca lisa, rígida e acinzentada, folhas alternadas com dois folíolos, flores dispostas em panículas terminais e frutos indeiscentes (Lima *et al.*, 2007).

Todas as partes do jatobá como resina, casca, raízes, seiva e polpa dos frutos são aproveitadas, principalmente para fins medicinais. A planta é utilizada no tratamento de problemas respiratórios, dores e cólicas estomacais, além de atuar como vermífugo, antidiarreico, antioxidante, diurético, expectorante e protetor do fígado. Também é considerada estimulante e energética. A seiva apresenta propriedades semelhantes às do chá preparado com a casca, sendo usada para fortalecer o sistema imunológico e, tradicionalmente por indígenas, para melhorar o desempenho sexual (Lima *et al.*, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2 Tipo de pesquisa

A metodologia desse trabalho é de natureza experimental. Conforme Gil (2002) a pesquisa experimental parte de um problema, o problema da pesquisa deve ser apresentado de forma clara e objetiva, dessa forma um objeto específico é apresentado e as variáveis que podem influenciá-lo são apresentadas.

3.3 Materiais

3.3.1 Materiais utilizados

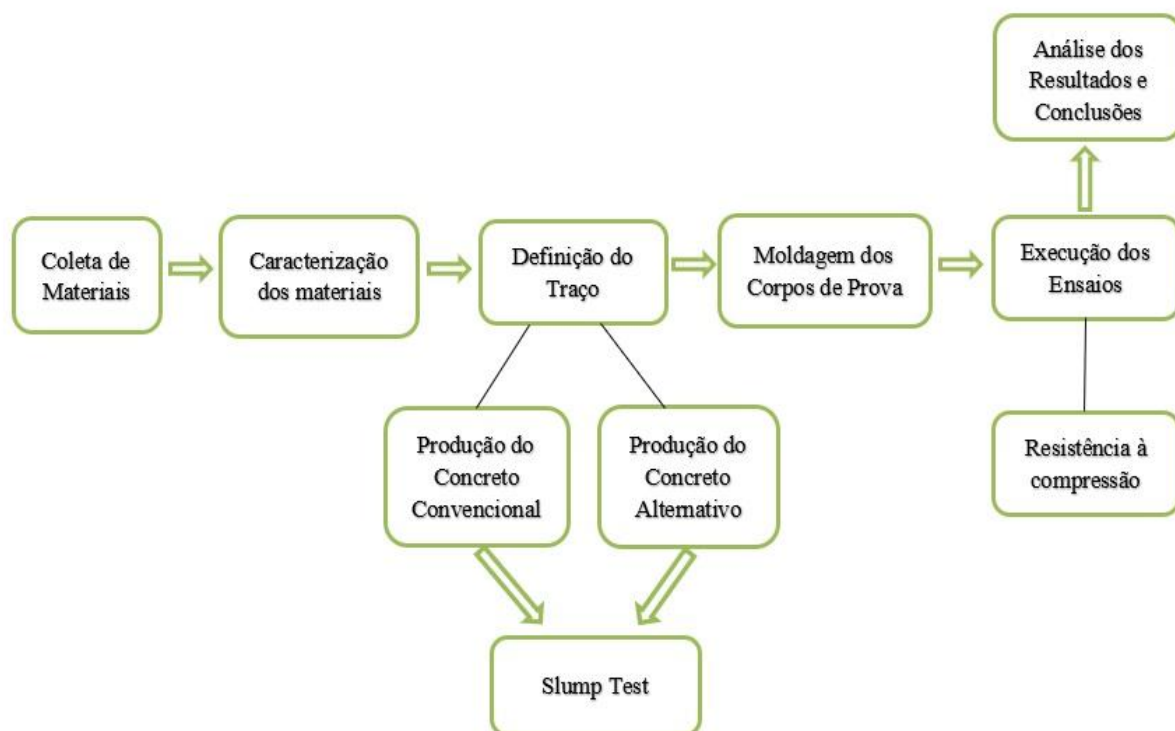
Os materiais utilizados na pesquisa foram o cimento Portland CP II F - 32, devido ser o cimento mais utilizado em obras de pequeno porte e possuir resistência suficiente para a produção do concreto que será utilizado na pesquisa, agregados convencionais e vegetais. Os agregados convencionais foram a areia de rio e a brita 1 provenientes da região rural de Juazeiro do Norte. Os agregados alternativos foram provenientes de resíduos advindos do fruto da macaúba, jatobá e coco babaçu coletados no sítio Macaúba e sítio Arajara, município de Barbalha – CE.

3.4 Método da Pesquisa

3.4.1 Etapas da Pesquisa

O método da pesquisa contou seis etapas, os procedimentos da pesquisa foram feitos a partir da coleta do material vegetal coletados em campo, separação do material que foi aproveitado na pesquisa e posteriormente a trituração do mesmo, produção do concreto utilizando os materiais coletados, moldagem dos corpos de prova e a realização dos ensaios necessários e a análise dos resultados. O fluxograma na Figura 4 demonstra a sequência das etapas.

Figura 4 - Fluxograma das etapas da pesquisa

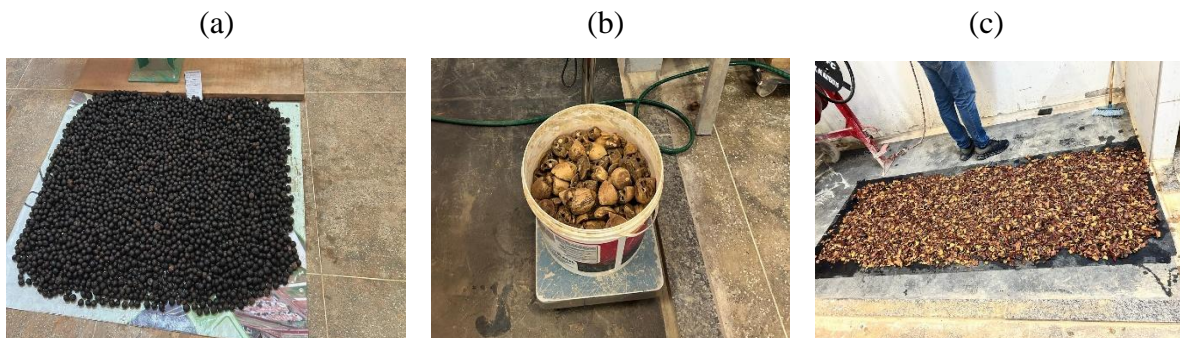


Fonte: O autor, 2026

Coleta dos materiais: Os resíduos foram coletados na região do Arajara, Barbalha-CE, na área rural, nos locais onde são executadas as atividades extrativistas da macaúba, do coco babaçu, e do jatobá.

A figura 5 mostra os materiais coletados antes de serem processados e serem transformados em agregados miúdos.

Figura 5: Resíduo de macaúba (a), resíduo de babaçu (b), resíduo de jatobá (c)



Fonte: O autor, 2025

Caracterização dos materiais: Todos os materiais foram avaliados por meio de ensaios de granulometria, massa unitária, absorção de água e densidade para determinar parâmetros

exigidos pelo método de dosagem de concreto da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). De início, os resíduos vegetais foram submetidos a trituração para se tornarem ideais para a realização da pesquisa, essa trituração consistiu na diminuição desses resíduos, transformando-os em agregado semelhante ao agregado miúdo (areia). Em seguida, esses materiais foram peneirados em uma peneira com abertura de 4,75mm. Conforme critérios da ABNT NBR 7211/2022, o material passante na peneira foi considerado como agregado miúdo e utilizado nas etapas seguintes da pesquisa, a figura 6 mostra o material de coco babaçu após trituração e peneiramento.

Figura 6 - Resíduo de babaçu



Fonte: O autor, 2025

3.3.2 Caracterização granulométrica agregado miúdo

A análise granulométrica do agregado miúdo foi realizada com o objetivo de determinar a distribuição do tamanho das partículas que o compõem, sendo esse um parâmetro fundamental para a condução do experimento e definição da dosagem. O ensaio foi executado conforme as diretrizes da ABNT NBR 17054:2022.

Para garantir a homogeneidade do material, a areia coletada em campo foi reduzida por meio de um quarteador. As amostras obtidas para o ensaio apresentaram massas de 483,66 g (amostra 1) e 485,40 g (amostra 2).

A execução do ensaio compreendeu as seguintes etapas:

Preparação da amostra: As amostras foram submetidas à secagem em estufa, a uma temperatura de $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$, até atingirem massa constante. Considerou-se que o material estava seco quando, em um intervalo de 1 hora, a variação de massa foi inferior a 0,1%. Após

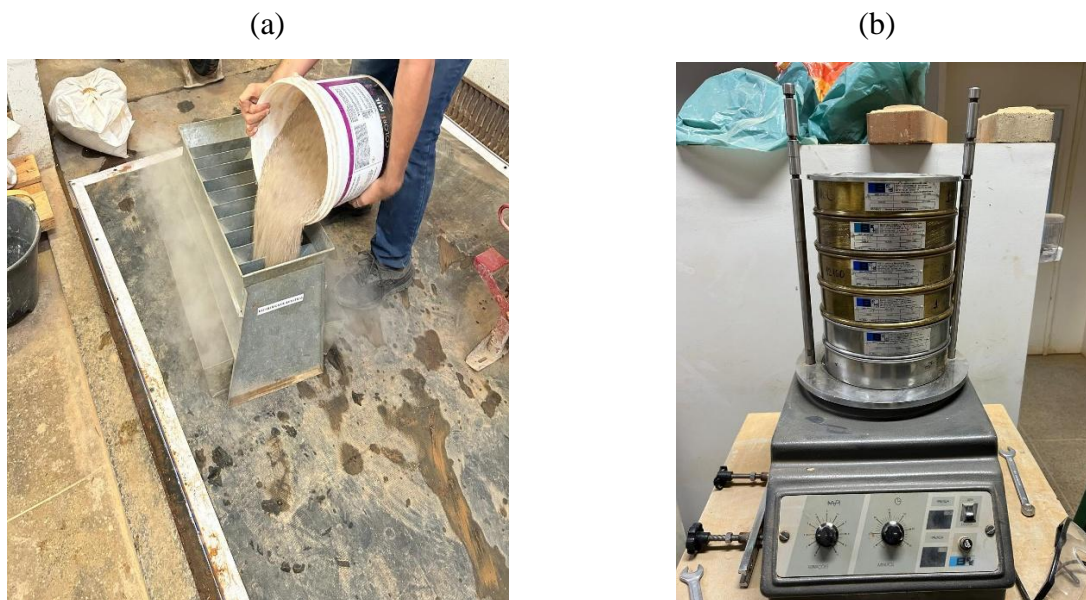
a secagem, as massas das amostras utilizadas no ensaio foram de 482,77 g e 484,20 g, respectivamente. Esses valores atendem ao requisito mínimo de 300 g estabelecido pela ABNT NBR 17054:2022.

