



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA CÍVIL

Mariana Dantas Da Silva

**Avaliação do pó da palha de carnaúba como aditivo natural para impermeabilização de
argamassas**

MOSSORÓ

2025

Mariana Dantas Da Silva

Avaliação do pó da palha de carnaúba como aditivo natural para impermeabilização de argamassas

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Marília Pereira de Oliveira

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586a Silva, Mariana Dantas da. Avaliação do pó da palha de carnaúba como aditivo natural para impermeabilização de argamassas / Mariana Dantas da Silva. - 2025. 56 f. : il.

Orientadora: Marília Pereira de Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2025.

1. Aditivo natural. 2. Impermeabilização sustentável. 3. Biomateriais na construção civil. 4. Desempenho físico. 5. Sustentabilidade. I. Oliveira, Marília Pereira de , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

**Avaliação do Pó da Palha de Carnaúba como Aditivo Natural para Impermeabilização
de Argamassas**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 05 / 08 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Marília Pereira de Oliveira, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Presidente

Marineide Jussara Diniz, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Francisco Jordão Nunes de Lima, Prof. Dr. (UFOPA)
Membro Examinador

*Dedico a minha mãe Joceilma Alves Dantas,
minha fonte de amor, força e coragem.
Minha inspiração diária*

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus, meu refúgio e minha força, por me sustentar nos dias difíceis, por nunca me abandonar e por iluminar o meu caminho com sabedoria, fé e coragem. A Ti, Senhor, toda honra, toda glória e todo louvor. Agradeço também à Virgem Maria, minha Mãe do Céu, por me acolher sob o seu manto de amor, pela sua intercessão constante e pelo consolo nos momentos de silêncio e incerteza.

Gratidão à minha mãe, Joecilma Alves Dantas, mulher de força e coração gigante, que sempre acreditou em mim e esteve presente em cada etapa da minha caminhada, com amor, oração e apoio incondicional. Ao meu irmão, Markus Aurélio Dantas da Silva, pela cumplicidade, pelas palavras de incentivo e por estar sempre ao meu lado, mesmo em silêncio, torcendo por mim.

Agradeço imensamente ao meu noivo, Johnatan Lemos de Oliveira Nascimento, meu amor e parceiro de vida, por me apoiar nos dias mais cansativos, me escutar, me incentivar e caminhar comigo com tanto carinho e paciência. À minha prima e melhor amiga, Ingride Aparecida Gomes Dantas, por ser presença constante, por me acolher nos momentos difíceis e por me fazer rir mesmo nos dias mais desafiadores.

Com muita gratidão, agradeço à minha orientadora, Prof^a Dra. Marília Pereira de Oliveira, por toda dedicação, paciência, disponibilidade e por me guiar com tanta gentileza. Levo seu exemplo e sua generosidade no coração para sempre. Agradeço também aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção e do Laboratório de Ensaaios Mecânicos da UFERSA, pelo apoio indispensável nos momentos práticos da pesquisa, e a todos os professores da UFERSA, por todo o conhecimento, incentivo e formação ao longo desses anos.

Minha gratidão também se estende a todos os meus familiares e amigos, que de alguma forma fizeram parte dessa jornada. Cada palavra de apoio, cada gesto de carinho e cada oração foram fundamentais para que eu não desistisse. Ter pessoas que acreditaram em mim fez toda a diferença. Aos meus colegas de turma, que caminharam ao meu lado durante todos esses anos, enfrentando provas, trabalhos, noites sem dormir e muitos desafios, meu sincero agradecimento por cada momento compartilhado.

RESUMO

A busca por soluções sustentáveis na construção civil tem incentivado o uso de materiais alternativos que aliem desempenho técnico, viabilidade econômica e menor impacto ambiental. Este trabalho avaliou o desempenho de argamassas modificadas com a adição de pó da palha de carnaúba, visando sua aplicação como aditivo natural impermeabilizante. Foram desenvolvidas formulações com 5%, 10% e 15% do resíduo vegetal em relação à massa de cimento, além de argamassas com aditivo impermeabilizante industrial (Sika®-1) e revestimento impermeabilizante semi-flexível (SikaTop®-100), sendo todas comparadas a um traço de referência. Os ensaios foram realizados conforme normas da ABNT, abrangendo propriedades no estado fresco (índice de consistência, densidade de massa) e no estado endurecido (resistência à compressão, à tração na flexão, densidade aparente e absorção de água por capilaridade). Os resultados demonstraram que a adição do pó aumentou a necessidade de água para manter a consistência, sem comprometer a classificação da densidade de massa no estado fresco, que permaneceu na Classe DF4, exceto a argamassa (R.I), que se manteve na Classe DF3. Quanto às propriedades mecânicas, observou-se queda progressiva da resistência à compressão conforme o aumento do teor do aditivo, sendo a redução mais expressiva na formulação com 15%. Em contrapartida, os traços com 10% e 15% apresentaram os melhores resultados de impermeabilidade, com significativa redução na absorção capilar. Contudo, o ganho entre 10% e 15% foi pequeno, enquanto a perda de resistência no traço com 15% foi acentuada. Assim, do ponto de vista técnico e econômico, a formulação com 10% de pó da palha de carnaúba mostrou-se mais eficiente, proporcionando boa impermeabilidade com menor impacto estrutural e uso reduzido de matéria-prima. Os resultados indicam que o resíduo vegetal estudado é uma alternativa viável, de baixo impacto ambiental, e tecnicamente eficaz para substituir aditivos impermeabilizantes comerciais em argamassas de revestimento.

Palavras-chave: Aditivo natural; Impermeabilização sustentável; Biomateriais na construção civil; Desempenho físico; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The pursuit of sustainable solutions in civil construction has encouraged the use of alternative materials that combine technical performance, economic feasibility, and lower environmental impact. This study evaluated the performance of mortars modified with carnauba straw powder, aiming at its application as a natural waterproofing additive. Mixtures containing 5%, 10%, and 15% of the vegetal residue by cement mass were developed, in addition to mortars with a commercial waterproofing additive (Sika®-1) and a semi-flexible waterproofing coating (SikaTop®-100), all compared to a reference mix. Tests were conducted according to ABNT standards, covering fresh-state properties (consistency index and bulk density) and hardened-state properties (compressive strength, flexural tensile strength, apparent density, and water absorption by capillarity). Results showed that the addition of the powder increased water demand to maintain consistency without compromising fresh-state bulk density classification, which remained in Class DF4, except for the mortar with the semi-flexible coating (R.I), which remained in Class DF3. Regarding mechanical properties, a progressive decrease in compressive strength was observed with increasing additive content, with the most significant drop in the 15% mixture. In contrast, the 10% and 15% mixtures achieved the best waterproofing results, with a significant reduction in capillary absorption. However, the gain between 10% and 15% was minimal, while the strength loss in the 15% mix was more pronounced. From a technical and economic standpoint, the 10% formulation proved to be the most efficient, offering good waterproofing performance with minimal structural impact and reduced use of raw materials. The findings indicate that the studied vegetal residue is a viable, low-impact, and technically effective alternative to replace commercial waterproofing additives in rendering mortars.

Keywords: natural additive; sustainable waterproofing; bio-based materials in civil construction; physical performance; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Carnaubeira.....	26
Figura 2 - Fluxograma do procedimento experimental.	30
Figura 3 - Areia quartzosa peneirada.....	31
Figura 4 - Pó de palha de carnaúba tipo A	32
Figura 5 - Ensaio de composição granulométrica	33
Figura 6 - Ensaio de massa específica real do cimento Portland (CP II-F-32).	34
Figura 7 - (a) Preparação das argamassas. (b) Mistura dos materiais secos. (c) Homogeneização na argamassadeira.	35
Figura 8 - Corpos de prova moldados.	36
Figura 9 - Determinação do índice de consistência.....	37
Figura 10 - Ensaio de determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.....	38
Figura 11 - Ensaio de determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. .	39
Figura 12 - Ensaio resistência à tração na flexão	40
Figura 13 - Ensaio de Absorção de água por capilaridade.	41
Figura 14 - Distribuição de água no interior dos corpos de prova.	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia.	42
Gráfico 2 - Densidade de massa aparente no estado endurecido.....	46
Gráfico 3 - Ensaio de determinação da resistência à tração na flexão.	47
Gráfico 4 - resultados do ensaio de resistência à compressão.	48
Gráfico 5 - Ensaio de Absorção de água por capilaridade.	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificações das argamassas	17
Quadro 2- Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas.	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das argamassas quanto à massa específica no estado fresco.....	21
Tabela 2 - Ensaio de granulometria.....	42
Tabela 3 - Características físicas da areia quartzosa.	43
Tabela 4 - Índice de consistência e relação água/cimento.....	44
Tabela 5 - Densidade de massa e do teor de ar incorporado.	45
Tabela 6 - Índice de consistência e relação água/cimento.....	46
Tabela 7 - Ensaio de Absorção de água por capilaridade.....	50
Tabela 8 - Análise visual da altura média de distribuição de água nos CPs.....	51

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivos da pesquisa	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
2.1 Argamassas	17
2.1.1 Propriedades e características das argamassas	18
2.1.1.1 Trabalhabilidade	19
2.1.1.2 Retenção de água	20
2.1.1.3 Massa específica e teor de ar incorporado	20
2.1.1.5 Tempo de uso	21
2.1.1.6 Resistência à tração na flexão e à compressão	22
2.1.1.7 Absorção de água por capilaridade	23
2.1.2 Aditivos em argamassas	23
2.1.3 Aditivos	24
2.2. Carnaúba	25
2.2.1 Pó da palha da carnaúba	27
2.2.2 Pesquisas sobre o uso de aditivos naturais como impermeabilizantes na construção civil	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1. Materiais	30
3.1.1 Cimento Portland	31
3.1.2 Areia	31
3.1.3 Água	31
3.1.4 Pó de Palha de Carnaúba Tipo A	32
3.1.5 Revestimento Impermeabilizante Semi-Flexível	32
3.1.6 Aditivo Impermeabilizante	32
3.2. Métodos	33
3.2.1 Caracterizações físicas dos materiais	33
3.2.2 Preparação e moldagem das argamassas	34
3.2.3 Ensaio no estado fresco	36
3.2.3.1 Determinação do índice de consistência	36
3.2.3.2 Determinação da densidade de massa	37

3.2.4 Ensaio no estado endurecido	38
3.2.4.1 Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido	39
3.2.4.2 Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão	39
3.2.4.3 Ensaio de Absorção de água por capilaridade	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1. Características físicas do agregado miúdo	41
4.1.1 Características físicas do cimento Portland.....	43
4.2. Índice de consistência e relação água/cimento	43
4.3. Determinação da densidade de massa.....	44
4.4. Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido	45
4.5. Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.....	47
4.5.1 Determinação da resistência à tração na flexão	47
4.5.2 Determinação da resistência à compressão	48
4.6 Ensaio de Absorção de água por capilaridade	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
6. REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

A argamassa é amplamente utilizada na construção civil, desempenhando funções essenciais em revestimentos, assentamentos de alvenarias e regularizações de superfícies. Sua importância técnica vai além do aspecto estético, sendo determinante para a durabilidade e o desempenho das edificações frente à ação de agentes externos, principalmente a umidade. Quando exposta à água, a argamassa pode apresentar manifestações patológicas, como desagregações, eflorescências e perda de aderência, comprometendo a integridade dos sistemas construtivos (COSTA; LOUREIRO, 2021). Essas ocorrências tornam fundamental o estudo de soluções que melhorem a impermeabilidade dos materiais cimentícios.

Com o avanço das pesquisas em materiais alternativos e sustentáveis, o uso de aditivos naturais passou a receber maior atenção. A palmeira carnaubeira (*Copernicia prunifera*), típica do Nordeste brasileiro, tem se destacado como fonte de insumos vegetais com propriedades hidrofóbicas. O pó extraído da palha da carnaúba, tradicionalmente considerado um subproduto agrícola, vem sendo testado em argamassas como potencial agente impermeabilizante. Estudos como o de Coelho *et al.* (2011) apontam que esse pó contribui para a redução da absorção de água e da profundidade de carbonatação, aumentando a resistência à penetração de umidade e favorecendo a durabilidade das estruturas cimentícias.

