



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

TÚLIO ATSON DA SILVA PINHEIRO

**POTENCIALIDADE DO USO DO PÓ DE PEDRA E DO PÓ DE MADEIRA NA
PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS.**

CARAÚBAS/RN

2022

TÚLIO ATSON DA SILVA PINHEIRO

**POTENCIALIDADE DO USO DO PÓ DE PEDRA E DO PÓ DE MADEIRA NA
PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Me. Jennef Carlos Tavares.

CARAÚBAS/RN

2022

© 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 tornar-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.

A883p Atson, Túlio.
POTENCIALIDADE DO USO DO PÓ DE PEDRA E DO PÓ DE
MADEIRA NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS. /
Túlio Atson. - 2022.
66 f. : il.

Orientador: Jennef Carlos Tavares.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2022.

1. Reutilização. 2. Resíduo de rochas. 3.
Materiais cimentícios suplementares. 4. Efeito
fíler . I. Tavares, Jennef Carlos, orient. II.
Título.

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

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito
RodriguesCRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

TÚLIO ATSON DA SILVA PINHEIRO

**POTENCIALIDADE DO USO DO PÓ DE PEDRA E DO PÓ DE MADEIRA NA
PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Aprovado em: 10/06/2022.

BANCA EXAMINADORA

JENNEF CARLOS

TAVARES: [REDACTED]

Assinado de forma digital por
JENNEF CARLOS

TAVARES: [REDACTED]

Dados: 2022.06.15 10:53:16
-03'00'

Prof. Me. Jennef Carlos Tavares (UFERSA)
Presidente

ALISON KAIO DANTAS
PEREIRA: [REDACTED]

Assinado de forma digital por ALISON
KAIO DANTAS PEREIRA: [REDACTED]
Dados: 2022.06.15 10:17:41 -03'00'

Alison Kaio Dantas Pereira – Esp.
Membro Examinador

[REDACTED]

Glauco Fonsêca Henriques – Eng.
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus que me deu a oportunidade de estar aqui hoje concluindo esse meu trabalho. Em seguida, quero agradecer aos meus pais, Aldeniza e Eneias que me ajudaram de todas as formas possíveis para que eu pudesse chegar até aqui, com toda a certeza sem eles, eu não seria nem a metade do que sou hoje, dedico essa conquista exclusivamente a eles!

Quero agradecer também a minha namorada, Wemily, que me sustentou, me deu forças e equilíbrio em toda minha trajetória até aqui, e sem ela eu também não conseguiria. Aos meus amigos e companheiros fiéis, Luís, Luan, Gêneses e Wesley, onde a UFERSA nos uniu e proporcionou diversas adversidades nas nossas vidas, porém, com muita luta e dedicação sempre conseguimos vencer.

Quero mostrar uma gratidão imensa ao meu orientador, Jennef, que se dedicou ao máximo para mim, sempre se fez presente e acreditou que tudo daria certo, e deu! Enfim, a todos que compõem o projeto de argamassas, em especial, ao meu amigo Deivison, que batalhou e me ajudou bastante nos laboratórios.

Por fim, agradeço novamente a Deus, que sempre atendeu as minhas orações e se fez presente quando eu necessitava. Acredite em seus sonhos! Porque hoje eu estou realizando um dos meus.

“Até aqui o Senhor nos ajudou.”

1ª Samuel 7:12

RESUMO

Houve um aumento gradual no setor da construção civil, em especial nos últimos anos, pelo consumo predominante das matérias-primas. Somente no ano de 2020, o Brasil registrou 605 milhões de toneladas de agregados destinado para a construção civil, sendo 353 milhões só da areia natural. A fabricação nacional do cimento Portland vem tomando proporções maiores a cada dia, em 2020 foi produzido mais de 61 milhões de toneladas de cimento, maior resultado atingido nos últimos cinco anos. Diante desses problemas, a presente pesquisa tem como objetivo analisar a influência da incorporação do pó de pedra em relação à areia natural, além da substituição parcial do cimento Portland pelo pó de madeira na produção de argamassas sustentáveis. Com esse propósito, foi realizada a caracterização dos materiais utilizados para produção das argamassas, sendo submetidos aos ensaios de granulometria, massa específica e unitária, enquanto que as argamassas passaram por consistência e densidade de massa (estado fresco) e por resistência à compressão, absorção por capilaridade (estado endurecido). Logo após, foram formuladas argamassas na proporção de 1:3, em massa, com as composições de 100% cimento: 100% areia: 100% água (AS-REF); 100% cimento: 100% pó de pedra: 100% água (AS-PDP) e 90% cimento: 10% pó de madeira: 100% pó de pedra: 100% água (AS-PDP/PM). O estudo da granulometria e massa específica dos agregados indicou que a areia natural e o pó de pedra possuíam curvas granulométricas e composições semelhantes. No estado fresco, a argamassa AS-PDP/PM, apresentou o maior teor de água/materiais secos com 0,63, a AS-REF foi a que manifestou menor teor com 0,53. A argamassa AS-PDP/PM indicou a maior densidade de massa, enquanto AS-REF apresentou a menor densidade com valores de 1,93 e 2,00 (g/cm³), respectivamente. No estado endurecido, o traço AS-PDP alcançou a menor resistência à compressão aos 28 dias com 14,60 MPa, enquanto a AS-REF apresentou maior resistência com 21,42 MPa. A argamassa AS-REF possuiu o maior resultado do coeficiente de capilaridade com 2,84 (g/dm².min^{1/2}), enquanto o traço AS-PDP/PM possuiu o menor valor, com uma redução de 53,17% quando comparado, o que corrobora uma possível utilização do pó de pedra e pó de madeira na produção de argamassas de alvenaria e revestimento.