Peneiramento: O peneiramento foi realizado utilizando um conjunto de peneiras com aberturas de 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,60 mm, 0,30 mm e 0,15 mm, além de um recipiente coletor no fundo, organizados em ordem decrescente. O processo foi conduzido por meio de agitação mecânica no laboratório de solos da UFCA, sendo finalizado após 1 minuto de operação.

Pesagem: Após o peneiramento, o material retido em cada peneira foi cuidadosamente transferido para recipientes e pesado em balança com precisão de 0,01 g. Como a soma das massas retidas nas peneiras e no fundo apresentou variação inferior a 0,3% em relação à massa inicial seca, o ensaio foi considerado válido.

Após a realização dos ensaios para ambas as amostras, os resultados obtidos foram utilizados para calcular as porcentagens de material retido, permitindo a determinação do módulo de finura da areia e a construção da sua curva granulométrica. A figura 7 mostra o procedimento de quarteamento do material e o conjunto de peneiras sob agitação mecânica.

Figura 7: Quarteamento para realização do ensaio (a), agitador mecânico (b)



Fonte: O autor, 2025

3.3.3 Caracterização granulométrica dos bioagregados

A análise granulométrica dos bioagregados foi realizada para identificar a dimensão de suas partículas, conforme o método da ABNT NBR 17054/2022.

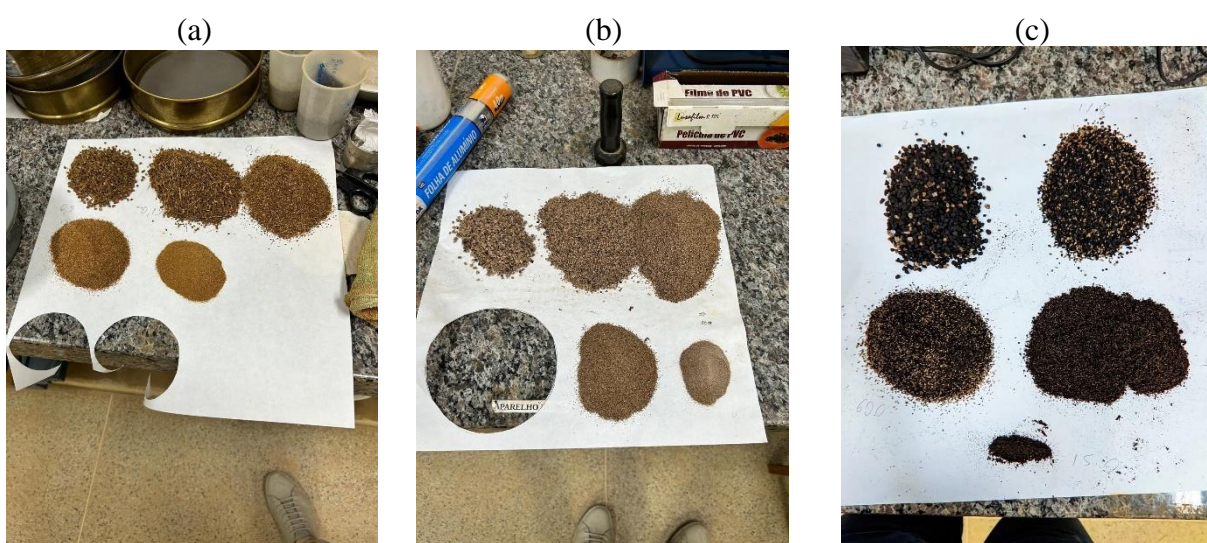
As amostras dos bioagregados foram separadas em duas, para cada bioagregado, as mesmas foram separadas por meio de um quarteador para obter uma amostra que representassem bem cada bioagregado.

Todas as amostraram passaram por processo de secagem em estufa com temperatura de 100°C até atingirem massa constante.

Para o babaçu as massas das amostras secas foram 350,2g e 348,5g, as amostras do jatobá foram de 380,04g e 374,96g no estado seco e para a macaúba as amostras foram de 386,12 e 370,99g, também no estado seco.

As massas secas das amostras estão em conformidade com o que exige a norma para agregados miúdos. Depois da pesagem da massa seca, as amostras foram submetidas ao peneiramento por agitação mecânica no conjunto de peneiras da série normal para granulometria de agregado miúdo, após a agitação, o material retido nas peneiras foi pesado para determinação da granulometria e dimensão máxima característica. A figura 8 mostra os agregados alternativos retidos pelas peneiras durante o ensaio granulométrico.

Figura 8: Procedimento de ensaio granulométrico; babaçu (a), jatobá (b), macaúba (c)



Fonte: O autor, 2025

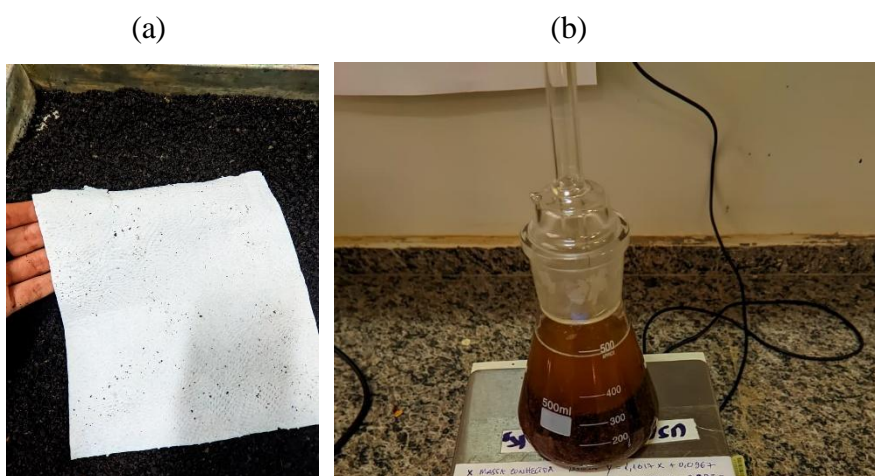
3.3.4 Densidade e absorção dos bioagregados

O ensaio de densidade e absorção de água dos bioagregados seguiu um procedimento similar ao utilizado para a areia, conforme a norma ABNT NBR 16916/2021. O procedimento foi realizado em duas amostras para cada bioagregado, com amostras de 2,5kg, cada, essas amostras foram imersas por 24 ± 4 horas na água para atingir a saturação. Como os agregados

são vegetais, foi adotado o mesmo considerado por Rosa (2024). A condição de superfície saturada seca foi atingida quando um papel toalha foi pressionado sobre a superfície do agregado vegetal e não apresentou mais umidade visível, dessa forma o agregado foi considerado no estado SSS.

Para evitar a degradação do bioagregado, as amostras foram alocadas na estufa sujeitas a uma temperatura de 100°C até atingir a massa constante. A figura 9 mostra os procedimentos do ensaio de absorção e densidade.

Figura 9: Ensaio dos agregados alternativos; absorção (a), densidade (b)



Fonte: O autor, 2025

3.3.5 Densidade e absorção de água (agregado miúdo)

A determinação da densidade do agregado, nas condições seca e saturada com superfície seca (SSS), assim como do seu índice de absorção de água, foi realizada conforme o procedimento estabelecido pela ABNT NBR 16916/2021.

O ensaio foi executado em duplicata, utilizando-se uma amostra de 2,5 kg de areia. Inicialmente, o material foi submetido a um processo de condicionamento, permanecendo imerso em água potável por um período de (24 ± 4) horas, com o objetivo de promover a completa saturação de seus poros. Após esse intervalo, a água excedente foi removida, e o agregado foi espalhado em uma fina camada sobre uma superfície plana. A secagem superficial foi realizada por meio de uma leve corrente de ar, mantendo-se o material em constante revolvimento para assegurar uniformidade no processo.

A verificação da condição de saturação com superfície seca (SSS) foi feita por meio do ensaio do cone. Nesse procedimento, o molde tronco de cone foi preenchido com a amostra, seguido da aplicação de 25 golpes com a haste de compactação sobre sua superfície. Em seguida,

o molde foi retirado. Considerou-se que o estado SSS foi atingido quando o cone de areia perdeu sua forma e se desfez imediatamente após a retirada do molde, indicando a inexistência de água livre na superfície dos grãos.

Após a obtenção da condição SSS, deu-se prosseguimento à metodologia do ensaio da seguinte forma:

1. Determinou-se a massa de uma porção de $(500,0 \pm 0,1)$ g de areia em condição SSS, que foi transferida para um frasco volumétrico.
2. O frasco foi preenchido com água até um nível próximo da marca de aferição, agitado para a remoção de bolhas de ar e mantido em um banho com temperatura controlada, aproximadamente 28°C , por cerca de uma hora, conforme Figura 10.

Figura 10: Frascos submersos



Fonte: O autor, 2025

3. Posteriormente, o nível da água foi ajustado para a marca de 500 mL, e a massa do conjunto (frasco + amostra SSS + água) foi registrada.
4. Em paralelo, uma segunda porção de $(500,0 \pm 0,1)$ g da mesma amostra SSS foi pesada e seca em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ até constância de massa. Depois de resfriada em dessecador, essa amostra teve sua massa seca registrada.

A partir das massas aferidas, foram realizados os cálculos para se obter os valores de densidade e de absorção de água, conforme as equações a seguir:

$$\rho_s = \frac{m_A}{V - V_a} \quad (1)$$

Onde,

ρ_s é a densidade do agregado na condição seca, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m_A é a massa da amostra seca em estufa, expressa em gramas (g);

V é o volume do frasco calibrado, em centímetros cúbicos (cm³);

V_a é o volume de água adicionada ao frasco, de acordo com seguinte equação, expresso em centímetros cúbicos (cm³):

$$V_a = \frac{m_D - m_C}{\rho_a} \quad (2)$$

Onde,

m_C é a massa do conjunto formado pela massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco, expressa em gramas (g);

m_D é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco, mais a massa da água, expressa em gramas (g);

ρ_a é a densidade da água na temperatura do banho, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³)

$$\rho_{SSS} = \frac{m_B}{V - V_a} \quad (3)$$

Onde,

ρ_{SSS} é a densidade do agregado na condição saturada superfície seca, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m_B é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g);

V e V_a são apresentados anteriormente, na equação (1)

$$Abs = \frac{m_B - m_A}{m_A} \times 100 \quad (4)$$

Onde,

Abs é a absorção de água, expressa em porcentagem (%);

m_A é a massa da amostra seca em estufa, expressa em gramas (g);

m_B é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g).