Considerando a elevada incidência de falhas relacionadas à presença de umidade, a utilização de materiais que auxiliem na redução da absorção de água torna-se relevante. Dentre os recursos estudados nos últimos anos, destaca-se o uso de aditivos hidrofugantes de origem vegetal, como o pó da palha de carnaúba, cuja aplicação tem mostrado resultados promissores. Silva *et al.* (2016) investigaram o emprego desse resíduo em tijolos de solo-cimento, observando significativa redução na absorção de água e melhora na durabilidade do material. De forma semelhante, Gonçalves e Ferraz (2014) avaliaram o uso do pó da palha de carnaúba em pastas de gesso, verificando que a presença das ceras naturais reduziu a permeabilidade e contribuiu para o desempenho impermeabilizante. A carnaúba, planta típica do semiárido brasileiro, possui um subproduto rico em ceras naturais, conferindo a esse material propriedades potencialmente impermeabilizantes e reforçando seu potencial de aplicação em diferentes compósitos (SILVA *et al.*, 2016; GONÇALVES; FERRAZ, 2014).

Em pesquisas realizadas por Silva *et al.* (2016), a incorporação do pó da palha de carnaúba em tijolos de solo-cimento reduziu a absorção de água, comprovando seu comportamento como aditivo hidrofugante. Ainda que tenha ocorrido uma leve redução na

resistência mecânica dos corpos de prova, os resultados mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas para elementos de vedação. Isso demonstra que o resíduo pode ser utilizado com eficiência, desde que em proporções controladas.

Resultados semelhantes foram observados por Gonçalves e Ferraz (2014) ao incorporar o pó da carnaúba a pastas de gesso. Os autores constataram que a adição do material vegetal modificou o tempo de pega e contribuiu para a redução da absorção de água, sobretudo em concentrações de até 10%. Isso demonstra o potencial técnico da carnaúba.

Diante disso, este trabalho propõe estudar a incorporação do pó da palha de carnaúba em argamassas de revestimento, analisando suas propriedades físicas e a atuação do aditivo como agente impermeabilizante. Busca-se contribuir para o desenvolvimento de soluções técnicas que aliem desempenho, economia e uso responsável de recursos naturais regionais, além de oferecer alternativas aos produtos comerciais amplamente utilizados no setor.

1.1. Objetivos da pesquisa

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar as propriedades de argamassas produzidas com aditivo natural de pó da palha de carnaúba em diferentes concentrações, comparando seus resultados com os de argamassas contendo aditivo industrial e com revestimento impermeabilizante semi-flexível.

1.1.2 Objetivos específicos

- Produzir argamassas de referência e com aditivo de pó da palha de carnaúba nas proporções de 5%, 10% e 15% em relação à massa de cimento, além de argamassa com aditivo impermeabilizante industrial e com revestimento impermeabilizante semi-flexível
- Analisar a trabalhabilidade realizando ensaios de consistência, conforme a NBR 13276:2016, e determinação da densidade de massa, conforme a NBR 13278:2005;
- Realizar os ensaios de resistência mecânica à compressão e à tração por flexão das diferentes argamassas, conforme a norma técnica aplicável NBR 13279:2005.
- Avaliar o desempenho quanto à impermeabilidade por meio do ensaio de absorção de água por capilaridade, conforme a NBR 9779:2012.
- Comparar os resultados obtidos entre as formulações naturais e comerciais, verificando a influência dos materiais utilizados no desempenho das argamassas.

- Analisar a viabilidade técnica e funcional do uso do pó da palha de carnaúba como alternativa sustentável aos produtos impermeabilizantes convencionais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Argamassas

As argamassas desempenham papel fundamental na construção civil, especialmente no assentamento de alvenarias, revestimentos de paredes e tetos, execução de contrapisos e assentamento de peças cerâmicas e pedras. Seu uso remonta a cerca de 11.000 anos, com registros como o piso de argamassa de cal e areia descoberto em Israel, próximo a Yiftah’el (CARASEK, 2010). Com o avanço das técnicas construtivas, as argamassas modernas passaram a incorporar cimento Portland e aditivos orgânicos, como incorporadores de ar e retentores de água — estes últimos com a principal função de manter a umidade no sistema por tempo suficiente para o desenvolvimento adequado das reações de hidratação. A partir do final do século XIX, surgiram ainda as argamassas industrializadas, fornecidas prontas para uso, bastando apenas a adição de água na obra, o que simplificou e agilizou sua aplicação (CARASEK, 2010).

As argamassas inorgânicas são compostas por ligantes de origem mineral, agregados miúdos, água e, opcionalmente, adições, fibras ou aditivos, sendo projetadas para atender a requisitos específicos de desempenho conforme sua aplicação. Embora o pó da palha de carnaúba seja derivado de matéria orgânica, o seu processamento térmico resulta em um material predominantemente inorgânico, o que permite sua incorporação sem alterar a classificação da argamassa como inorgânica. De acordo com a ABNT NBR 13281-1:2023, essa definição se aplica tanto às argamassas produzidas em canteiro quanto às industrializadas, desde que atendam aos requisitos de desempenho para o uso pretendido.

A correta classificação das argamassas é essencial para definir suas propriedades e aplicações na construção civil. Ela considera critérios como natureza e tipo de aglomerante, número de aglomerantes, consistência, plasticidade e forma de preparo. O Quadro 1 apresenta essas categorias.

Quadro 1 - Classificações das argamassas

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	• Argamassa aérea

	• Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerantes	• Argamassa de cal • Argamassa de cimento • Argamassa de cimento e cal • Argamassa de gesso • Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	• Argamassa simples • Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	• Argamassa seca • Argamassa plástica • Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	• Argamassa pobre ou magra • Argamassa média ou cheia • Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	• Argamassa leve • Argamassa normal • Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	• Argamassa preparada em obra • Mistura semipronta para argamassa • Argamassa industrializada • Argamassa dosada em central

Fonte: Carasek (2010).

2.1.1 Propriedades e características das argamassas

A norma ABNT NBR 13281-1:2023 estabelece os requisitos, critérios e métodos de ensaio para a caracterização das argamassas inorgânicas destinadas ao revestimento de paredes e tetos. Essa regulamentação classifica as argamassas conforme sua aplicação, prevendo parâmetros que devem ser avaliados tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. No estado fresco, os ensaios devem verificar a retenção de água, a densidade de massa, o teor de ar incorporado e o tempo de utilização, características que influenciam a trabalhabilidade e a aplicabilidade no canteiro de obras.

No estado endurecido, a norma determina a realização de ensaios para a avaliação da resistência à tração superficial, resistência à tração na flexão e absorção de água por

capilaridade. Esses parâmetros são essenciais para garantir a conformidade da argamassa com os critérios técnicos exigidos para o uso adequado e sua durabilidade frente às condições ambientais e às solicitações da edificação.

2.1.1.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma característica essencial das argamassas no estado fresco, pois está diretamente relacionada à facilidade com que o material pode ser manipulado durante todo o processo construtivo. Essa propriedade interfere na eficiência das etapas de mistura, transporte, aplicação e acabamento, impactando o rendimento da mão de obra, o tempo de execução e a uniformidade do revestimento. Uma argamassa com bom desempenho nesse aspecto permite maior controle do processo, reduz perdas e contribui para a qualidade e a economia da obra (RECENA, 2012).

Já do ponto de vista técnico, a trabalhabilidade da argamassa é influenciada por diversos parâmetros, como consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, exsudação e adesão inicial. Esses fatores se comportam de maneira diferente conforme o tipo da argamassa, o substrato onde será aplicada e as condições ambientais durante o uso, como temperatura e umidade. Características do suporte, como porosidade e textura, também interferem na forma como a mistura se comporta após o contato com a base. Em termos reológicos, a consistência está ligada à fluidez da massa e à sua resistência ao escoamento, enquanto a plasticidade diz respeito à capacidade de deformação sem perda de coesão. Por isso, a avaliação da trabalhabilidade deve considerar não apenas as propriedades da mistura, mas também o ambiente e a técnica de aplicação utilizada, o quadro 2 mostra as propriedades relacionadas com a trabalhabilidade (CARASEK, 2010).

Quadro 2- Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas.

Propriedades	Definição
Consistência	É a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação de cargas.
Plasticidade	É a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação.
Retenção de água e da consistência	É a capacidade de a argamassa fresca manter sua trabalhabilidade

	quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água.
Coesão	Refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante.
Exsudação	É a tendência de separação da água (pasta) da argamassa, de modo que a água sobe e os agregados descem pelo efeito da gravidade. Argamassas de consistência fluida apresentam maior tendência à exsudação.
Densidade de massa	Relação entre a massa e o volume de material
Adesão inicial	União inicial da argamassa no estado fresco ao substrato.

Fonte: Carasek (2010).

2.1.1.2 Retenção de água

A retenção de água é uma propriedade essencial das argamassas no estado fresco, pois está relacionada à capacidade do material manter sua homogeneidade quando aplicada frente à perda de água por evaporação ou absorção pelo substrato. Essa propriedade ganha ainda mais importância quando a argamassa é aplicada em bases com alta porosidade ou sob condições climáticas desfavoráveis, como temperaturas elevadas, baixa umidade relativa do ar e ventos intensos. Nessas situações, a retenção de água contribui para garantir um bom desempenho na aplicação e no acabamento da argamassa, permitindo que o material permaneça trabalhável por tempo suficiente para sua correta utilização (CARASEK, 2010).

Além de sua influência na fase fresca, a retenção de água também exerce papel relevante nas propriedades da argamassa após o endurecimento. Ela impacta diretamente a aderência à base, a resistência mecânica e a durabilidade do revestimento, uma vez que o processo de hidratação dos aglomerantes depende da disponibilidade de água em quantidade adequada. A composição da argamassa, incluindo os tipos de materiais e proporções utilizados, interfere diretamente nessa propriedade, sendo fundamental para garantir o desempenho adequado do sistema ao longo do tempo (CARASEK, 2010).

2.1.1.3 Massa específica e teor de ar incorporado

A densidade de massa da argamassa, também chamada de massa específica, depende diretamente dos materiais utilizados em sua composição e da quantidade de ar incorporado durante o preparo. Argamassas com menor densidade tendem a ser mais leves e oferecem melhor trabalhabilidade, especialmente em aplicações prolongadas (CARASEK, 2010). A medição da densidade de massa em argamassas no estado fresco deve seguir os procedimentos estabelecidos na NBR 13278 (ABNT, 2005).

A densidade é calculada pela razão entre a massa e o volume ocupado pela argamassa, normalmente expressa em g/cm^3 . Esse valor é influenciado, principalmente, pela densidade dos agregados e pelo volume de ar presente na mistura (CARASEK, 2010). A presença de ar incorporado reduz a densidade da argamassa e, ao mesmo tempo, pode contribuir para a melhoria da trabalhabilidade e para a redução de patologias relacionadas à retração.

Argamassas mais leves também favorecem o desempenho da mão de obra, pois exigem menor esforço físico durante a aplicação. No estado endurecido, a densidade de massa tende a diminuir em relação ao estado fresco, principalmente devido à evaporação parcial da água utilizada na mistura e à retração química do cimento. Isso ocorre porque o volume das fases anidras é maior que o das fases hidratadas, resultando em redução de volume durante o processo de cura. Esse comportamento evidencia a relação entre a quantidade de água inicialmente presente e a diminuição da densidade ao longo da cura (CARASEK, 2010).

A Tabela 1 apresenta a classificação das argamassas quanto à massa específica no estado fresco, servindo como referência para análise dos diferentes tipos

Tabela 1 - Classificação das argamassas quanto à massa específica no estado fresco.