3.3.6 Ensaio de massa unitária e índice de vazios

Para a determinação da massa unitária e do índice de vazios dos agregados, foi utilizada a metodologia estabelecida pela norma ABNT NBR 16972/2021. A preparação do material de ensaio teve início com amostras coletadas em campo, das quais foi retirada uma quantidade com volume cerca de 50% superior ao do recipiente utilizado no ensaio, conforme recomendado pela norma. Posteriormente, o material foi submetido à secagem em estufa, a uma temperatura de $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, até atingir massa constante.

Como etapa preliminar, realizou-se a calibração do recipiente metálico cilíndrico, determinando-se com precisão seu volume interno (V) por meio da pesagem da quantidade de água necessária para preenchê-lo completamente. Para garantir a confiabilidade dos resultados, foram realizadas três medições para cada tipo de agregado, adotando-se como valor final a média aritmética obtida.

3.3.7 Caracterização da Massa Específica e Absorção do Agregado Graúdo

A avaliação da densidade e da absorção de água do agregado graúdo (brita) foi realizada com base nos procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 16917/2021.

Para a execução do ensaio, preparou-se uma amostra de aproximadamente 8 kg de brita. Inicialmente, o material foi submetido ao processo de condicionamento previsto em norma: a amostra foi lavada para remoção de partículas finas e, posteriormente, mantida submersa em água potável por um período de (24 ± 4) horas, a fim de assegurar a completa saturação de seus poros.

Após a etapa de imersão, a brita foi retirada da água e teve sua superfície seca com o auxílio de um tecido absorvente, até a eliminação de toda a água visível, atingindo assim a condição de saturada com superfície seca (SSS).

Em razão da ausência de uma balança hidrostática para a determinação da massa submersa, conforme recomendado pela norma, foi adotado um procedimento alternativo para a obtenção do volume do agregado. Esse procedimento baseou-se no princípio da densidade de massa ($\rho = m/V$), no qual o volume do sólido é determinado a partir do volume de líquido deslocado.

Dessa forma, a amostra na condição SSS foi cuidadosamente introduzida em um recipiente contendo um volume conhecido de água. O volume deslocado pela brita foi obtido por meio da variação do nível da água. Em seguida, a amostra foi retirada e levada à estufa,

permanecendo a (105 ± 5) °C até atingir massa constante, possibilitando a determinação da massa seca.

Com os valores de massa (na condição seca e na condição saturada superfície seca) e o volume deslocado, foi possível calcular a densidade e a absorção de água do agregado por meio das expressões estabelecidas pela ABNT NBR 16917/2021.

3.3.8 Massa Unitária do agregado miúdo (Método C - Estado Solto)

No caso do agregado miúdo, a massa unitária foi obtida na condição solta, utilizando o Método C previsto na norma. O preenchimento do recipiente foi realizado com o auxílio de uma pá, permitindo que o material caísse de uma altura máxima de 50 mm acima da borda, a fim de evitar qualquer tipo de compactação. Em seguida, a superfície foi nivelada, e o conjunto formado pelo recipiente e pelo agregado foi pesado.

3.3.9 Massa Unitária do agregado graúdo (Método A - Estado Compactado)

Para agregados (com dimensão máxima $\leq 37,5$ mm), a massa unitária foi determinada na condição compactada, utilizando o Método A. Esse procedimento consistiu no preenchimento do recipiente em três camadas de volumes semelhantes. Em cada etapa, o agregado foi inserido e submetido à compactação por meio de 25 golpes com a haste de adensamento, aplicados de forma uniforme. Ao término, a superfície foi nivelada, e a massa do conjunto (recipiente mais material) foi medida.

O cálculo da massa unitária (ρ_{ap}), tanto para a areia quanto para a brita, foi realizado de acordo com a equação estabelecida na norma, obtendo-se o valor pela razão entre a massa líquida do agregado (diferença entre a massa do conjunto e a massa do recipiente) e o volume previamente determinado do recipiente.

3.4 Definição de traço

O traço foi realizado de acordo com critérios estabelecidos pela ABCP 2020 para a obtenção de f_{ck} (Resistência característica do concreto à compressão) 25Mpa aos 28 dias. Para a obtenção do concreto alternativo com bioagregado, os agregados miúdos (areia) foram substituídos por teores de resíduos com o objetivo de testar as resistências.

A composição de cada traço de concreto foi definida por meio de um estudo de dosagem

racional e experimental, conforme determina a ABNT NBR 12655/2022. A metodologia foi definida para uma consistência plástica, com abatimento de tronco de cone (slump) alvo na faixa de 60 mm a 80 mm.

O processo de cálculo do traço seguiu as etapas abaixo:

1. Definição da Resistência de Dosagem ($f_{cm,28}$): O ponto de partida foi a definição da resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) desejada aos 28 dias. Com base neste valor, calculou-se a resistência média de dosagem ($f_{cm,28}$) a ser atingida, utilizando a seguinte expressão da ABNT NBR 12655/2022:

$$f_{cm,j} = f_{ck,j} + 1,65 \times s_d$$

Adotou-se a Condição de Preparo B, na qual o cimento é medido em massa, a água medida em volume e os agregados medidos em massa combinada com volume. Para esta condição, a norma prescreve um desvio-padrão da dosagem (s_d) de 5,5 MPa. Foi adotada a classe de agressividade IV.

2. Determinação da Relação Água/Cimento (a/c): Com o valor da resistência média de dosagem ($f_{cm,28}$) e a resistência conhecida do cimento, a relação água/cimento (a/c) foi determinada a partir das curvas de Abrams, conforme a metodologia da ABCP 2020.
3. Estimativa do Consumo de Água (C_w): A quantidade de água por metro cúbico de concreto foi estimada com base na dimensão máxima característica do agregado graúdo e na consistência alvo (slump de 60 mm a 80 mm), utilizando-se os valores de referência do método ABCP.
4. Cálculo do Consumo de Cimento (C): O consumo de cimento foi obtido pela seguinte relação:

$$C = \frac{C_w}{(a/c)}$$

5. Determinação do Consumo de Agregado Graúdo (C_b): O consumo de brita foi determinado a partir do volume de agregado graúdo compactado por metro cúbico de concreto, um valor tabelado em função do diâmetro máximo da brita e do módulo de finura da areia. O consumo em massa foi então calculado multiplicando-se este volume pela massa unitária da brita.
6. Cálculo do Consumo de Agregado Miúdo (C_a): O consumo de areia foi determinado

pelo método volumétrico, preenchendo o volume restante de 1 m³ de concreto após a soma dos volumes absolutos do cimento, da brita e da água, conforme as equações:

$$V_a = 1 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{C_b}{\rho_b} + \frac{C_w}{\rho_w} \right)$$

$$C_a = V_a \times \rho_a$$

Onde ρ_c , ρ_b , ρ_w e ρ_a são as densidades do cimento, da brita, da água e da areia, respectivamente.

3.5 Produção do concreto

O procedimento envolveu a elaboração de sete dosagens diferentes. A primeira correspondeu a um traço de referência, constituído exclusivamente por materiais convencionais. As demais seis formulações foram obtidas por meio da substituição parcial do agregado miúdo (areia) por três tipos de agregados provenientes de biomassa vegetal — babaçu, jatobá e macaúba — em proporções de 10% e 30%, em massa, percentagem de substituição baseada na pesquisa desenvolvida por Neto *et al.* (2024), que utilizou a substituição em 10, 30 e 50% de agregado por agregado alternativo de macaúba.

Em cada traço de concreto alternativo, foi acrescentada uma quantidade adicional de água, calculada para corresponder exatamente ao volume que seria absorvido pelos bioagregados utilizados, conforme adotado por Rosa (2024). Diferentemente da simples adição de água para ajuste de consistência — que pode alterar a relação água/cimento e reduzir a resistência final —, essa abordagem tem como finalidade saturar previamente os poros dos bioagregados, assegurando que a relação água/cimento efetiva da pasta permaneça constante e de acordo com o planejado no estudo de dosagem.

3.6 Ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump Test)

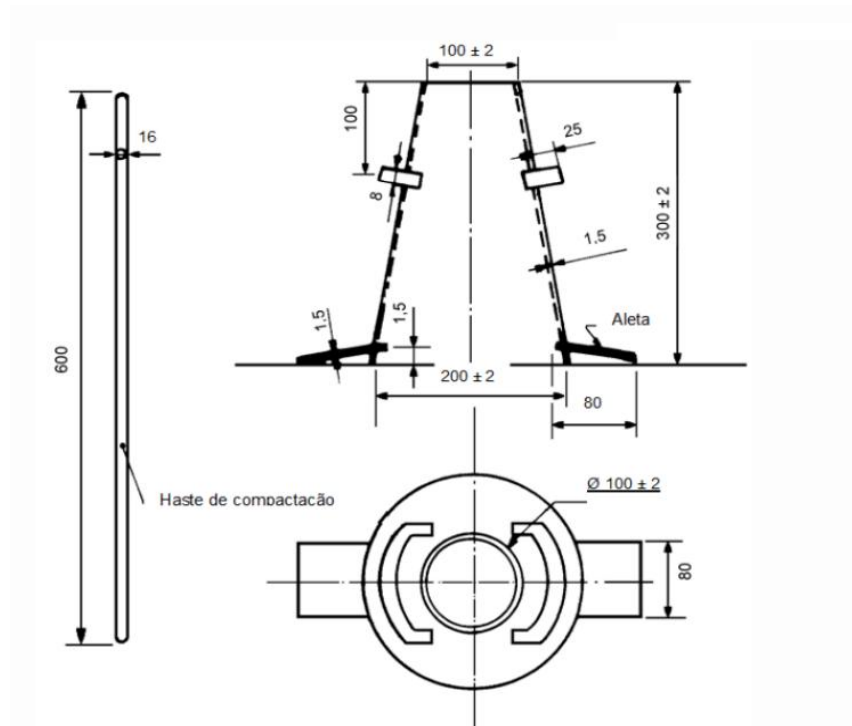
Com o objetivo de avaliar a consistência do concreto no estado fresco e verificar o atendimento aos parâmetros de dosagem, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, conhecido como Slump Test. O procedimento foi conduzido conforme as orientações da ABNT NBR 16889/2020.

O ensaio consistiu no preenchimento de um molde cônico, cujas dimensões estão apresentadas na Figura 11, utilizando concreto recém-preparado, disposto em três camadas de

volumes aproximadamente iguais. Cada camada foi compactada com 25 golpes aplicados por uma haste padronizada.

Após o nivelamento da superfície, o molde foi cuidadosamente removido na direção vertical. Em seguida, mediu-se a diferença entre a altura original do molde e a altura final do concreto após o abatimento, obtendo-se assim o valor do slump.

Figura 11: Dimensões do molde e da haste em milímetros



Fonte: ABNT NBR 16889/2020

3.7 Mistura, moldagem e cura de corpos de prova

A homogeneização dos materiais foi realizada em uma betoneira de eixo inclinado. As etapas de moldagem e cura foram conduzidas em conformidade com os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 5738/2015.

Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Antes do lançamento do concreto, os moldes foram previamente lubrificados em sua face interna, com o objetivo de facilitar a desmoldagem.

O adensamento do concreto foi executado manualmente, sendo o material inserido nos moldes em duas camadas de volumes aproximadamente iguais. Cada camada foi

submetida a 12 golpes com a haste de adensamento, aplicados de forma uniforme ao longo da seção transversal. Após a compactação da última camada, a superfície foi nivelada com o auxílio de uma régua metálica.

Após a finalização da moldagem, os corpos de prova foram mantidos em ambiente protegido por um período de 24 horas, a fim de garantir a cura inicial, conforme ilustrado na Figura 12a. Em seguida, procedeu-se à desmoldagem, identificação das amostras e sua transferência para a etapa de cura final, realizada por meio de imersão em tanque com água, onde permaneceram até a execução do ensaio de resistência à compressão axial (Figura 12b).

Figura 12: (a) Corpos de prova sob cura inicial; (b) corpos de prova submersos sob cura final



Fonte: O autor, 2025

3.8 Ensaio de resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão foi executado conforme as diretrizes da ABNT NBR 5739/2018.

Previamente à realização do ensaio, as bases de todos os corpos de prova foram submetidas ao processo de retificação, utilizando o equipamento disponível no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFCA, com o objetivo de assegurar superfícies planas e paralelas. Em seguida, as dimensões dos corpos de prova, como altura e diâmetro, foram medidas com o auxílio de um paquímetro, permitindo a verificação da relação altura/diâmetro (h/d).

O ensaio foi realizado utilizando uma prensa hidráulica Figura 13a, pertencente ao Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Cariri (UFCA), a qual registra a carga aplicada em tonelada-força (tf). Para cada um dos sete traços avaliados, os corpos de prova foram distribuídos da seguinte maneira: **dois** foram rompidos aos 7 dias de idade, enquanto **seis** foram rompidos aos 28 dias.

A resistência à compressão foi determinada por meio da expressão indicada em norma:

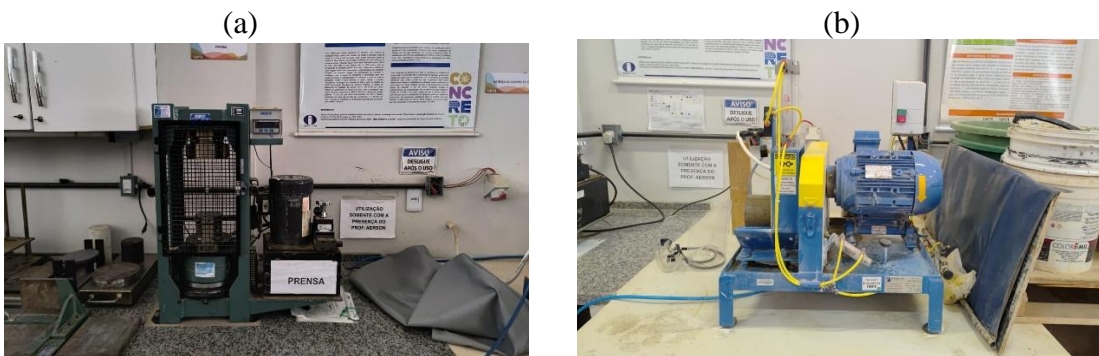
$$f_c = 4F / (\pi \times D^2) \text{ em que:}$$

f_c corresponde à resistência à compressão, em megapascal (MPa);

F representa a carga máxima obtida no ensaio, em newtons (N);

D é o diâmetro médio do corpo de prova, em milímetros (mm).

Figura 13: Prensa hidráulica (a), retificador (b)



Fonte: O autor, 2025

3.9 Análise estatística

Os resultados de resistência à compressão axial foram analisados por meio do método ANOVA (Análise de Variância), método fundamental para comparar a média de três ou mais grupos, como o trabalho desenvolveu a média de sete grupos, o concreto referência e outros seis concretos alternativos, a ANOVA foi fundamental para analisar a variabilidade entre os grupos e dentro dos grupos. O teste de Tukey foi utilizado para verificar quais grupos diferem entre si, utilizando software brasileiro Sisvar (Ferreira, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Agregado miúdo (densidade e absorção de água)

A Tabela 1 reúne os valores obtidos por meio de experimento em laboratório, os resultados calculados para cada amostra e a média final considerada para o estudo de dosagem.

Tabela 1 – Resultados do Ensaio de Densidade e Absorção (Agregado miúdo)

Grandeza	Amostra 1	Amostra 2	Média
Massa seca (ma) [g]	492,120	491,680	491,900
Massa SSS (mb) [g]	500,000	500,000	500,000
Densidade na condição seca (ρ_s) [g/cm ³]	2,97	2,96	2,97
Densidade na condição SSS (ρ_{sss}) [g/cm ³]	3,02	3,01	3,02
Absorção de Água (Abs) [%]	1,60	1,69	1,65

Fonte: O autor, 2025

A avaliação dos resultados apresentados na Tabela 1 evidencia a uniformidade dos procedimentos experimentais adotados. A variação entre os valores individuais de densidade na condição seca foi de apenas 0,01 g/cm³, enquanto para a absorção de água a diferença foi de 0,09%. Ambos os desvios encontram-se bem abaixo dos limites de repetitividade estabelecidos pela ABNT NBR 16916 (0,02 g/cm³ para densidade e 0,2% para absorção), o que confirma a confiabilidade dos dados e justifica a adoção dos valores médios nos cálculos posteriores.

O valor médio da densidade do agregado na condição seca (ρ_s) foi de 2,97 g/cm³, representando a massa específica real dos grãos de areia. Esse parâmetro é essencial para a dosagem de concreto pelo método da ABCP, pois possibilita a conversão das quantidades de materiais de massa para volume absoluto, etapa fundamental para o adequado proporcionamento dos componentes da mistura.

Já a absorção de água (Abs), que expressa a capacidade dos poros permeáveis do agregado de reter água, apresentou valor médio de 1,65%. Esse índice possui grande relevância prática, pois indica a quantidade de água que a areia tende a absorver da pasta de cimento

durante a mistura. Dessa forma, esse valor foi utilizado para ajustar o teor total de água no traço de referência, assegurando que a relação água/cimento efetiva — determinante para a resistência e a durabilidade do concreto — fosse mantida conforme previsto no estudo de dosagem.

4.2 Bioagregados (densidade e absorção de água)

Os resultados médios do ensaio de densidade e absorção obtidos estão na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Densidade e absorção dos bioagregados

Propriedade	Jatobá	Babaçu	Macaúba
Densidade na condição seca [g/cm ³]	0,61	0,94	0,93
Absorção de água [%]	78,08	30,04	33,26

Fonte: O autor, 2025

Os três tipos de bioagregados utilizados no estudo apresentam uma densidade significativamente menor na condição seca, destacando-se o jatobá (0,61g/cm³) como o mais leve, seguido pela macaúba (0,93g/cm³) e pelo babaçu (0,94g/cm³). Esses valores são muito inferiores comparando com o agregado miúdo convencional (areia) utilizada na presente pesquisa (2,97g/cm³), o que demonstra o grande potencial desses bioagregados na produção de concretos com baixa massa específica.

O fator mais significativo é taxa de absorção de água, que apresentou valores extremamente elevados. Para o babaçu, foi registrada uma taxa de 30,04%, enquanto a macaúba apresentou 33,26%. O jatobá, por sua vez, alcançou taxa bem considerável de 78,08%. Esses valores são muitas vezes superiores a absorção da areia, que é de apenas 1,65%, e refletem a alta porosidade interna desses agregados vegetais. A alta taxa de absorção de água desses agregados torna-se o principal fator a ser considerado na formulação de concretos com esses materiais, pois influencia diretamente a proporção de água necessária para garantir a trabalhabilidade e a hidratação necessária do cimento.

Para mitigar esse problema, a taxa de absorção de cada bioagregado foi utilizada de forma integral no cálculo da água extra adicionada, portanto foi adicionado à mistura uma

quantidade extra de água correspondente à absorção de cada bioagregado. A adição da água extra consiste na multiplicação da taxa de absorção pelo peso do bioagregado utilizado em cada dosagem do concreto alternativo com bioagregado. A grande variação de absorção entre os bioagregados, especialmente para o jatobá que teve uma taxa muito alta em relação aos outros, mais que o dobro, reforça a importância de caracterizar cada bioagregado de forma individual. Esse processo é fundamental para um controle preciso na dosagem dos materiais, o que assegura a viabilidade do experimento e a eficiência na produção dos concretos.

4.3 Granulometria dos bioagregados e agregado miúdo (areia)

A granulometria dos bioagregados foi necessária para determinar a dimensão de suas partículas e comparar com a areia utilizada. A tabela 3 demonstra os resultados obtidos.

Tabela 3 – Granulometria dos bioagregados e areia

Agregado	Módulo de finura	Diâmetro máximo característico(mm)
Babaçu	3,28	4,75
Macaúba	2,72	2,36
Jatobá	3,35	4,75
Areia	2,50	4,75

Fonte: O autor, 2025

Após trituração e peneiramento dos resíduos dos bioagregados, pode-se observar na tabela 6 que cada bioagregado obteve módulo de finura distintos no ensaio. Dentre os três diferentes bioagregados, a macaúba teve o módulo de finura mais próximo da areia, enquanto os demais obtiveram granulometria maior em relação a areia.

A areia utilizada na pesquisa obteve Dimensão Máxima Característica (DMC) de 4,75mm e módulo de finura de 2,50. A curva granulométrica desses agregados encontra-se no ANEXO I.

Os resultados da análise granulométrica da areia utilizada no desenvolvimento da pesquisa demonstram que a mesma atende aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR

17054/2022. Os resultados obtidos classificam a areia dentro da zona ótima, conforma a ABNT NBR 7211/2022.

4.4 Granulometria agregado graúdo (brita)

A análise granulométrica da brita foi realizada conforme o que determina a ABNT NBR 7211/2022. A tabela 4 apresenta os resultados obtidos no ensaio.

Tabela 4: Granulometria agregado graúdo

Propriedade	Valor
Módulo de Finura	6,91
Diâmetro Máximo Característico (mm)	19

Fonte: O autor, 2025

O resultado do ensaio do agregado graúdo apresentou módulo de finura 6,91 e diâmetro máximo característico de 19mm. A curva granulométrica do agregado encontra-se no ANEXO I.

4.5 Agregado miúdo e graúdo (massa unitária)

A massa unitária média da areia, medida no estado solto, foi de 1400kg/m³. Todos os resultados obtidos atenderam a essas normas, o que garante a confiabilidade do valor médio adotado. Esse valor foi um dos parâmetros essenciais utilizados para o cálculo da dosagem do concreto.