Argamassa	Massa Específica $\rho =$ (g/cm^3)	Principais agregados empregados	Usos / observações
Leve	$\rho < 1,40$	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	$2,30 \leq \rho \leq 1,40$	Areia de rio (quartzo) e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	$\rho > 2,30$	Brita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: Carasek (2010).

2.1.1.5 Tempo de uso

O tempo de uso corresponde ao período máximo permitido entre o preparo da argamassa de revestimento e sua aplicação na superfície, sem que haja prejuízos às propriedades do

material no estado fresco, como consistência e retenção de água, ou comprometimento de seu desempenho após o endurecimento. Esse intervalo deve ser rigorosamente respeitado, pois alterações durante esse período podem afetar a trabalhabilidade, a aderência ao substrato e a resistência final da argamassa. Segundo a ABNT NBR 13281-1:2023, esse parâmetro deve ser declarado pelo fabricante no caso de argamassas industrializadas ou registrado pelo responsável técnico quando a mistura for produzida em canteiro, sendo um requisito informativo obrigatório para controle da qualidade da aplicação.

2.1.1.6 Resistência à tração na flexão e à compressão

A resistência mecânica das argamassas está relacionada à capacidade do material de suportar esforços como compressão, tração e cisalhamento. Essa propriedade depende da boa compactação e do endurecimento interno do revestimento, que garantem sua coesão e integridade estrutural. Conforme Carasek (2010), uma resistência adequada permite que o revestimento mantenha sua estabilidade ao longo do tempo, contribuindo para a durabilidade e segurança da edificação.

Nas argamassas de revestimento, as solicitações predominantes são as tensões de tração e cisalhamento, pois o material deve resistir a esses esforços para prevenir o surgimento de fissuras ao longo da superfície aplicada. A resistência dessas argamassas está mais relacionada à capacidade de suportar a tração na flexão do que a compressão. Quando a argamassa apresenta baixa resistência à tração na flexão, torna-se incapaz de suportar adequadamente as tensões impostas, o que pode resultar no aparecimento de defeitos como fissuras e outras manifestações patológicas (FREITAS, 2010).

A quantidade de água na argamassa afeta diretamente seu desempenho físico e mecânico. Como observado por Melo (2022), uma maior relação água/cimento aumenta a fluidez da mistura, facilitando a aplicação, mas reduz a densidade no estado fresco e eleva a porosidade após a cura, comprometendo a resistência. Já uma menor quantidade de água resulta em uma matriz mais densa e resistente. Assim, controlar esse fator é fundamental para garantir a qualidade do revestimento.

A norma ABNT NBR 13279:2005 estabelece os procedimentos para determinar a resistência mecânica das argamassas utilizadas no assentamento e revestimento de paredes e tetos. Essa norma especifica os métodos para ensaios de compressão axial e tração na flexão, que são essenciais para avaliar o desempenho e a qualidade do material. Os corpos de prova

devem ser preparados, curados e testados conforme as condições descritas na norma, garantindo a uniformidade e a confiabilidade dos resultados obtidos.

2.1.1.7 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade é uma propriedade relevante para avaliar a durabilidade das argamassas, pois influencia diretamente sua capacidade de resistir à penetração de umidade ao longo do tempo. Esse fenômeno ocorre devido à presença de poros capilares na estrutura do material, cuja absorção varia conforme o grau de interconexão, o diâmetro e a quantidade desses poros. Quando esses poros são numerosos, amplos e bem conectados, a tendência é que a água seja absorvida com maior facilidade. Por isso, argamassas com menor absorção capilar tendem a apresentar melhor desempenho frente a agentes externos, sendo essa uma característica que contribui para a longevidade e qualidade do revestimento (Mattana et al., 2012).

A absorção de água por capilaridade ocorre devido à movimentação da água pelos poros de um material cimentício, impulsionada por forças intermoleculares entre o líquido e as superfícies internas dos poros. Esse processo está diretamente relacionado à quantidade, ao tamanho e à continuidade da rede capilar presente no material, influenciando sua durabilidade frente à umidade (MORAIS et al., 2020).

Para avaliar essa propriedade, a ABNT NBR 9779:2012 estabelece um método que utiliza corpos de prova cilíndricos, os quais são posicionados sobre uma lâmina de água com altura controlada, permitindo a absorção unidirecional de água pela base. A variação da massa dos corpos de prova ao longo do tempo é registrada até que se observe uma estabilização, sendo possível determinar a taxa de absorção capilar do material. Esse ensaio fornece um indicativo importante sobre o comportamento da argamassa frente à penetração de água, permitindo inferências sobre sua durabilidade em condições de exposição à umidade (ABNT, 9779:2012).

2.1.2 Aditivos em argamassas

A utilização de aditivos em argamassas tem como objetivo principal melhorar as propriedades físicas, químicas e mecânicas do material, conferindo maior resistência, durabilidade, trabalhabilidade e impermeabilidade. Os aditivos industrializados, geralmente produzidos a partir de compostos químicos específicos, são amplamente utilizados na construção civil para modificar características do revestimento, como tempo de cura, aderência e resistência à água (OLIVEIRA, 2020). Entre os principais aditivos industrializados estão os

plastificantes, aceleradores, retardadores e impermeabilizantes, que possuem formulações controladas para garantir desempenho padronizado e confiável (ABNT NBR 13281-1:2023).

Além dos aditivos industrializados, cresceu o interesse pelo uso de aditivos naturais em argamassas, motivado pela busca por soluções sustentáveis e econômicas, reduzindo impactos ambientais. Aditivos naturais, como fibras e pós vegetais provenientes de resíduos agrícolas (palha de arroz, bagaço de cana, pó da palha de carnaúba), vêm sendo estudados para melhorar a resistência mecânica e a impermeabilidade das argamassas, promovendo também maior flexibilidade e controle da retração (LIMA et al., 2021). Esses aditivos atuam como reforços internos que podem retardar a propagação de microfissuras e reduzir a absorção capilar, além de contribuírem para a valorização de resíduos que seriam descartados.

A comparação entre argamassas com aditivos industrializados e naturais indica que, apesar dos aditivos industrializados apresentarem resultados mais previsíveis e controlados, os naturais oferecem benefícios ambientais significativos e potencial de desempenho compatível para usos não estruturais. Estudos mostram que a combinação dos dois tipos de aditivos pode proporcionar sinergia, equilibrando desempenho técnico e sustentabilidade (PEREIRA; SOUSA, 2022). Dessa forma, a incorporação de aditivos naturais em argamassas representa uma alternativa promissora para a construção civil moderna, alinhada às práticas de economia circular e redução de resíduos.

2.1.3 Aditivos

Historicamente, os aditivos vêm sendo empregados com a finalidade de melhorar as propriedades de concretos e argamassas, mesmo em períodos anteriores à popularização do cimento Portland. O cimento Portland, patenteado em 1824 por Joseph Aspdin, passou a ser aditivado a partir de 1873 para controlar o tempo de pega, inicialmente com sulfato de cálcio (gesso cru) ou cloreto de cálcio. O sulfato de cálcio atua como regulador do tempo de pega, retardando a hidratação do cimento para evitar endurecimento prematuro. No final do século XIX, começaram a ser usados plastificantes e hidrofugantes derivados de graxas. A partir de 1910, a produção industrial de aditivos com diferentes funções evoluiu, ampliando as propriedades das argamassas e concretos e contribuindo para o avanço da construção civil (CORRÊA, 2010).

Atualmente, diversos aditivos são adicionados a argamassas e concretos, desempenhando funções variadas. Esses aditivos são substâncias químicas cujas moléculas

possuem cargas positivas e negativas, influenciando características importantes (LIMA; FILHO; SILVA, 2017).

A utilização de aditivos em concretos e argamassas tem como objetivo principal aprimorar as propriedades e a qualidade dos materiais empregados na construção civil. Essas substâncias químicas atuam diretamente sobre o comportamento do composto, promovendo melhorias tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Segundo Neville (2013), os aditivos facilitam o manuseio do material ao melhorar a trabalhabilidade, aspecto fundamental para garantir uma aplicação uniforme e eficiente durante os processos de moldagem e acabamento. Além disso, eles contribuem para o aumento da resistência mecânica, assegurando que o concreto ou a argamassa suporte tensões sem apresentar falhas estruturais. Outro ponto importante destacado pelo autor é a redução da absorção de água e da exsudação, o que minimiza a formação de poros, melhora a durabilidade e reduz o risco de fissuras no material..

2.2. Carnaúba

A carnaubeira (*Copernicia prunifera*) é uma palmeira nativa do Brasil que pode atingir de 7 a 10 metros de altura, chegando, em alguns casos, a até 15 metros. Seu tronco é retilíneo, de formato cilíndrico, com diâmetro variando entre 15 e 25 centímetros. A espécie ocorre, predominantemente, em áreas próximas a rios, sendo adaptada a solos argilosos, aluviais e com capacidade de resistir a longos períodos de alagamento durante as chuvas. Além disso, a planta tolera bem ambientes com alta salinidade e temperaturas elevadas, suportando até 3.000 horas de insolação por ano (COELHO, 2006). A morfologia característica da carnaubeira pode ser observada na Figura 1, que ilustra seu porte esguio e a copa recoberta por folhas cerosas, adaptadas ao clima semiárido.

Figura 1 - Carnaubeira



Fonte: Arquivos da autora (2025)

Segundo Duque (2004), a produção de cera na carnaubeira varia conforme a idade da planta, o solo, o clima e a proximidade do mar. As folhas formam uma copa arredondada, com coloração verde azulada devido à camada de cera na superfície. Com formato de leque e até 1,5 metro de comprimento, suas bordas têm filamentos rígidos, e o pecíolo pode chegar a 2 metros, com espinhos curvos. A extração das folhas ocorre na estação seca, entre julho e dezembro, dependendo da região. A cera protege a planta refletindo a radiação solar, reduzindo a perda de água e defendendo contra fungos (COELHO, 2006).

A produção da cera de carnaúba depende diretamente do manejo adequado das palhas da planta, realizado de forma tradicional e criteriosa. De acordo com a Câmara Setorial da Carnaúba (2009, p. 6):

Uma carnaubeira madura produz entre 35 e 40 palhas por ano, sendo 28 a 32 palhas maduras, e 7 ou 8 novas, ainda não totalmente abertas. As palhas maduras produzem pó tipo B, ou pó preto. As palhas novas, ou fechadas, dão pó tipo A, ou pó de branco, conhecido por pó de olho, por ser obtido das palhas do olho da carnaubeira.

O corte é feito manualmente por um profissional conhecido como vareiro, que utiliza uma vara longa com uma foice afiada na ponta. Esse processo exige habilidade, tanto para evitar ferimentos quanto para preservar as folhas novas da planta, que são essenciais para sua sobrevivência (CÂMARA SETORIAL DA CARNAÚBA, 2009).

Durante as etapas de secagem e batimento das folhas, há uma separação criteriosa entre os tipos de pó cerífero extraído. As folhas adultas são separadas das mais para evitar a mistura do pó tipo A (pó de olho) com o pó tipo B (pó preto), o que poderia comprometer a qualidade

do produto final. O uso de secadores solares auxilia na redução das impurezas presentes no pó. Após a secagem, o material passa pelo processo de remoção do pó ceroso, feito com o auxílio de uma máquina chamada derriçadeira, equipada com palhetas vibratórias. Quando acionada, essa máquina faz o pó se desprender das palhas, recolhendo-o sobre uma lona plástica, de onde será armazenado em sacos de algodão para transporte (CÂMARA SETORIAL DA CARNAÚBA, 2009).

A madeira retirada do tronco da carnaúba foi amplamente empregada na construção civil desde o período colonial, especialmente no Ceará. Sua forma retilínea, aliada à resistência natural contra cupins e outros insetos, além da durabilidade quando mantida seca ou submersa em água salgada, tornaram essa madeira uma escolha preferencial em diversas aplicações. A facilidade de extração, a abundância dos carnaubais e a praticidade no uso direto do tronco possibilitaram que ele fosse usado na edificação das primeiras moradias e estruturas militares erguidas nas regiões litorâneas e fluviais. Tanto casas quanto fortins foram construídos com esse material, evidenciando sua importância nas origens do povoamento colonial no Nordeste (D'ALVA, 2007).

Com o avanço dos colonizadores rumo ao interior, a carnaúba continuou a ter papel central nas construções sertanejas. Vaqueiros utilizaram o tronco para erguer ranchos, cercas e currais, enquanto nas áreas litorâneas ele foi incorporado na montagem de currais de pesca. A palmeira também teve relevância nos primeiros sistemas de irrigação do Estado: troncos escavados serviam como bombas d'água, operadas por cata-ventos igualmente feitos de carnaúba, e a água era distribuída por calhas confeccionadas a partir do próprio estipe. Esses usos demonstram não só a versatilidade do material, mas também a engenhosidade das populações locais na adaptação aos recursos disponíveis em seu ambiente (D'ALVA, 2007).

2.2.1 Pó da palha da carnaúba

O pó extraído da palha da carnaúba, subproduto natural da planta *Copernicia prunifera*, tem despertado interesse em estudos recentes devido ao seu potencial como aditivo impermeabilizante na construção civil. Originária do semiárido nordestino, a carnaubeira é abundante e tradicionalmente utilizada em diversas atividades econômicas da região. Pesquisas como as de Silva, Diniz e Oliveira (2016) demonstram que esse pó, quando incorporado a materiais cimentícios, como argamassas e concretos, pode contribuir significativamente para a redução da absorção de água e, conseqüentemente, para o aumento da durabilidade das estruturas. Outros autores também ressaltam que a utilização de aditivos naturais, como o pó da palha de carnaúba, constitui uma alternativa sustentável e eficiente frente aos aditivos sintéticos

tradicionalmente empregados na indústria da construção civil (SANTOS *et al.*, 2020; PEREIRA; LIMA, 2020).

A absorção de água por capilaridade é um dos fatores que mais comprometem a vida útil das construções, pois favorece o surgimento de fissuras, eflorescências e outros danos relacionados à umidade. O uso do pó de carnaúba como aditivo foi avaliado em diferentes composições de argamassas e concretos, sob condições ambientais variadas, revelando melhorias na permeabilidade e na resistência à penetração de água (COELHO *et al.*, 2011). Além disso, estudos mostraram que sua aplicação influencia positivamente no processo de carbonatação, retardando o avanço desse fenômeno, que pode comprometer a armadura do concreto ao longo do tempo (MESQUITA *et al.*, 2012).

Outro aspecto relevante na utilização desse aditivo está ligado à sustentabilidade. Por ser um insumo vegetal, renovável e de baixo impacto ambiental, o pó da palha da carnaúba oferece uma alternativa ecológica aos aditivos sintéticos, que geralmente envolvem processos industriais intensivos e utilização de substâncias químicas potencialmente agressivas ao meio ambiente. Assim, sua aplicação favorece não apenas a melhoria técnica do material, mas também promove práticas mais responsáveis dentro do setor da construção civil. A busca por soluções construtivas sustentáveis tem se tornado cada vez mais urgente, e o aproveitamento de resíduos vegetais regionais se insere nesse contexto de inovação com consciência ambiental.

Além do aspecto técnico e ambiental, o uso do pó da palha da carnaúba como aditivo também reforça a importância de valorizar materiais tradicionais e regionais, promovendo o desenvolvimento local. Muitas comunidades nordestinas dependem do extrativismo da carnaúba como fonte de sustento, e iniciativas que ampliam o uso desse recurso agregam valor à cadeia produtiva e fomentam a economia regional (D'ALVA, 2007). Ao considerar o potencial desse subproduto em tecnologias construtivas, promove-se não apenas inovação e sustentabilidade, mas também inclusão socioeconômica. A difusão do conhecimento sobre as propriedades desse material, como promovido por órgãos setoriais e pesquisadores, fortalece o vínculo entre tradição e modernização (CÂMARA SETORIAL DA CARNAÚBA, 2009).

2.2.2 Pesquisas sobre o uso de aditivos naturais como impermeabilizantes na construção civil

O estudo desenvolvido por Gonçalves e Ferraz (2014) teve como objetivo analisar o comportamento da cera de carnaúba, um material de origem vegetal, como impermeabilizante natural em pastas de gesso. Os ensaios mostraram que a adição da cera influenciou significativamente as propriedades físicas do compósito, sobretudo no tempo de pega e na

absorção de água. Quando utilizado na concentração de 10% em massa, o impermeabilizante foi capaz de reduzir a absorção de água do gesso para níveis inferiores aos observados em amostras sem aditivo, atingindo uma média de 35%. Isso indica que a cera de carnaúba atua como barreira parcial à entrada de umidade, podendo aumentar a durabilidade do material em ambientes internos úmidos (GONÇALVES; FERRAZ, 2014).

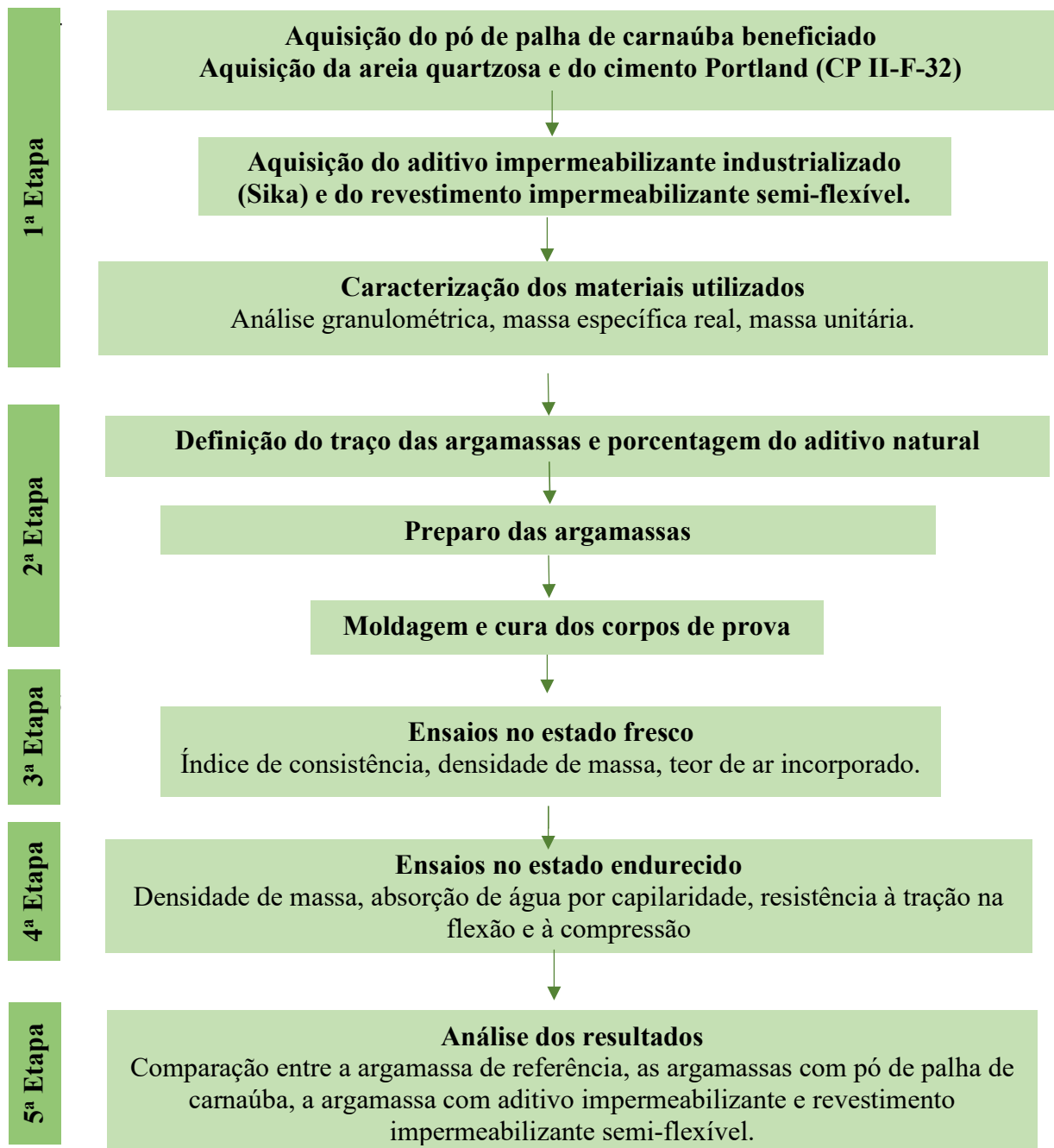
De modo semelhante, Mesquita et al. (2012) realizaram um estudo com concreto autoadensável incorporado com 5% de pó de carnaúba, avaliando sua durabilidade frente à ação da água. Os ensaios incluíram absorção por imersão, capilaridade e permeabilidade sob pressão. Os resultados revelaram que o aditivo vegetal reduziu em 21% a absorção de água por imersão e em até 58% a permeabilidade, demonstrando sua eficácia como agente hidrofugante. A pesquisa atribui esse desempenho à capacidade do pó de atuar como uma barreira física dentro da matriz cimentícia, promovendo maior compactação e menor porosidade, fatores determinantes para o aumento da vida útil da estrutura em ambientes agressivos (MESQUITA et al., 2012).

Mesquita (2015) avaliou o desempenho de argamassas produzidas com cimento Portland e cal hidratada, incorporando 5% de pó de carnaúba em relação à massa de cimento. Foram realizados ensaios de absorção de água por imersão, determinação da profundidade de carbonatação e índice de consistência, conforme as normas da ABNT NBR 5738:2003, NBR 13276:2016 e NBR 9778:2005. Os testes foram aplicados em diferentes idades de cura (7, 14, 28 e 56 dias). Os resultados revelaram que a adição do pó não alterou significativamente a consistência das argamassas, mas promoveu redução substancial na absorção de água e na profundidade da frente de carbonatação, especialmente para a relação água/cimento de 0,55 (MESQUITA, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e a metodologia utilizada para o desenvolvimento das argamassas, conforme o fluxograma apresentado na Figura 2

Figura 2 - Fluxograma do procedimento.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.1. Materiais

A seleção dos materiais teve como objetivo garantir a representatividade dos insumos comumente utilizados na produção de argamassas no contexto regional. Os materiais empregados na presente pesquisa foram os seguintes:

3.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland utilizado foi o CP II-F-32, classificado como cimento com adição de filler calcário. Esse tipo de cimento foi escolhido por sua ampla aplicação em obras de pequeno a médio porte, sendo adequado para argamassas de uso geral. Sua composição contribui para a trabalhabilidade da mistura e boa resistência mecânica.

3.1.2 Areia

A areia empregada foi do tipo quartzosa, de origem comercial, adquirida na cidade de Mossoró/RN. Para garantir sua adequação à faixa granulométrica recomendada pelas normas técnicas, a areia foi peneirada previamente em malha com abertura de 4,75 mm, com o objetivo de eliminar partículas com dimensões superiores. A Figura 3 mostra uma amostra da areia peneirada utilizada.