A massa unitária média da brita, no estado compactado, foi de 1467 kg/m³. Assim como no teste da areia, a consistência dos resultados foi verificada de acordo com os critérios da ABNT NBR 16972/2021, que exigem que os desvios individuais não ultrapassem 1% da média e que a diferença entre os ensaios seja inferior a 40kg/m³. A tabela 4 mostra o resultado obtido.

Tabela 4 – Massa unitária do agregado graúdo (brita) e miúdo (areia)

Amostra	Massa unitária – Agregado miúdo(kg/m³)	Massa unitária - Agregado graúdo (kg/m³)
1	1,396	1,468
2	1,402	1,467
3	1,403	1,466
Média	1,40	1,467

Fonte: O autor, 2025

A tabela 4 mostra o resultado do ensaio realizado com três amostras da areia e da brita, o resultado da massa unitária para cada amostra e a média da massa unitária de cada agregado.

4.6 Dosagem do concreto

4.6.1 Traço Referência

O consumo de cimento foi obtido pela relação entre o consumo de água e o fator água cimento a/c. Após a realização dos cálculos o traço foi definido em 1:1,90:2,50:0,48, onde o consumo de cimento, areia, brita e água é em massa.

Tabela 5: Consumo de materiais para 1 m³ de concreto

Material	Consumo (kg)
Cimento	421
Areia	801
Brita 1	1041,6
Água	200

Fonte: O autor, 2025

Com o traço definido, foi calculada a quantidade de materiais necessária para a produção de 1 m³ de concreto, de forma proporcional ao volume utilizado na pesquisa, suficiente para a

moldagem de 10 corpos de prova — sendo 8 destinados ao ensaio de compressão axial e 2 ao ensaio de absorção, este último não realizado. Dessa forma, o traço do concreto de referência utilizou as seguintes quantidades de materiais: 7 kg de cimento, 13,3 kg de areia, 17,2 kg de brita e 3,36 kg de água.

4.6.2 Concretos Alternativos

Levando em consideração o traço de referência, as dosagens para os seis concretos alternativos com bioagregados foram definidas. Adotou-se a substituição parcial do agregado miúdo pelo bioagregado em 10 e 30% da massa para cada bioagregado (jatobá, macaúba e babaçu), percentagem de substituição baseada na pesquisa desenvolvida por Neto *et al.* (2024), que utilizou a substituição em 10, 30 e 50% de agregado por bioagregado de macaúba.

Considerando o percentual de absorção de cada bioagregado, foi adicionada mais água no traço pra compensar a água que foi absorvida pelos bioagregados, garantindo assim o processo ideal de hidratação necessária para o concreto em estudo. A tabela 6 detalha a quantidade material utilizada para cada traço de concreto alternativo com bioagregado. (CB10) Traço de concreto com 10% de bioagregado de babaçu, (CB30) Traço de concreto com 30% de bioagregado de babaçu, (CJ10) Traço de concreto com 10% de bioagregado de jatobá, (CJ30) Traço de concreto com 30% de bioagregado de jatobá, (CM10) Traço de concreto com 10% de bioagregado de macaúba, (CM30) Traço de concreto com 30% de bioagregado de macaúba.

Tabela 6 - Quantidade total de material utilizado para cada concreto alternativo com bioagregado

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Bioagregado (kg)	Água (L)	Água adicionada (L)
CB10	7	11,97	17,2	1,33	3,36	0,4
CB30	7	9,31	17,2	4	3,36	1,2
CJ10	7	11,97	17,2	1,33	3,36	0,8
CJ30	7	9,31	17,2	4	3,36	2,4
CM10	7	11,97	17,2	1,33	3,36	0,44
CM30	7	9,31	17,2	4	3,36	1,33

Fonte: O autor, 2025

A mistura dos materiais foi realizada por meio de uma betoneira disponibilizada no

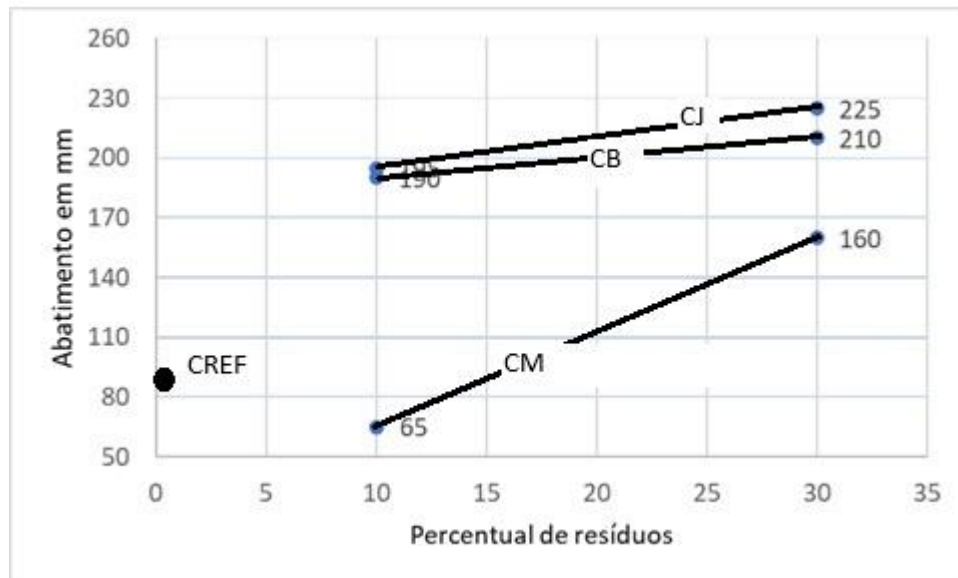
laboratório de materiais da construção da UFCA. A moldagem e a cura dos corpos de prova seguiram rigorosamente os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 5738/2015. Os corpos de prova cilíndricos possuem 10cm de diâmetro e 20cm de altura. Os moldes foram lubrificados com óleo para facilitar a desmoldagem. O concreto obtido após a mistura dos materiais foi adensado manualmente em duas camadas iguais, com cada camada recebendo 12 golpes distintos, aplicados uniformemente na mistura. Após o término do adensamento final, a superfície do molde foi rasada com uma régua. Após o término da moldagem, os corpos de prova permaneceram em local adequado por 24 horas, para cura inicial. Em seguida, cada corpo de prova foi desmoldado e identificado e em seguida submersos em água até a realização do ensaio de resistência à compressão axial.

4.7 Ensaio de abatimento de tronco de cone (ABNT NBR 16889/2020)

O ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test) foi realizado para verificar se a consistência do concreto estava dentro da faixa desejada, entre 60mm e 80mm, conforme estabelecido no estudo de dosagem. Para o traço de referência, primeiro ensaio de abatimento, realizado com a relação água/cimento calculada previamente para obter a resistência de 25Mpa, resultou em um valor bem abaixo do esperado, não dando a trabalhabilidade necessária do concreto para o prosseguimento do estudo, a água foi adicionada aos poucos até atingir a consistência ideal, em torno de 0,6 litros de água extra. Após essa correção na relação a/c, o concreto atingiu a consistência ideal, com 84mm aproximadamente de abatimento. Porém essa água adicionada, influenciou na resistência final esperada, destacado em seguida, nos resultados.

Para o concreto alternativo com bioagregado, foram feitos os ensaios de abatimento para verificar a consistência com a adição de água extra para compensar a absorção dos bioagregados, o maior problema dessa adição de água foi o concreto alternativo com bioagregado de Jatobá que necessitou de muita adição de água, devido sua absorção ser elevada, e aí foi verificado o desmoronamento do material no ensaio de abatimento. O concreto jatobá 10%, por outro lado, obteve o menor abatimento entre os concretos desenvolvidos, com abatimento de 64mm. A figura 14 demonstra o gráfico do abatimento obtido nos diferentes bioagregados.

Figura 14: Gráfico de variação de abatimento



Fonte: O autor, 2025

O gráfico mostra a variação de abatimento de acordo com percentual de bioagregados desenvolvidos, vale destacar que todos os concretos alternativos com bioagregados desenvolvidos tiveram abatimento alto, valores entre 150mm e 250mm, observa-se uma variação maior no concreto alternativo com bioagregado de macaúba (CM), os concretos alternativos com bioagregado de jatobá (CJ) e macaúba (CM), tiveram uma variação semelhante em relação ao percentual de bioagregados desenvolvidos. A figura 15 mostra a aferição de abatimento do traço macaúba 10%, durante a realização do ensaio Slump Test.

Figura 15: Aferição de abatimento (CM10)



Fonte: O autor, 2025

4.8 Resistência à compressão axial

Os corpos de prova do concreto de referência apresentaram rompimento semelhante entre eles, observando que a ruptura ocorreu na diagonal. Todos os concretos alternativos com bioagregados também seguiram um padrão de ruptura semelhante entre eles. O modo de ruptura estão destacados a seguir, na Figura 15 abaixo.

Figura 15 – Corpos de prova após de resistência à compressão axial na idade de 28 dias: (a) Traço referência; (b) Traço babaçu 30%; (c) Traço macaúba 10%; (d) Traço jatobá 10%

(a)



(b)



(c)



(d)



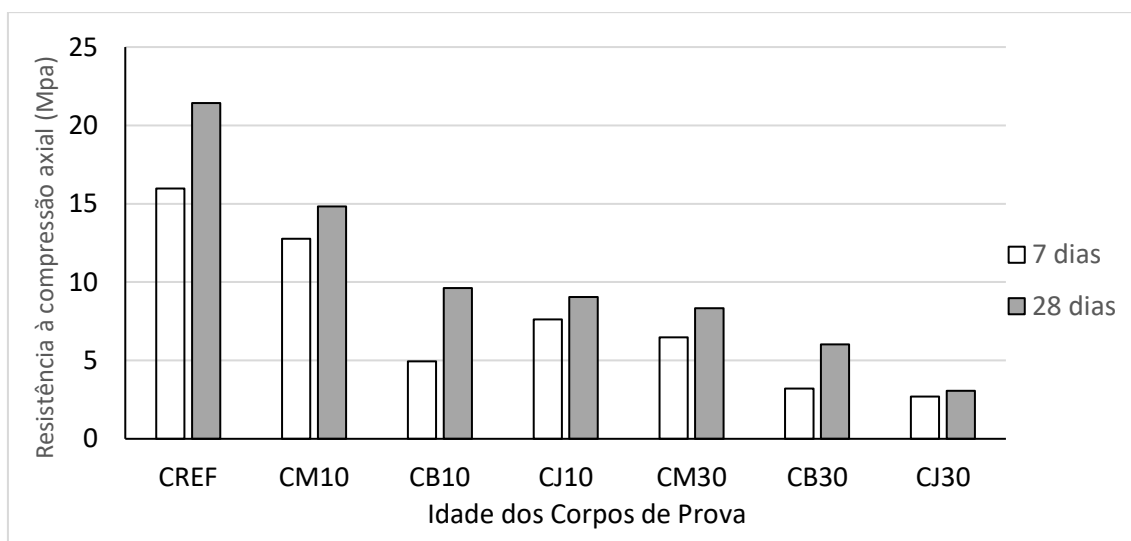
Fonte: O autor, 2025

O modo de falha observado durante o rompimento dos corpos de prova corresponde à classificação do tipo E – Cisalhada, conforme o que apresenta a ABNT NBR 5739/2018. A forma que esse tipo de ruptura aconteceu é uma demonstração que os ensaios foram aceitáveis.