Figura 3 - Areia quartzosa peneirada



Fonte: Arquivos da autora (2025)

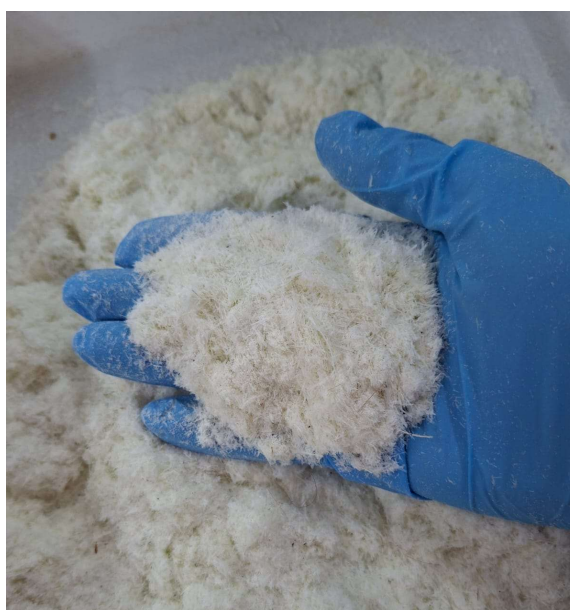
3.1.3 Água

A água utilizada na preparação das argamassas foi proveniente do sistema público de abastecimento da cidade de Mossoró/RN. Essa água é considerada potável e atende aos critérios normativos exigidos para o preparo de misturas cimentícias, contribuindo para a qualidade do material fresco.

3.1.4 Pó de Palha de Carnaúba Tipo A

O pó de palha de carnaúba tipo A foi adquirido já beneficiado, oriundo do município de Itaiçaba/CE. O material é resultante do processamento das folhas da carnaubeira (*Copernicia prunifera*) e tem se mostrado promissor como aditivo natural em materiais cimentícios, especialmente por suas propriedades hidrofugantes. Além disso, representa uma alternativa sustentável por se tratar de um resíduo agrícola aproveitável. Figura 4 apresenta o aspecto do pó de palha de carnaúba utilizado.

Figura 4 - Pó de palha de carnaúba tipo A



Fonte: Arquivos da autora (2025)

3.1.5 Revestimento Impermeabilizante Semi-Flexível

Foi utilizado o produto SikaTop®-100, um revestimento impermeabilizante bicomponente de natureza semi-flexível. Ele é composto por um líquido polímero (componente A) e um pó cimentício (componente B), sendo indicado para áreas sujeitas à umidade e pressão hidrostática. Esse revestimento foi aplicado conforme as orientações do fabricante, para avaliação do desempenho impermeabilizante.

3.1.6 Aditivo Impermeabilizante

O aditivo impermeabilizante utilizado foi o Sika®-1, um produto líquido de ação hidrofugante, incorporado à água de amassamento e adicionado à mistura cimentícia durante o preparo. Sua composição baseia-se em uma solução aquosa de silicatos coloidais, que reagem

com os compostos do cimento durante o processo de hidratação, promovendo o bloqueio de poros e capilares na estrutura endurecida. O produto foi utilizado conforme as proporções recomendadas pelo fabricante.

3.2. Métodos

3.2.1 Caracterizações físicas dos materiais

A areia quartzosa utilizada nesta pesquisa foi caracterizada fisicamente por meio de ensaios realizados de acordo com normas técnicas consolidadas. A análise granulométrica foi conduzida conforme os critérios estabelecidos na ABNT NBR 17054:2022, permitindo a identificação da distribuição das partículas e sua adequação ao uso em argamassas, demonstrado pela figura 5. Esses parâmetros são fundamentais para o controle da dosagem e para a compreensão do comportamento físico do agregado miúdo na composição das argamassas.

Figura 5 - Ensaio de composição granulométrica



Fonte: Arquivos da autora (2025)

O cimento Portland empregado neste estudo foi do tipo CP II-F-32. As propriedades físicas desse aglomerante foram determinadas por meio de ensaios normatizados, sendo a massa específica real obtida conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 16605 (2017) como mostra a figura 6. Todos os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), garantindo a confiabilidade dos resultados obtidos.

Figura 6 - Ensaio de massa específica real do cimento Portland (CP II-F-32).



Fonte: Arquivos da autora (2025)

3.2.2 Preparação e moldagem das argamassas

As argamassas foram preparadas com traço em massa de 1:3, A adoção do traço em massa 1:3 foi fundamentada no manual ET-91 – Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente, de Sabbatini (1998), publicado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), no qual se destaca que a “mistura normal — traço 1:3 (cimento:areia, em volume)” é uma referência tradicional no meio técnico para argamassas de cimento, sendo também utilizada em especificações britânicas para argamassas mistas (aglomerante:areia seca, em volume), pois, nessa proporção, o volume de pasta aglomerante é suficiente para preencher os vazios da areia, assegurando trabalhabilidade, adesão e coesão da mistura, além de reduzir a formação de vazios internos, o que contribui para a resistência e a durabilidade; tal princípio físico de preenchimento de porosidade fundamenta o uso consolidado do traço 1:3 como referência de dosagem, sendo aqui adotado como base experimental para a avaliação do efeito do aditivo natural.

Foi utilizando 750 g de cimento Portland CP II-F-32 e 2,25 kg de areia quartzosa. Como aditivo natural, foi incorporado o pó de palha de carnaúba tipo A, em proporções de 0% (referência), 5%, 10% e 15% em relação à massa de cimento. Os materiais secos foram previamente pesados e homogeneizados em uma argamassadeira mecânica de laboratório, assegurando a distribuição uniforme do aditivo na mistura.

De acordo com a ABNT NBR 16541, os materiais secos foram inicialmente misturados por aproximadamente 1 minuto. Em seguida, 75% da água total foi adicionada lentamente durante os primeiros 10 segundos com o misturador em velocidade baixa, mantendo-se a mistura até completar 30 segundos desde o início do processo. Depois, a velocidade foi aumentada para alta, continuando a mistura por mais 60 segundos. Após esse período, realizou-se a raspagem das superfícies internas para garantir a homogeneidade da argamassa, respeitando o tempo total recomendado pela norma. Por fim, o misturador foi acionado novamente em velocidade baixa, e o restante da água (25%) foi adicionado gradualmente durante 10 segundos, continuando a mistura por mais 30 segundos. A Figura 7 ilustra o processo de mistura dos materiais, evidenciando as etapas anteriores e posteriores à adição da água

Figura 7 - (a) Preparação das argamassas. (b) Mistura dos materiais secos. (c) Homogeneização na argamassadeira.



Fonte: Arquivos da autora (2025)

Após o preparo, as argamassas foram moldadas em corpos de prova cilíndricos e prismáticos, conforme os requisitos dos ensaios previstos. O adensamento dos corpos de prova cilíndricos foi realizado manualmente com o auxílio de um soquete, garantindo a compactação em camadas e a eliminação de vazios. Para os corpos prismáticos, utilizou-se a mesa de adensamento, a mesma empregada no ensaio de consistência, assegurando a uniformidade da mistura nas fôrmas. Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos à cura submersa

em água potável, mantida à temperatura ambiente, durante um período contínuo de 28 dias. A Figura 8 apresenta os corpos de prova cilíndricos e prismáticos já moldados

Figura 8 - Corpos de prova moldados.



Fonte: Arquivos da autora (2025)

Para a formulação com aditivo industrializado, foi utilizado o Sika®-1, produto impermeabilizante aplicado conforme as recomendações do fabricante. Neste caso, 30 ml do Sika®-1 foram incorporados diretamente à água de mistura para cada 750 g de cimento, sendo essa quantidade descontada do volume total de água para manter a consistência adequada da argamassa com a mesma relação cimento:areia de 1:3.

Já o SikaTop®-100, um revestimento impermeabilizante semi-flexível bicomponente, foi preparado separadamente, seguindo as proporções indicadas pelo fabricante para seus componentes líquido (A) e em pó (B), que foram misturados na proporção 1:3,5, utilizando 3 kg do componente em pó e aproximadamente 0,86 litro do componente líquido. Após a preparação das misturas, as argamassas foram moldadas nos corpos de prova.

3.2.3 Ensaio no estado fresco

3.2.3.1 Determinação do índice de consistência

A determinação do índice de consistência da argamassa foi realizada seguindo o procedimento estabelecido pela ABNT NBR 13276 (ABNT, 2016). Inicialmente, o molde

troncônico e a mesa para ensaio foram limpos e secos para evitar interferências nos resultados. A argamassa fresca foi colocada no molde em três camadas de alturas aproximadamente iguais, aplicando-se golpes uniformemente distribuídos com um soquete metálico: quinze golpes na primeira camada, dez na segunda e cinco na terceira, para garantir a compactação adequada. Caso necessário, o volume do molde foi completado com argamassa fresca. Após o preenchimento, a superfície foi nivelada com régua metálica e resíduos ao redor do molde foram removidos com pano limpo.

Em seguida, o molde foi retirado verticalmente, e a mesa acionada para realizar 30 quedas em 30 segundos, promovendo o adensamento da argamassa. Imediatamente após, foram feitas três medições do diâmetro do espalhamento da argamassa, sendo calculada a média para obtenção do índice de consistência, que avalia a trabalhabilidade da mistura. A Figura 9 demonstra a realização do ensaio.

Figura 9 - Determinação do índice de consistência.



Fonte: Arquivos da autora (2025)

3.2.3.2 Determinação da densidade de massa

A determinação da densidade de massa das argamassas no estado fresco foi realizada conforme os procedimentos descritos na ABNT NBR 13278:2005. O ensaio foi executado utilizando um recipiente cilíndrico previamente calibrado, preenchido com água em temperatura ambiente, para determinação do seu volume por diferença de massa.

Após o preparo da argamassa, a mistura foi introduzida no recipiente em três camadas de altura aproximadamente igual. Cada camada foi adensada por meio de 20 golpes com

espátula ao longo do perímetro, seguidos por três quedas do recipiente de uma altura de aproximadamente 3 cm, conforme especificado na norma, com o objetivo de eliminar vazios. O excesso de material foi rasado com a espátula, e a massa do conjunto com a argamassa foi então determinada conforme figura 10.

Figura 10 - Ensaio de determinação da densidade de massa.



Fonte: Arquivos da autora (2025)

A densidade de massa da argamassa fresca (d) foi calculada pela equação:

$$d = \frac{(m_c - m_v) \times 100}{v_r}$$

Onde:

d = densidade de massa da argamassa

m_c = é a massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, em gramas.

m_v = é a massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;

v_r = é o volume do recipiente cilíndrico, em centímetros cúbicos.

O valor da densidade foi expresso em kg/m^3 , arredondado ao inteiro mais próximo.

3.2.4 Ensaios no estado endurecido

3.2.4.1 Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido

De acordo com a norma ABNT NBR 13280:2005, as dimensões de cada corpo-de-prova foram medidas em duas posições utilizando paquímetro, registrando-se altura, largura e comprimento em centímetros, em seguida, a massa de cada amostra foi determinada com resolução de 0,1 g conforme a figura 11. Os valores foram anotados em gramas.

Figura 11 - Ensaio de determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.



Fonte: Arquivos da autora (2025)

3.2.4.2 Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

A resistência à tração na flexão foi determinada com base nos procedimentos descritos na ABNT NBR 13279 (ABNT, 2005). Os corpos de prova prismáticos foram posicionados nos dispositivos de apoio da prensa universal, garantindo que as faces rasadas não estivessem em contato com os apoios nem com o ponto de aplicação da carga conforme ilustra a figura 12. A carga foi aplicada verticalmente no centro do vão até ocorrer a ruptura do corpo de prova. A partir da carga máxima registrada no momento da falha, foi calculada a resistência à tração na flexão (R_f), utilizando a seguinte equação:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_t \times L}{40^3}$$

Onde:

F_t = é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;
 L = é a distância entre os suportes, em milímetros;

Figura 12 - Ensaio resistência à tração na flexão



Fonte: Arquivos da autora (2025)

Para o ensaio de resistência à compressão axial, foram utilizadas as metades dos corpos de prova prismáticos obtidas após a ruptura no ensaio de tração na flexão. Cada metade foi posicionada na prensa universal de maneira que a face rompida não estivesse em contato com os dispositivos de apoio nem com o aplicador de carga, conforme as recomendações da ABNT NBR 13279:2005. A carga foi aplicada de forma contínua até a ruptura das amostras, registrando-se a carga máxima suportada por cada corpo de prova. A resistência à compressão axial (R_c) foi calculada com base na equação:

$$R_c = \frac{F}{600}$$

3.2.4.3 Ensaio de Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade foi determinada conforme a ABNT NBR 9779 (ABNT, 2012), utilizando corpos de prova cilíndricos. Inicialmente, as amostras foram secas em estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até que não apresentassem variação de massa, sendo então resfriadas em dessecador e pesadas. Em seguida, os corpos de prova foram posicionados verticalmente em um recipiente contendo água limpa, com imersão controlada de aproximadamente 5 mm da base inferior como mostra a figura 13. As massas foram registradas nos intervalos de 3 h, 6 h,

24 h, 48 h e 72 h, conforme especificado na norma. Com base nos ganhos de massa em cada intervalo.

Figura 13 - Ensaio de Absorção de água por capilaridade.



Fonte: Arquivos da autora (2025)

A determinação da absorção de água por capilaridade, conforme a NBR 9779 (ABNT, 2012), envolve o uso da seguinte equação:

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S}$$

Onde:

C = absorção de água por capilaridade, (g/cm²);

m_{sat} = massa do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em (g);

m_s = massa do corpo de prova seco, assim que este atingir a temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, em (g);

S = área da seção transversal, em (cm²)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Características físicas do agregado miúdo

A areia quartzosa utilizada apresentou distribuição granulométrica totalmente inserida dentro da zona utilizável, conforme os limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2022, sendo que a maior parte da curva se encontra dentro da zona ótima. O material mostrou-se adequado para uso como agregado miúdo em argamassas de revestimento, atendendo aos critérios exigidos para esse tipo de aplicação. O módulo de finura obtido foi de 2,8, valor compatível

com os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 17054:2022, enquanto o diâmetro máximo encontrado foi de 4,75 mm. A Tabela 2 apresenta a distribuição do material retido nas peneiras utilizadas durante o ensaio de análise granulométrica.

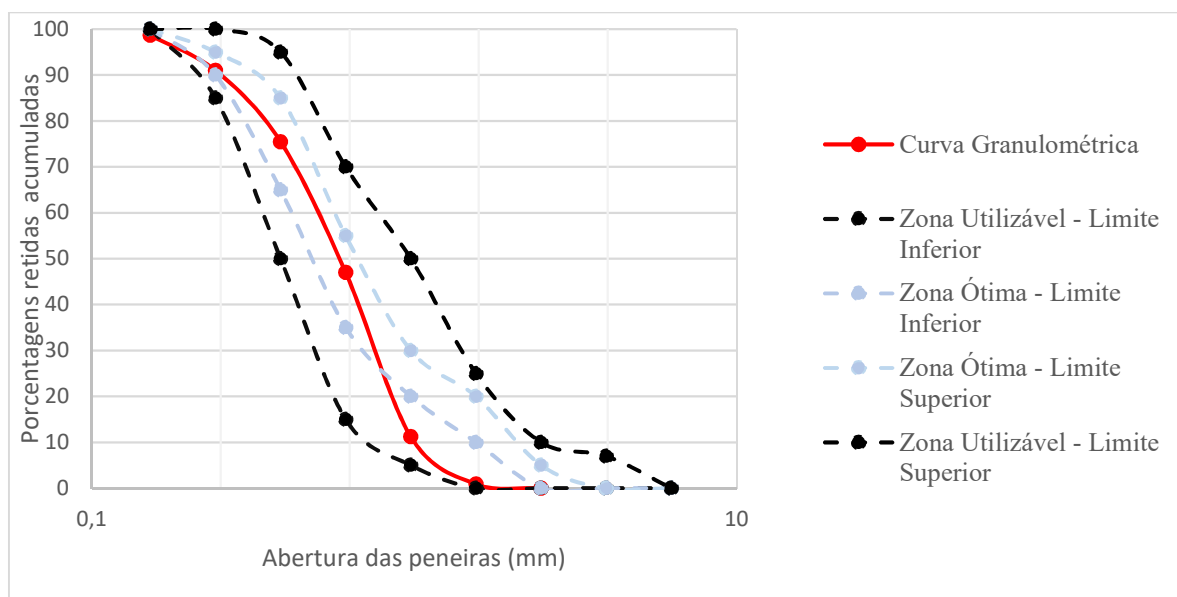
Tabela 2 - Ensaio de granulometria.

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		Massa retida (%)		Porcentagem retida média	Porcentagem retida acumulada
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio A	Ensaio B		
4,75	6,8	6,4	1,36 %	1,28 %	1,32 %	1,32 %
2,36	41,1	35,8	8,23 %	7,16 %	7,70 %	9,02 %
1,18	84,5	70,4	16,91 %	14,09 %	15,50 %	24,52 %
0,6	148,2	136,5	29,66 %	27,32 %	28,49 %	53,01 %
0,3	169,8	187,9	33,99 %	37,60 %	35,79 %	88,80 %
0,15	45,1	57,8	9,03 %	11,57 %	10,30 %	99,10 %
Fundo	4,1	4,9	0,82 %	0,98 %	0,90 %	100 %
Σ	499,6	499,7	100 %	100 %		

Fonte: Arquivos da autora (2025)

Para caracterizar o agregado miúdo, foi determinada sua curva granulométrica, apresentada no Gráfico 1. Os resultados atendem aos limites da ABNT NBR 7211:2022, com a maior parte dentro da zona ótima.

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia.



Fonte: Arquivos da autora (2025)

A Tabela 3 apresenta as principais propriedades físicas do agregado miúdo, incluindo a dimensão máxima característica, o módulo de finura, a massa específica real.

Tabela 3 - Características físicas da areia quartzosa.

Propriedades Físicas	Areia Quartzosa
Dimensão máxima característica (mm)	4,75
Módulo de finura	2,8
Massa específica real (g/cm ³)	2,59

Fonte: Arquivos da autora (2025)

4.1.1 Características físicas do cimento Portland

A massa específica do cimento Portland CP II-F-32 utilizado nesta pesquisa foi determinada conforme a norma ABNT NBR 16605:2017, que estabelece o método do frasco de Le Chatelier para a obtenção da massa específica real (ou absoluta) do cimento. O valor obtido foi de 2,99 g/cm³, estando em conformidade com a faixa informada pelo fabricante Apodi, que apresenta massa específica variando entre 2,80 e 3,20 g/cm³ (CIMENTO APODI, 2025). Ressalta-se que a massa específica real refere-se apenas à massa das partículas sólidas por unidade de volume, desconsiderando os espaços vazios entre elas, o que a torna adequada para comparações diretas com os dados obtidos em ensaio.

4.2. Índice de consistência e relação água/cimento

Por meio do ensaio de determinação do índice de consistência, foi possível definir a quantidade de água necessária para cada traço. De acordo com a ABNT NBR 16541:2016, as argamassas devem apresentar índice de consistência de 260 mm $\pm$ 5 mm, garantindo uniformidade na trabalhabilidade. A Tabela 4 apresenta tanto as relações entre água e materiais secos quanto os valores obtidos nos ensaios de consistência. Observa-se que, com o aumento do teor de adição do pó da palha de carnaúba, houve maior demanda de água para alcançar o mesmo espalhamento, o que resultou no aumento da relação água/cimento para manter a mesma condição de fluidez.

Tabela 4 - Índice de consistência e relação água/cimento.

Porcentagem presente do pó	Cimento	Areia	Água ou Água + Aditivo	Índice de consistência (mm)	Relação água/cimento
0%			395 ml	259	0,53
0% + Aditivo			365 + 30 ml	261	0,53
5%	750 g	2,25 kg	415 ml	260	0,55
10%			440 ml	263	0,59
15%			465 ml	261	0,62

Fonte: Arquivos da autora (2025)

Observa-se na Tabela 4 um acréscimo de 17,72% na quantidade de água utilizada na mistura da argamassa com 15% de pó de palha de carnaúba, em comparação à argamassa de referência, sem adição do pó. Esse aumento pode ser atribuído à elevada superfície específica do material vegetal, que, por apresentar partículas finas e com grande área exposta. Além disso, como o pó foi incorporado sem substituição de nenhum outro componente da argamassa, houve um aumento no volume total de materiais sólidos, o que naturalmente exige um maior volume de água para garantir uma trabalhabilidade adequada e manter o índice de consistência dentro dos padrões desejados

4.3. Determinação da densidade de massa

A determinação da densidade de massa no estado fresco nas argamassas é fundamental para compreender o comportamento do material durante a aplicação e seu comportamento final. De acordo com a ABNT NBR 13278:2005, as formulações com adição de pó de palha de carnaúba se enquadraram na classe DF4, que corresponde à densidade de massa igual ou superior a 2000 kg/m³. Já a argamassa de referência (R.I.), com densidade de 1973,7 kg/m³, se enquadrrou na classe DF3, cuja faixa é de 1800 a 2000 kg/m³. Conforme apresentado na Tabela 5, a formulação com 0% de resíduo obteve o maior valor (2109,5 kg/m³), enquanto a adição do aditivo impermeabilizante resultou em leve redução (2097,3 kg/m³). À medida que se aumentou o teor de pó de palha de carnaúba, a densidade de massa apresentou tendência de queda, atingindo 2060,9 kg/m³ na formulação com 15%. Esse comportamento está relacionado à menor massa específica do resíduo vegetal.

Tabela 5 - Densidade de massa.

Argamassa	Densidade de massa (kg/m³)
0%	2109,492
0% + Aditivo	2097,274
5%	2074,953
10%	2069,549
15%	2060,855
R.I	1973,684

Fonte: Arquivos da autora (2025)

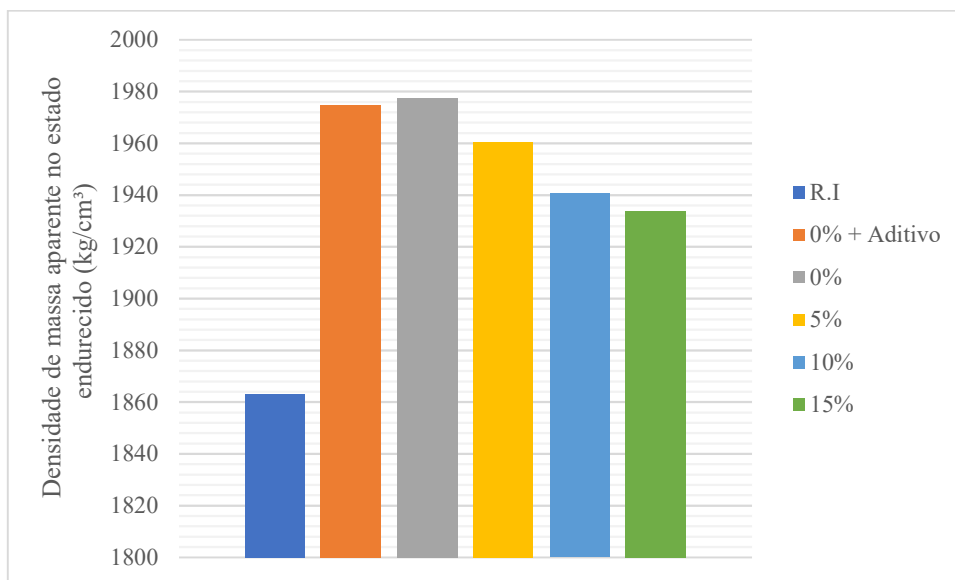
4.4. Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido

Conforme os dados obtidos, a argamassa de referência apresentou a maior densidade entre as amostras com adição de pó vegetal, registrando 1977,5 kg/m³. À medida que se aumentou o teor de pó da palha de carnaúba, observou-se uma redução progressiva da densidade, chegando a 1933,9 kg/m³ na formulação com 15% como ilustra o gráfico 2.

A tendência de redução da densidade está associada à menor massa específica do pó da palha de carnaúba em comparação com a areia natural. Esses fatores contribuem para a diminuição da massa por unidade de volume.