4.9 Análise do resultado do ensaio de resistência à compressão axial

A principal análise para o desempenho mecânico do estudo, é o ensaio de resistência à compressão axial, com os resultados obtidos foi verificada a possibilidade de substituição dos agregados convencionais pelos bioagregados. Os ensaios de resistência foram realizados nas idades de 7 e 28 dias. A figura 15 mostra os resultados de resistência média do concreto referência (CREF) e dos concretos alternativos com bioagregados (CM10, CM30, CB10, CB30, CJ10, CJ30).

Figura 15: Gráfico de distribuição de resistência média obtida por cada traço aos 7 e 28 dias.



Fonte: O autor, 2025

O gráfico mostra que concreto com 10% de bioagregado de macaúba (CM10) obteve a maior resistência dentre os concretos alternativos com bioagregados desenvolvidos, seguido pelo concreto alternativo com 10% de bioagregado de babaçu (CB10), a menor resistência obtida foi o concreto alternativo com bioagregado de jatobá com 30% de bioagregado, o bioagregado com melhor desempenho dentre os estudados foi o da macaúba com resistência 14,83 MPa aos 28 dias. A figura 15 apresenta a resistência média dos traços desenvolvidos.

4.10 Análise Estatística

Para analisar os resultados médios de resistência obtidos na pesquisa, entre as diferentes dosagens, e verificar se diferença desses resultados foram significativos, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) a um fator dos corpos de prova de 28 dias, a tabela a seguir apresenta os resultados obtidos.

Tabela 9 – Análise de Variância (ANOVA)

Fonte da variação	SQ	gl	QM	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1326,011	6	221,0019	1099,071	2,5E-38	2,371781
Dentro dos grupos	7,037822	35	0,201081			
Total	1333,049	41				

Fonte: O autor, 2025

O valor SQ representa a soma dos quadrados, o valor entre grupos representa o quanto as médias dos grupos diferem da média geral, o valor dentro dos grupos representa o quanto os valores individuais variam dentro de cada grupo, O valor gl representa os graus de liberdade e indica quantos valores podem variar livremente no processo do cálculo estatístico, o valor QM representa o quadrado médio e é basicamente a estimativa de variância. O valor F é o principal resultado do teste, ele é uma razão entre duas variâncias. O valor P é a parte do teste que ajuda na tomada de decisão. O F crítico é o valor referência usado para decidir se o resultado é significativo.

O resultado da análise de variância (valor-P = 2,5E-38), apresenta um valor muito inferior ao nível de significância de 0,05, indicando que existe uma grande diferença entre as médias de resistência dos grupos.

Para identificar quais grupos diferem entre si, foi aplicado conforme Ferreira (2019), o teste de Tukey, utilizando o software Sisvar. Esse teste calcula a diferença mínima significativa, que no presente ensaio foi de 0,81Mpa. Portanto, para que eles sejam considerados estatisticamente semelhantes, essa diferença deve ser maior que 0,81Mpa, com 95% de confiança. Os resultados do teste que agrupam os tratamentos com médias semelhantes são apresentadas na tabela 10.

Tabela 10 – Teste de Tukey

Tratamento	Média (MPa)	Agrupamento	
Referência	21,43	A	
Macaúba 10%	14,83	B	
Babaçu 10%	9,63	C	
Jatobá 10%	9,04	C	D
Macaúba 30%	8,33	D	
Babaçu 30%	6,03	E	
Jatobá 30%	3,06	F	

Fonte: O autor, 2025

A análise estatística confirma as impressões iniciais e permite concluir de forma mais concisa o desempenho de cada material. O que concreto de referência é superior estatisticamente a todos os concretos alternativos com bioagregados, formando o grupo isolado A.

Os grupos com as mesmas letras são iguais, já os grupos com letras diferentes diferem entre si.

O Jatobá 10% pertence a dois agrupamentos (C e D), destacando que os grupos C e D são estaticamente semelhantes.

Entre os concretos alternativos com bioagregados, o concreto com bioagregado de macaúba com teor de substituição de 10%, apresentou o melhor desempenho de resistência média de 14,83Mpa, sendo estaticamente superior aos demais concretos alternativos da pesquisa.

O teste de Tukey revelou os concretos alternativos que tiveram resultados semelhantes entre si. Os concretos alternativos com bioagregado de babaçu e jatobá são semelhantes entre si, fazendo parte do grupo C. Pode-se notar também, que os traços de macaúba 30% e jatobá 10% não apresenta grandes diferenças de resistência, fazendo parte do grupo D. Isso comprova o destaque da macaúba em relação aos demais bioagregados, que mesmo com um teor de substituição maior em relação ao jatobá obteve resultado parecido.

Os concretos alternativos com substituição de 30% de bioagregado se destacaram como os inferiores, e consequentemente, menor resistência. Destaque para o jatobá com 30%

de substituição que fez parte do grupo isolado F com a menor resistência, de apenas 3,06Mpa. Esse resultado pode estar relacionado com o fato do jatobá ser um material poroso com absorção de 78%, o que necessitou de uma alta adição de água de compensação, isso provavelmente causou uma maior quantidade de vazios no concreto alternativo com bioagregado diminuindo de forma considerável a sua resistência final.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados do ensaio de resistência à compressão axial, aliados à análise estatística, observa-se que a macaúba se destacou como o material de melhor desempenho entre os três avaliados. A substituição parcial de 10% do agregado miúdo por esse bioagregado apresentou a menor variação em relação ao concreto de referência.

Observou-se que há uma redução gradual da resistência à compressão axial conforme ocorre o aumento do percentual de substituição pelos agregados alternativos. Nesse contexto, as misturas que incorporaram 10% de substituição apresentaram resultados de resistência mais elevados, enquanto aquelas com 30% de substituição demonstraram desempenho inferior, evidenciando a influência direta do teor de substituição nas propriedades mecânicas do material.

O comportamento dos concretos produzidos mostrou-se semelhante ao de outros estudos que empregam a substituição dos agregados convencionais por materiais alternativos. Verificou-se uma redução da resistência mecânica nos concretos com agregado de jatobá quando comparados aos demais desenvolvidos nesta pesquisa e também aos relatados por outros autores, indicando um desempenho insatisfatório para a aplicação desse material na construção civil.

Um fator que pode ter influenciado no alto abatimento dos concretos alternativos desenvolvidos e conseqüentemente uma resistência bem inferior a almejada no estudo de dosagem, foi a água de compensação para a saturação dos poros dos agregados vegetais.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de ensaios de absorção de água e índice de vazios em corpos de prova endurecidos. Recomenda-se o estudo de impurezas orgânicas em agregados miúdos destinados a produção do concreto baseado na ABNT NBR 17053/2022. Também recomenda-se o estudo de degradação do material a longo prazo, analisando a reação química da matriz cimentícia sobre o bioagregado. Análise por FRX e DRX a longo prazo poderiam esclarecer a qualidade do bioagregado após longa exposição a possíveis fatores degradantes como sol e chuva. Investigação sobre a água de compensação também se faz necessário para verificar os possíveis efeitos na resistência final desses concretos alternativos com bioagregados.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16889**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 8 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 9 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 9 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 9738**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 4 p.
- ANDRADE, G. M. **Utilização do endocarpo de macaúba como agregado graúdo alternativo para a produção de bio-concretos**. 2022. 11 p. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia da madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.
- AGUIAR, A. L. D. et al. Influência do Teor de Bio-agregados na Resistência à Compressão e à Tração de Bioconcretos de Madeira. **Anais do jubileu de ouro IBRACON**, Brasília, 2022. ISSN 2175-8182. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Amanda-Aguiar/publication/366224860_Influencia_do_Teor_de_Bio-agregados_na_Resistencia_a_Compressao_e_a_Tracao_de_Bioconcretos_de_Madeira/links/63987343484e65005b091673/Influencia-do-Teor-de-Bio-agregados-na-Resistencia-a-Compressao-e-a-Tracao-de-Bioconcretos-de-Madeira.pdf. Acesso em: 08 de dez. 2024.
- AZEVEDO, C. M. Caracterização da cinza de caroço de açaí residual para adição ao concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 45-55, 2019. ISSN 1678- 8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/X5LWXQt9FHGtqRNO9MFjwWw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 nov. 2024.
- BARROS, A. S. LUNA, R. P. Análise do uso da metodologia Building Informations Modeling (BIM) nas prefeituras do Triângulo Crajubar/CE. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. v. 2, p. 118-132. Janeiro de 2024. ISSN: 2448-0959. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia- civil/building-informations-modeling. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/building-informations-modeling>. Acesso em: 29 nov. 2024.
- CARDOSO, A. N. et al. Extrativismo da macaúba na região do Cariri Cearense: comercialização e oportunidades. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, p. 25261-25279, 2020. ISSN 2525-8761. DOI:10.34117/bjdv6n5-108. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1122560/1/macauba-cariri-publicado-.pdf>. Acesso em: 19 out. 2024.

COUTO, J. A. S. et al. **O concreto como material da construção**. Sergipe: Cadernos de Graduação, 2013. p. 49-58.

CUNHA, I. B. **Análise dos impactos ambientais de concretos com agregado reciclado de resíduos de construção civil**. 2022. p. 19. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

DANTAS, M. E. et al. **A geodiversidade na chapada do Araripe: De padre Cícero a Luiz Gonzaga**. Serviço Geológico do Brasil. EMBRAPA Solos.

FARRA, F. C. P. D. **Análise econômico-energética de utilização de resíduo industrial florestal para geração de energia térmica: Um estudo de caso**. 2004. p. 8. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, Botucatu, 2004.

FERREIRA, D. F. S. **A computer analysis system to fixed effects split plot type designs**. **Revista brasileira de biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Disponível em: <http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>>. Acesso em: 20 ago. 2025

FREIRE, W. J.; MILANI, A. P. S. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, Campinas, v. 26, p. 1-10, 2006. Disponível em <https://www.scielo.br/j/eagri/a/5Qx5ChffMZkkxbkrBnKP3St/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 nov. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. Barueri: Editora Atlas, 2022. 81 p.

GOMES, B. M. C. **Avaliação de eficiência da espessura de bioconcretos de bambu como elemento de proteção passiva em situação de incêndios**. **Anais do 64º congresso brasileiro do concreto – CBC2023 -64CBC2023**, IBRACON – ISSN 2175-8182. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Amanda-Aguiar/publication/374921032_Avaliacao_de_eficiencia_da_espessura_de_bioconcretos_de_bambu_como_elemento_de_protecao_passiva_em_situacao_de_incendios/links/6536b1725d51a8012b67a484/Avaliacao-de-eficiencia-da-espessura-de-bioconcretos-de-bambu-como-elemento-de-protecao-passiva-em-situacao-de-incendios.pdf. Acesso em: 14 abr. 2025.

HOMMA, A. K. O. H. **Extrativismo, biodiversidade e biopirataria na Amazônia**. Embrapa Informação Tecnológica. 2008. p. 20. ISSN 1677-5473. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/115065/1/sgetexto27.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2024.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. v. 5. São Paulo: Blucher, 2011. p. 14.

LIMA, F. A. et al. **Manejo da seiva do jatobá (hymenaea courbaril l.) por famílias tradicionais na reserva extrativista Chico Mendes, Acre – Brasil**. Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de Setembro de 2007, Caxambu – MG. Disponível em: www.seb-ecologia.org.br/revistas/indexar/anais/viiiiceb/pdf/545.pdf. Acesso em: 03 mar 2026.

LIMA, C. M. **Projeto de abrigo emergencial desmontável composto por peças pré-fabricadas leves e autoportantes em bambu e bioconcreto**. 2020. p. 29. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, Rio de

Janeiro, 2020.

NETO, R. P. A.; TEIXEIRA, M. S. Desenvolvimento regional: Um estudo na região metropolitana do cariri. **Revista de Psicologia**. n.18, 2012. ISSN 1981-1179. DOI: 10.14295/online.v6i18.202. Disponível em: <https://online.emnuvens.com.br/id/article/view/202/281>. Acesso em: 27 nov. 2024.

NETO, L. L. et al. Substituição parcial do agregado graúdo pelo endocarpo do caroço da macaúba na produção de concreto leve. **Revista Novos Desafios** – v.4, n.1, 2024, p. 4 ISSN 2764-1724. Disponível em: <https://novosdesafios.inf.br/index.php/revista/article/view/69/66>. Acesso em: 25 nov. 2024.

NUNES, L. C. C. et al. Subprodutos do babaçu (*Orbignya sp*) como novos materiais adsorptivos: uma revisão. **Revista Matéria**. Teresina, v. 24, n.3, 2019. ISSN 1517-7076 artigo e-12415. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/D9fKRLkP8w66CKWcmTBJJQx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 19 out. 2024.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. IBRACON (Instituto Brasileiro de Concreto). ISSN 1809-7197. Revista Concreto. São Paulo, 2009. p. 14-15.

PEREIRA, C. E. G. **Narrativas cartográficas sobre o agroextrativismo do babaçu em Arajara, Barbalha (CE)**. 2019. p. 63. Dissertação (Mestrado em geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

RIBEIRO, R. R. J. et al. Um estudo das propriedades mecânicas do concreto para fins estruturais preparado em canteiros de obras. **Revista Ibracon de estruturas e materiais**. Volume 9, Number 5 (October 2016) p. 722 - 744 • ISSN 1983-4195. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952016000500005>. Acesso em: 13 nov. 2025

ROSA, M. dos S. **Investigação de propriedades físicas e mecânicas de um compósito cimentício produzido a partir do aproveitamento da biomassa de resíduos de coco**. 2024. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

ROMANO, R. C. O. et al. Propriedades do concreto no estado fresco. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Cap. 13, p. 3. ISBN / ISSN: 978-65-89675-00-6. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/115147947/Cap_C3_ADtulo_2013_20-20Propriedades_20do_20concreto_20no_20estado_20fresco-libre.pdf?1716382618=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPropriedades_do_concreto_no_estado_fresc.pdf&Expires=1773971606&Signature=A75Sr~cLvglcZLJDNfWG~dOYgKduKMub~yovHEpOPbiTdyrvkN1vepKB2JBhTFFj75v7FztCC6wTZDZPN6cYdfJYNmiOpxC1mB~OqTHMwcJbYRaALHATPt25WYbeuG1VOBaTTcgjccvL0aQY0pw7KhFsISpXDOz~ptf6V-QJoHNWgLUcT5qT6dcnN03BkGBHaE9BcAm6F9cK6ABYFNHjiTkkoXnTH1Zz2p8UZvUU6iJuPpPzLt8qwelFdQhpM3edi0pKcAibsXzv9PH3JL7mzTqPScQADrH8A8j1ENkafHIWsKBetGbxjffXlKgITWnPhIDqHwTcqsRb23Fg9iPgA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em 05. Mar 2026.

SANTIAGO, J. M.; BOTELHO, C. V. B.; SANTARÉM, S. S. Avaliação das propriedades intrínsecas ao bioconcreto e de suas composições: Caracterização e aplicações. In: SANTARÉM, S. S.; RODRIGUES, F. A.; FIGUEIREDO, S. C. G. (org.).

Engenharia Civil: Inovação e tecnologia no contexto da era contemporânea. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2021. cap. 4, p. 46-55.

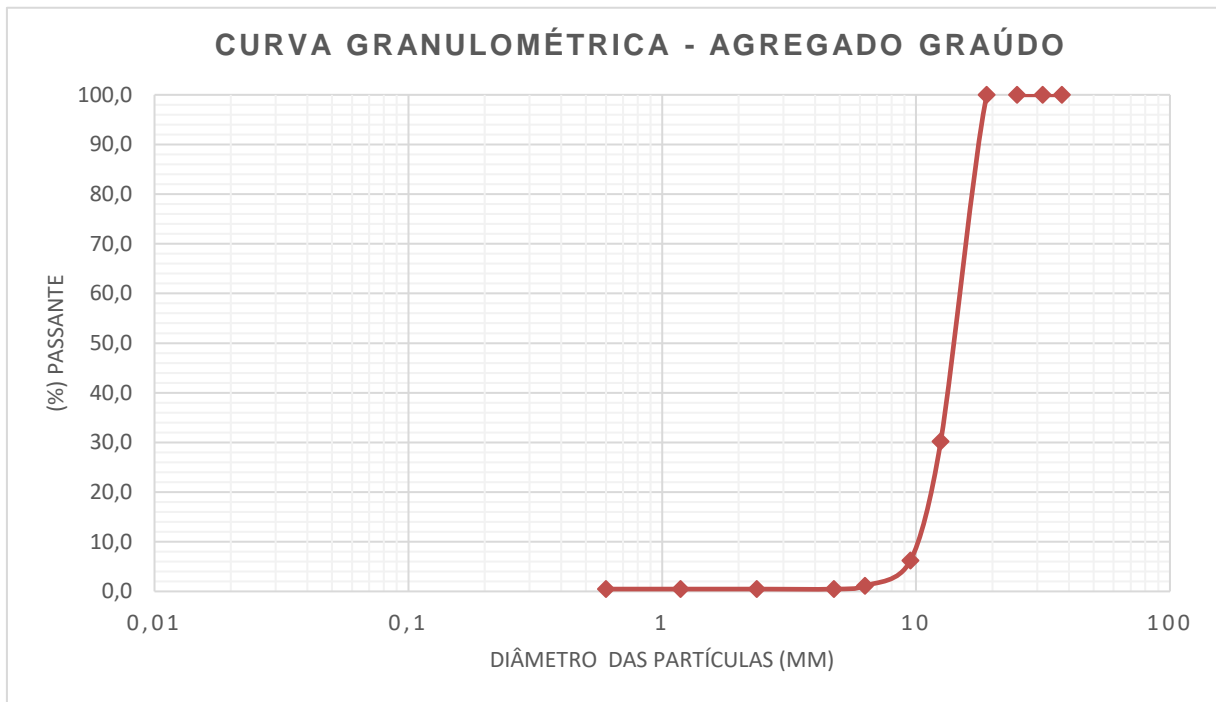
SHAFIGH, P. et al. **Agricultural wastes as aggregate in concrete mixtures – A review.** 2014. p. 110-117. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia, 2014.

SILVA, E. F. et al. Caracterização física, físico-química e centesimal do fruto de jatobá-do-cerrado. **Revista Verde**, Pombal, v. 15, p. 139-145, 2020. ISSN 1981-8203. DOI 10.18378/rvads.v15i2.6992. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7509953>. Acesso em: 21 out. 2024.

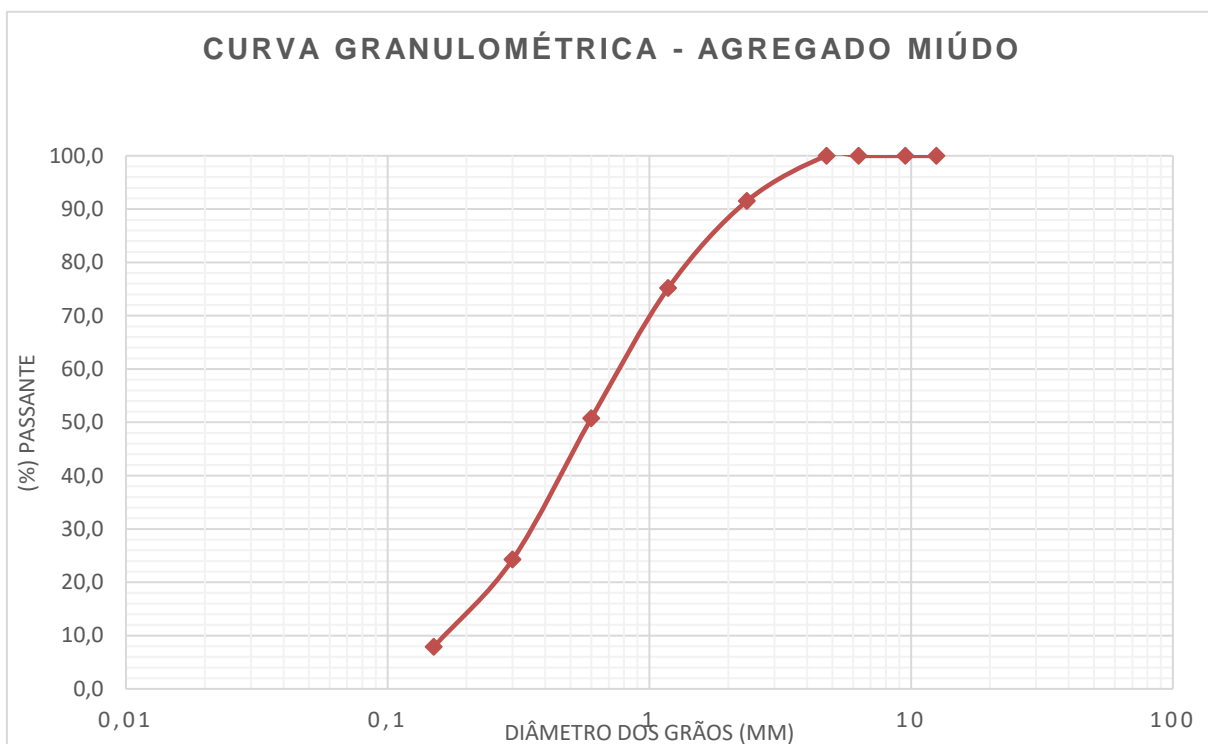
SOBRAL, R. R. S. **Caracterização do fruto do jatobá.** Circular técnica. n. 397 - janeiro 2024 ISSN 0103-4413. Disponível em: www.livrariaepamig.com.br/wp-content/uploads/2024/02/CT-397.pdf. Acesso em: 18 nov 2025.