Estudos anteriores, como o de (SANTOS; SILVA; LIMA, 2019) confirmam esse comportamento ao demonstrarem que resíduos de origem vegetal altera o empacotamento das partículas e a compactação da argamassa, afetando diretamente sua densidade. Em contrapartida, a amostra com aditivo impermeabilizante apresentou valor similar ao da referência, indicando que esse tipo de aditivo não compromete significativamente a densidade do material.

Gráfico 2 - Densidade de massa aparente no estado endurecido.



Fonte: Arquivos da autora (2025)

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para a densidade de massa aparente no estado endurecido das diferentes composições de argamassa aos 28 dias de cura.

Tabela 6 – Densidade de massa aparente no estado endurecido.

Amostra	Volume (cm³)	Massa (g)	Densidade (kg/m³)
R.I	255,1	475,3	1863,1
0% + Aditivo	272,5	538,0	1974,6
0%	272,4	538,7	1977,5
5%	268,3	526,1	1960,6
10%	266,7	517,7	1940,6
15%	263,9	510,4	1933,9

Fonte: Arquivos da autora (2025)

Segundo a classificação da ABNT NBR 13281-1:2023, todas as amostras analisadas pertencem à classe DE3, por apresentarem densidade igual ou superior a 1800 kg/m³. Esse resultado demonstra que, mesmo com a redução gradativa da densidade nas formulações com pó da palha de carnaúba, as argamassas mantêm um desempenho adequado para aplicações em revestimento. Ressalta-se ainda que os valores de densidade no estado endurecido são naturalmente inferiores aos observados no estado fresco, devido à evaporação parcial da água de amassamento durante o processo de cura, fato comum em argamassas cimentícias.

4.5. Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

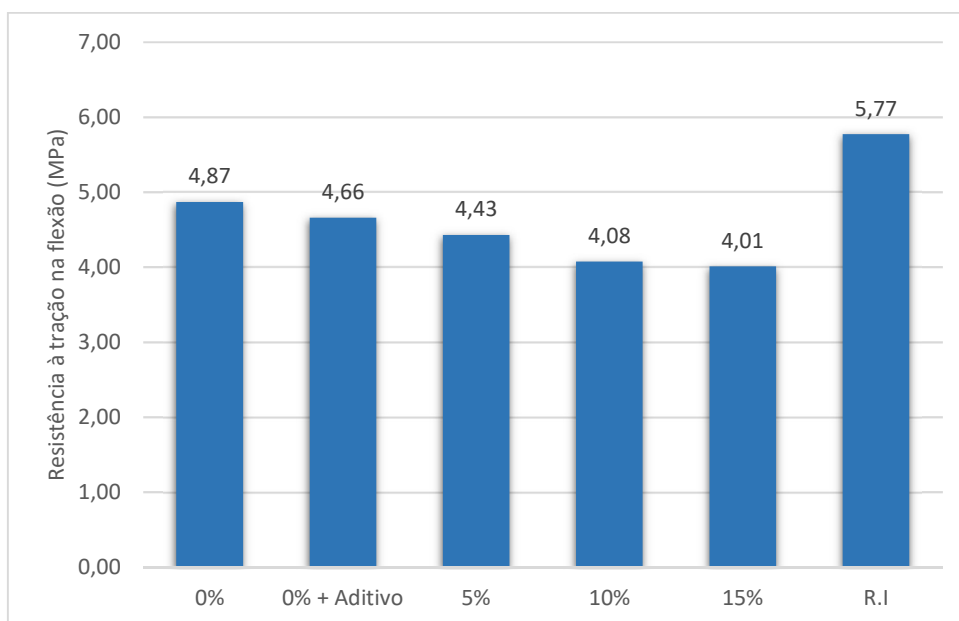
4.5.1 Determinação da resistência à tração na flexão

Como mostra o Gráfico 3, a argamassa de referência com o aditivo impermeabilizante (0% + aditivo) apresentou resistência à tração na flexão de aproximadamente 4,66 MPa, sendo superior às formulações com adição de pó de palha de carnaúba. Observa-se uma tendência de redução dos valores conforme o aumento do teor do resíduo: cerca de 4,43 MPa (5%), 4,08 MPa (10%) e 4,01 MPa (15%).

Estudos como o de França (2018) também identificaram que a adição de resíduos vegetais, especialmente em maiores proporções, pode prejudicar o desempenho mecânico, sobretudo na resistência à flexão. Resultado semelhante foi encontrado por Silva et al. (2020), os quais verificaram que a incorporação de fibras de carnaúba, independentemente do comprimento e da proporção, leva à redução dessa propriedade, devido à deficiência de dispersão e à maior heterogeneidade da mistura.

De forma convergente, Lima et al. (2020) explicam que a presença de fibras vegetais, como a da carnaúba, tende a aumentar os vazios internos da matriz cimentícia, reduzindo a capacidade de resistência à tração indireta das argamassas.

Gráfico 3 - Ensaio de determinação da resistência à tração na flexão.



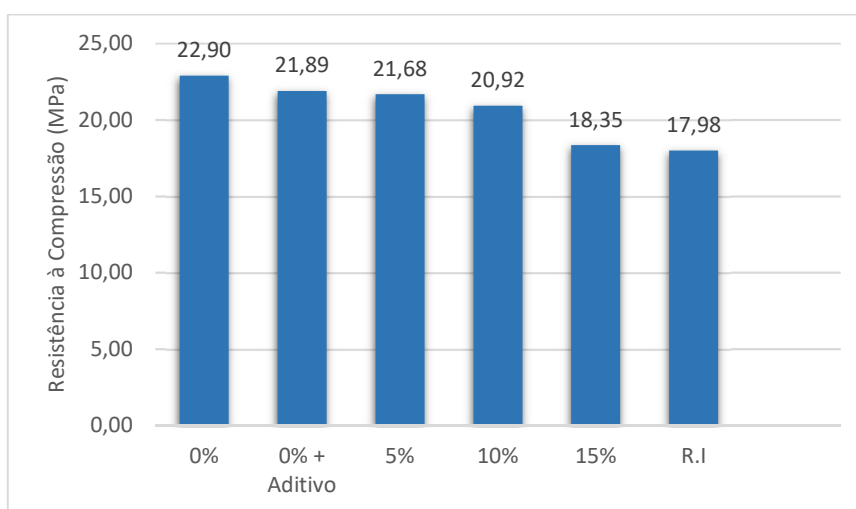
Fonte: Arquivos da autora (2025)

O melhor desempenho na tração por flexão foi observado no R.I (revestimento SikaTop®-100), com resistência de aproximadamente 5,05 MPa. Esse resultado pode estar relacionado à natureza bicomponente do produto, sendo o componente A uma dispersão de polímero acrílico e o componente B uma base cimentícia modificada com cargas minerais. Essa formulação é projetada para fornecer aderência superior e leve flexibilidade à superfície, o que pode contribuir para a distribuição das tensões sem rupturas prematuras (SIKA, 2024a). Em contraste, a argamassa com Sika®-1, embora tenha superado as formulações com o pó vegetal, apresentou desempenho inferior ao revestimento. Isso se justifica por sua composição, baseada em uma solução aquosa de silicatos coloidais, cujo efeito principal é o bloqueio de poros capilares para fins de impermeabilização interna, sem ganhos estruturais significativos (SIKA, 2024b). A distinção entre os dois produtos evidencia que a adição de agentes impermeabilizantes pode impactar de formas diferentes o desempenho mecânico da argamassa, conforme sua composição e modo de aplicação.

4.5.2 Determinação da resistência à compressão

A resistência à compressão das argamassas foi influenciada significativamente pela adição do pó de palha de carnaúba. A amostra de referência (0%) apresentou o melhor desempenho (22,90 MPa), seguida pelas formulações com 0% + aditivo (21,89 MPa), 5% (21,68 MPa) e 10% (20,92 MPa). Já os teores de 15% e a amostra com o revestimento SikaTop®-100 obtiveram os menores valores (18,35 MPa e 17,98 MPa, respectivamente), conforme mostra o Gráfico 4.

Gráfico 4 - resultados do ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Arquivos da autora (2025)

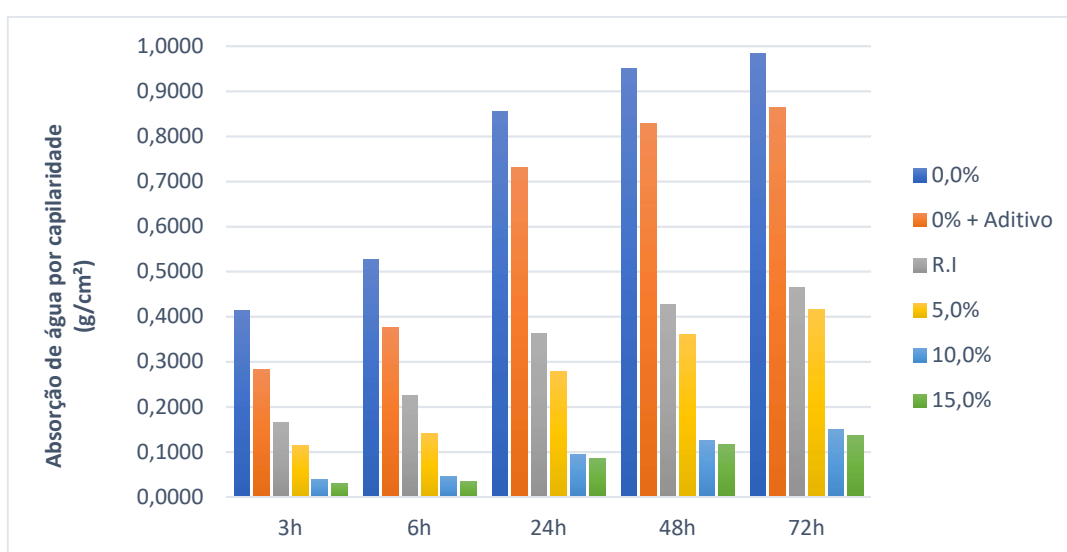
Embora o R.I tenha promovido um incremento na resistência à tração na flexão, ele apresentou o pior desempenho em compressão. Isso pode ser explicado pela natureza semi-flexível do produto, que é composto por um componente A (dispersão polimérica acrílica) e um componente B (mistura cimentícia com aditivos), formando uma matriz com comportamento mais elástico após a cura (SIKA, 2024). Essa flexibilidade confere maior resistência a esforços de tração, mas reduz a rigidez e a resistência a cargas axiais de compressão, resultando em menor desempenho nesse tipo de solicitação. Como observado por Silva et al. (2020), materiais poliméricos adicionados a matrizes cimentícias tendem a amortecer tensões e apresentar deformações maiores, o que é favorável à tração, mas prejudicial à compressão.

4.6 Ensaio de Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade, analisada em diferentes intervalos de tempo, evidenciou diferenças significativas entre os traços. Os dois traços de referência 0% e 0% + aditivo impermeabilizante apresentaram os maiores índices de absorção ao longo de todo o período avaliado, atingindo cerca de 0,92 g/cm² e 0,86 g/cm², respectivamente, aos 72h.

Já os traços com 5%, 10% e 15% de pó de palha de carnaúba apresentaram um desempenho significativamente superior, com destaque para os dois maiores teores como mostra o gráfico 5.

Gráfico 5 - Ensaio de Absorção de água por capilaridade.



Fonte: Arquivos da autora (2025)

O traço com 15% apresentou a menor absorção registrada, ficando abaixo de 0,15 g/cm² aos 72h. No entanto, observa-se que os valores do traço com 10% ficaram muito próximos, com diferença pouco expressiva em todos os tempos analisados., sugerindo que o ganho adicional de apenas alguns centésimos de g/cm² pode não justificar a inclusão de 5 % a mais de resíduo.

A Tabela 7 apresenta as médias das massas dos corpos de prova de argamassa empregados no ensaio de absorção de água por capilaridade.

Tabela 7 - Ensaio de Absorção de água por capilaridade.