SOBRAL, S. H. **Propriedades do concreto fresco.** 5. ed. São Paulo. Associação brasileira de cimento Portland. 2000. p. 32.

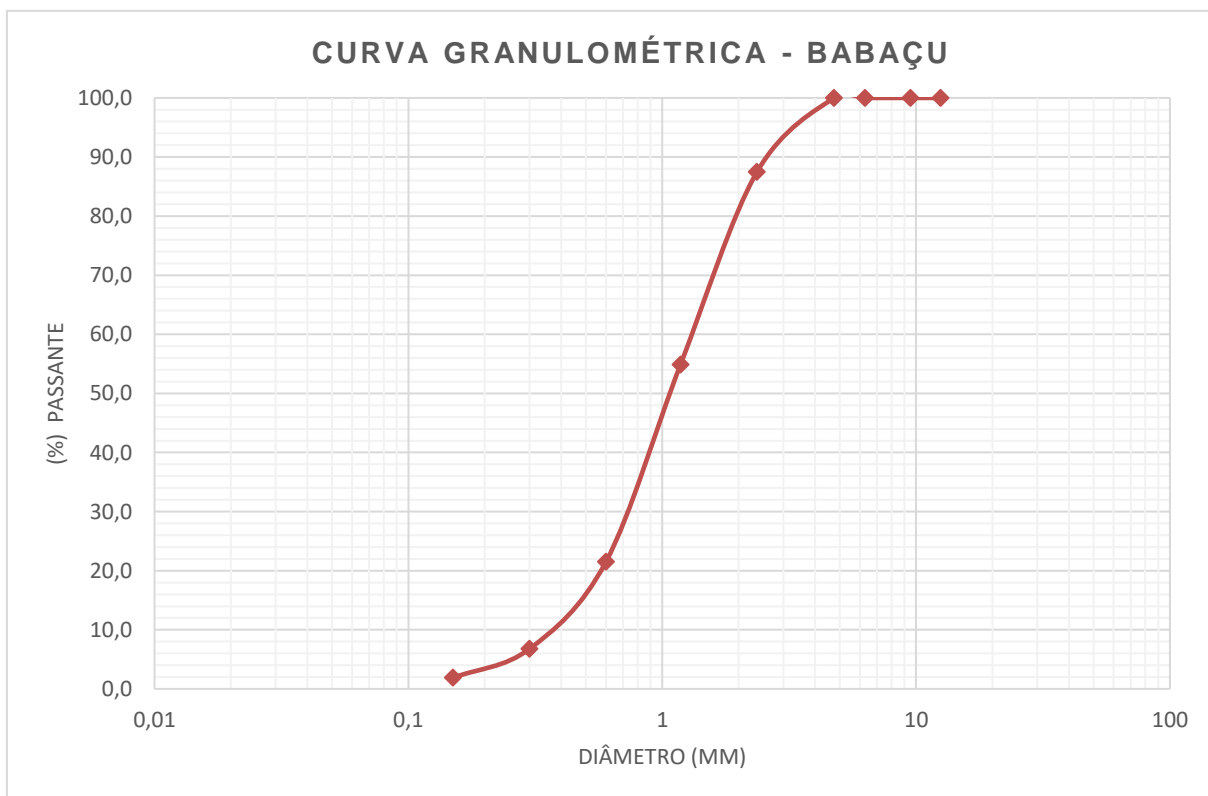
VALPORTO, M. S.; AZEVEDO, P. S. **Gestão do design na identificação dos fatores de impactos ambientais da construção civil.** Rio de Janeiro: Revista online, 2016. Estudos em design. p. 124.

APÊNDICE 1**Curva granulométrica agregado graúdo**

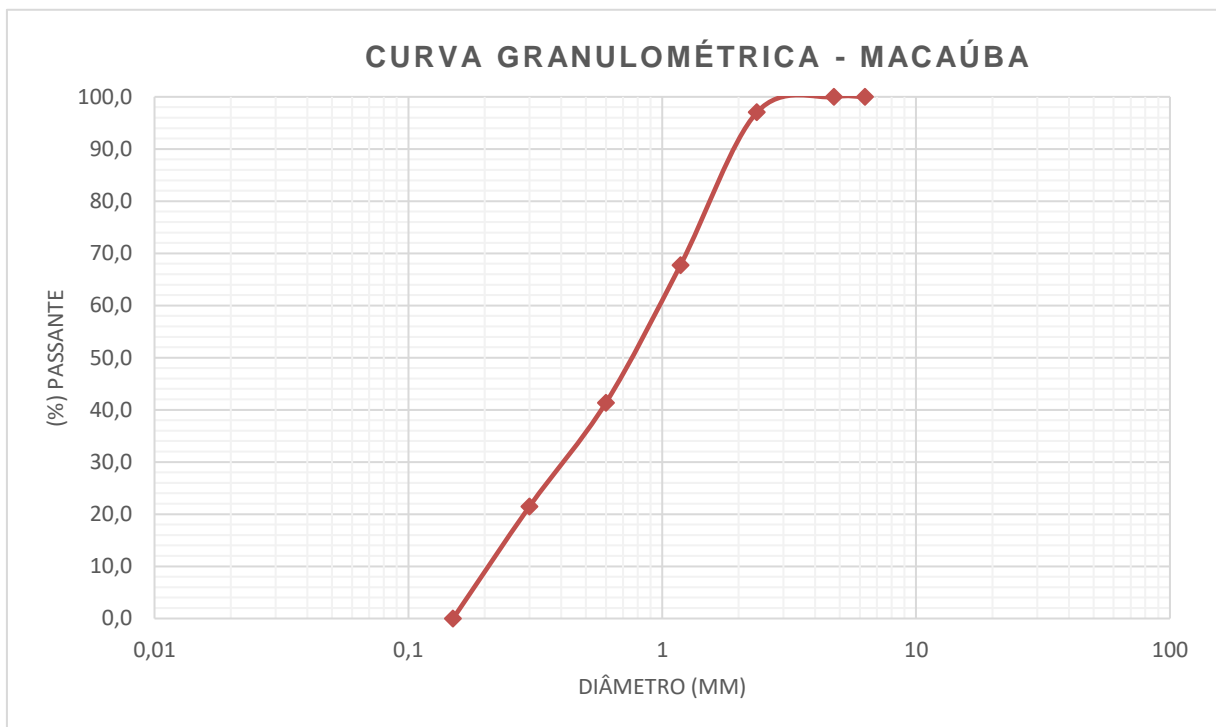
Curva granulométrica agregado miúdo



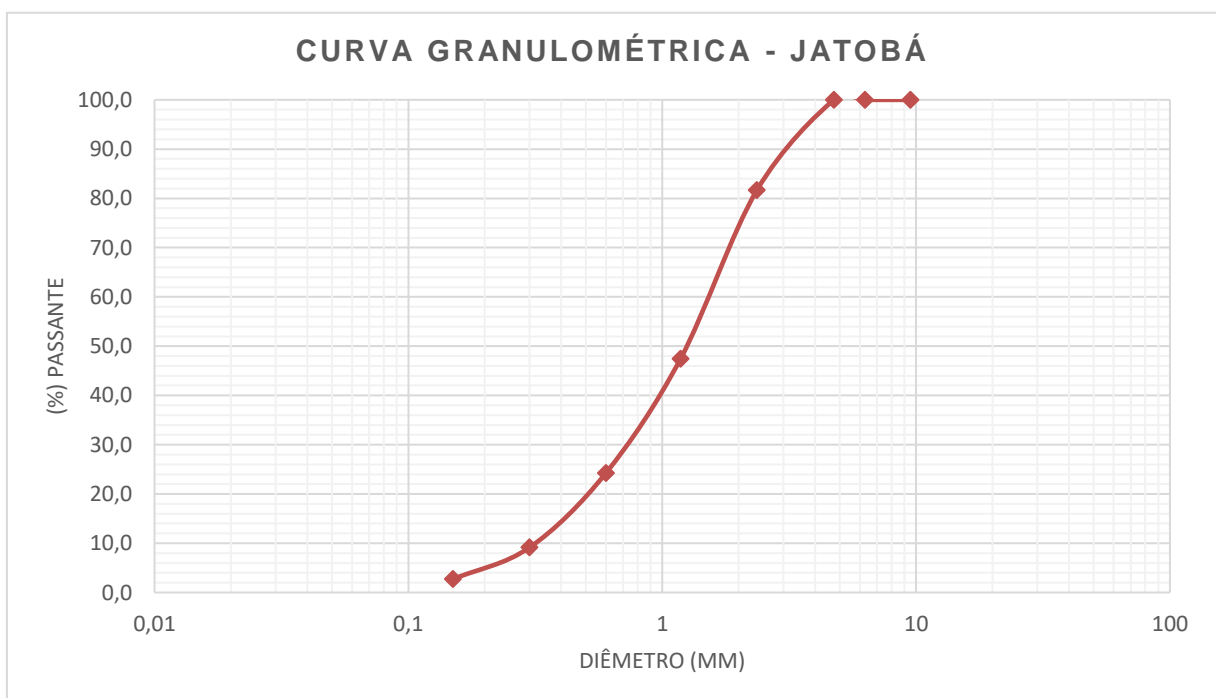
Curva granulométrica agregado de babaçu



Curva granulométrica agregado de macaúba



Curva granulométrica agregado de jatobá



ANEXO
DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins que este Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia/Tese/Dissertação), escrito sob minha orientação, está em versão final, de acordo com as solicitações realizadas pela banca examinadora.

Informo também que procedi à revisão final do texto, constatando que atende às especificações das normas da ABNT para apresentação de trabalhos acadêmicos da UFCA, no que diz respeito ao conteúdo e à formatação.

Data e local da assinatura eletrônica



Documento assinado digitalmente

AERSON MOREIRA BARRETO

Data: 08/06/2026 09:34:48-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>