CP	Massa constante seca (g)	Massa após 3h	Massa Após 6h	Massa após 24h	Massa após 48h	Massa após 72h
0,0%	393,97	402,10	404,30	410,77	412,63	413,30
0% + Aditivo	384,07	389,63	391,47	398,43	400,33	401,03
5,0%	386,47	388,70	389,23	391,93	393,53	394,63
10,0%	376,07	376,83	376,97	377,93	378,53	379,00
15,0%	364,60	365,20	365,30	366,30	366,90	367,27
R.I	332,67	335,90	337,10	339,80	341,07	341,80

Fonte: Arquivos da autora (2025)

O desempenho do pó da palha de carnaúba na redução da absorção de água por capilaridade está relacionado, principalmente, ao seu mecanismo de ação de natureza física. As partículas micronizadas atuam como agente de preenchimento dos poros capilares, promovendo uma barreira mecânica à penetração da água. Além disso, as ceras naturais presentes no resíduo vegetal conferem propriedades hidrorrepelentes à matriz cimentícia, contribuindo para a diminuição da molhabilidade interna. Esse comportamento tem sido confirmado em estudos com adição de pó de carnaúba em concretos, nos quais se verificou uma redução consistente da absorção capilar, mantendo os níveis de desempenho dentro dos limites normativos (MESQUITA *et al.*, 2012).

Após a finalização do ensaio de absorção de água por capilaridade, os corpos de prova foram seccionados longitudinalmente com o objetivo de avaliar visualmente a distribuição da água em seu interior. A análise permitiu observar a altura até a qual a água havia ascendido de forma visível, revelando diferenças entre os traços avaliados. A altura média da zona úmida observada na Tabela 8.

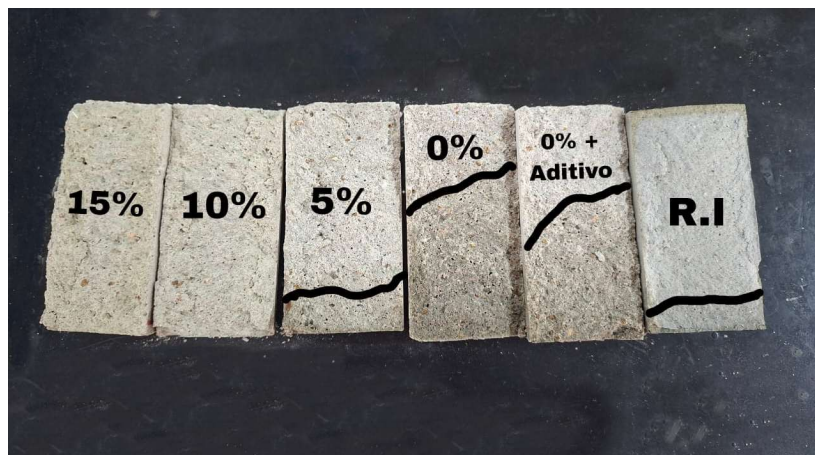
Tabela 8 - Análise visual da altura média de distribuição de água nos CPs.

Corpos de prova	Altura média
0,0%	7 cm
0% + Aditivo	5,5 cm
5,0%	2,5 cm
10,0%	0 cm
15,0%	0 cm
R.I	2 cm

Fonte: Arquivos da autora (2025)

A Figura 14 permite ver a distribuição de água no interior e comparar a penetração da água entre os corpos de prova. Essas observações visuais complementam os dados quantitativos obtidos, contribuindo para uma interpretação mais completa do desempenho das argamassas quanto à absorção capilar.

Figura 14 - Distribuição de água no interior dos corpos de prova.



Fonte: Arquivos da autora (2025)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho de argamassas com adição de pó da palha de carnaúba, verificando sua viabilidade técnica como aditivo natural para fins de impermeabilização. A pesquisa envolveu a produção de diferentes formulações, testes em estado fresco e endurecido, e comparações com soluções comerciais, como aditivo impermeabilizante industrial e revestimento semi-flexível.

Os resultados obtidos demonstraram que a incorporação do pó vegetal influenciou diretamente nas propriedades das argamassas. No estado fresco, a adição do resíduo promoveu maior demanda de água para atingir o índice de consistência desejado, refletida no aumento da relação água/cimento. Apesar disso, todas as formulações modificadas enquadraram-se na Classe DF4 de densidade de massa no estado fresco ($\geq 2.000 \text{ kg/m}^3$), conforme a ABNT NBR 13281-1:2023, só a argamassa (R.I) permaneceu na Classe DF3 ($1.800 \leq \text{DF} < 2.000 \text{ kg/m}^3$), evidenciando a viabilidade prática das formulações com aditivo quanto à aplicação.

No estado endurecido, as formulações com adição de pó apresentaram tendência de redução na densidade de massa e resistência mecânica à medida que o teor do aditivo aumentava. Essa queda se mostrou mais acentuada na resistência à compressão, especialmente na formulação com 15%, que apresentou redução expressiva em relação à formulação com 0% (referência).

O desempenho em relação à absorção de água por capilaridade foi o ponto mais positivo da adição do pó da palha de carnaúba. As argamassas com 10% e 15% do aditivo apresentaram resultados significativamente superior aos traços de referência. Contudo, ao comparar as duas formulações naturais, observou-se que o traço com 15% apresentou apenas uma ligeira vantagem na redução da absorção de água em comparação ao traço com 10%. A diferença observada nos valores de capilaridade foi sutil, e, portanto, não justificou a acentuada perda de resistência mecânica observada entre os dois traços.

Do ponto de vista técnico e econômico, esse equilíbrio é crucial. A dosagem de 10% demonstrou ser a mais vantajosa, pois proporcionou uma redução significativa da absorção capilar com impacto moderado na resistência mecânica à compressão, além de exigir menor quantidade de matéria-prima. Já a formulação com 15%, embora tenha alcançado o melhor desempenho impermeabilizante, apresentou queda relevante na resistência à compressão, o que pode representar risco à segurança e durabilidade estrutural em aplicações mais exigentes.

Assim, traços acima de 10% podem ser considerados tecnicamente desvantajosos quando o objetivo for a eficiência hidrofóbica sem comprometer o desempenho estrutural da argamassa.

Conclui-se, portanto, que o pó da palha de carnaúba é tecnicamente viável como aditivo natural impermeabilizante em argamassas, apresentando resultados promissores especialmente quanto à redução da absorção de água. Embora sua incorporação exija ajuste na relação água/cimento e ocasione pequena perda de resistência, tais impactos podem ser controlados com o uso da dosagem adequada

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276:2016:** Argamassa para assentamento e revestimento – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13278:2005:** Argamassa para assentamento e revestimento – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279:2005:** Argamassa para assentamento e revestimento – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13280:2005:** Argamassa para assentamento e revestimento – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13281-1:2023:** Argamassa inorgânica para revestimento de paredes e tetos – Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16541:2016:** Argamassa para assentamento e revestimento – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16605:2017:** Cimento Portland – Determinação da massa específica real – Método do frasco de Le Chatelier. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054:2022:** Agregados – Determinação da composição granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211:2022:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9779:2012:** Argamassa e concreto – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

CÂMARA SETORIAL DA CARNAÚBA. **A carnaúba: preservação e sustentabilidade.** Fortaleza: Câmara Setorial da Carnaúba, 2009. 36 p.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 1, p. 893-943.

CIMENTO APODI. **CP II-F-32: Cimento Portland Composto**. Fortaleza: Cimento Apodi, 2025. Disponível em: <https://cimentoapodi.com.br/cp-ii/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

COELHO, F. C. A. et al. **Argamassas com incorporação do pó de carnaúba: análise da permeabilidade e carbonatação**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC, 53., 2011, Brasília. Anais [...]. Brasília: IBRACON, 2011.

CORRÊA, A. C. A. **Estudo do desempenho dos aditivos plastificantes e polifuncionais em concretos de cimento Portland tipo CPIII-40**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 52., 2010, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: IBRACON, 2010.

COSTA, L. P.; LOUREIRO, M. P. **Patologias de argamassas expostas à umidade: eflorescência e desagregação**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2021. Monografia.

DUQUE, J. G. **Solo e água no Polígono das Secas**. 6. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2004.

D'ALVA, Oscar Arruda. **O extrativismo da carnaúba no Ceará**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007. 176 p. (Série BNB Teses e Dissertações, 4).

FREITAS, C. de. **Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba: propriedades no estado fresco e endurecido**. 2010. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010..

GONÇALVES, I. C. M.; FERRAZ, A. V. **Estudo do efeito de materiais impermeabilizantes de origem vegetal na pasta de gesso**. *Evolvere Scientia*, v. 3, n. 1, p. 76–83, 2014.

LIMA, D. P. de et al. **Potencial do resíduo da carnaúba em materiais cimentícios: análise das propriedades mecânicas**. *Revista Científica da FASETE*, v. 10, n. 2, p. 85–94, 2020..

LIMA, M. V. V. de; FILHO, A. C. F.; SILVA, Â. J. C. **Um comparativo em níveis de consistência de aditivos plastificante e superplastificante em função do tempo de mistura**. *Gestão e Gerenciamento*, v. 1, n. 8, p. 62-68, 2017.

LIMA, T. R. et al. **Influência de aditivos naturais na resistência e durabilidade de argamassas de revestimento**. *Revista Ciência & Engenharia*, v. 12, n. 1, p. 78-89, 2021.

MATTANA, L. M.; SILVA, J. S.; LIMA, A. T. S. **Avaliação da absorção por capilaridade de argamassas para revestimento com diferentes aditivos impermeabilizantes**. 2012.

MELO, L. T. **Caracterização tecnológica de argamassas de revestimento com diferentes traços e agregados locais**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MESQUITA, Esequiel; SILVA, João; OLIVEIRA, Carlos. **Avaliação da durabilidade de concreto autoadensável com incorporação do pó de carnaúba**. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 12, n. 3, p. 45-56, 2012.

- MESQUITA, Esequiel. **Argamassas com incorporação do pó de Carnaúba: análise da permeabilidade e carbonatação**. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- MORAIS, F. R. et al. **Avaliação do desempenho mecânico e absorção capilar de concretos com incorporação de aditivos cristalizantes**. *Revista Matéria*, v. 25, n. 1, 2020.
- NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- RECENA, F. A. P. **Conhecendo argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2012.
- SABBATINI, Fernando Henrique. *Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente*. 2. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998. 44 p. (Estudo Técnico, ET-91).
- SANTOS, M. L.; OLIVEIRA, J. F. **Uso de aditivos plastificantes em argamassas: propriedades e aplicações**. *Revista Engenharia Civil*, v. 10, n. 2, p. 45-53, 2020.
- SANTOS, White José dos; SILVA, José dos Santos; LIMA, Alessandra Tolentino Souza. **Análise comparativa de propriedades mecânicas e de durabilidade de argamassas de revestimento mistas e aditivadas**. 2019.
- SIKA. **Sika®-1: aditivo impermeabilizante hidrofugante para argamassas**. São Paulo: Sika Brasil, 2024b. Disponível em: https://bra.sika.com/content/dam/dms/br01/e/sika_-1.pdf. Acesso em: 7 jul. 2025.
- SIKA. **SikaTop®-100: revestimento impermeabilizante semi-flexível bicomponente**. São Paulo: Sika Brasil, 2024a. Disponível em: <https://bd-sp.canaldapeca.com.br/SIKA/MANUAL/428058.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2025.
- SILVA, A. M. B. et al. **Influência da adição de fibras de carnaúba nas propriedades mecânicas de argamassas**. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, e-12480, 2020.
- SILVA, A. R. G. da et al. **Uso do pó da palha de carnaúba como impermeabilizante em tijolo de solo-cimento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS – CBECIMat, 22., 2016, Natal. Anais [...]. Natal: ABM, 2016. p. 4203–4209.
- PEREIRA, A. S.; SOUSA, R. M. **Avaliação do desempenho de argamassas com aditivos naturais e industrializados**. *Revista Brasileira de Materiais de Construção*, v. 15, n. 3, p. 223-232, 2022.