Palavras-chave: Reutilização. Resíduo de rochas. Materiais cimentícios suplementares. Efeito fíler

ABSTRACT

There has been a gradual increase in the construction industry, especially in recent years, due to the predominant consumption of raw materials. Only in the year 2020, Brazil recorded 605 million tons of aggregates intended for construction, 353 million tons of natural sand alone. The national manufacture of Portland cement has been taking larger proportions every day, in 2020 more than 61 million tons of cement was produced, the highest result achieved in the last five years. Given these problems, the present research aims to analyze the influence of the incorporation of stone dust in relation to natural sand, in addition to the partial replacement of Portland cement by wood dust in the production of sustainable mortars. With this purpose, the characterization of the materials used for the production of mortars was performed, being submitted to the tests of granulometry, specific and unit mass, while the mortars went through consistency and mass density (fresh state) and compressive strength, capillary absorption (hardened state). After that, mortars were formulated in the proportion of 1:3, by mass, with the compositions 100% cement: 100% sand: 100% water (AS-REF); 100% cement: 100% stone powder: 100% water (AS-PDP) and 90% cement: 10% wood powder: 100% stone powder: 100% water (AS-PDP/PM). The study of the granulometry and specific mass of the aggregates indicated that the natural sand and the stone powder had similar granulometric curves and compositions. In the fresh state, the AS-PDP/PM mortar had the highest water/dry material content with 0.63, while AS-REF had the lowest content with 0.53. The AS-PDP/PM mortar indicated the highest mass density, while AS-REF showed the lowest density with values of 1.93 and 2.00 (g/cm³), respectively. In the hardened state, the AS-PDP mixture reached the lowest compressive strength at 28 days with 14.60 MPa, while AS-REF presented the highest strength with 21.42 MPa. The AS-REF mortar had the highest result of capillarity coefficient with 2.84 (g/dm².min^{1/2}), while the AS-PDP/PM mix had the lowest value, with a reduction of 53.17% when compared, which corroborates a possible use of stone powder and wood powder in the production of masonry and lining mortars.

Keywords: Reuse. Waste rock. Supplementary cementitious materials. Fillers effect

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Chapisco.	6
Figura 2: Emboço.	7
Figura 3: Reboco.	7
Figura 4: Acabamento decorativo.	8
Figura 5: Tipos de cimentos.	9
Figura 6: Dunas de pó de pedra.	13
Figura 7: Maquinário na pedreira Caraúbas.	13
Figura 8: Fluxograma do programa experimental.	21
Figura 9: Cimento CP V-ARI RS utilizado.	22
Figura 10: Areia natural fracionada.	23
Figura 11: Pó de pedra fracionada.	24
Figura 12: Aspecto variado do pó de madeira recolhido.	24
Figura 13: Pó de madeira passante na peneira de 0,15 milímetros.	25
Figura 14: Ensaio de massa específica: areia natural (a) e pó de pedra (b).	26
Figura 15: Ensaio de massa unitária: areia natural (a) e pó de pedra (b).	27
Figura 16: Ensaio de massa específica: cimento (a) e pó de madeira (b).	27
Figura 17: Ensaio do índice de consistência.	29
Figura 18: Moldagem dos corpos de prova prismáticos.	30
Figura 19: Ensaio de resistência à compressão (a), tração na flexão (b).	30
Figura 20: Ensaio de densidade de massa no estado endurecido.	31
Figura 21: Ensaio de absorção de água por capilaridade.	32
Figura 22: Curvas granulométricas: areia Normal (a); areia Bruta (b).	33
Figura 23: Curvas granulométricas: pó de pedra Normal (a); pó de pedra bruto (b).	35
Figura 24: Ensaio de consistência.	38
Figura 25: Densidade de massa das argamassas no estado fresco.	40
Figura 26: Densidade de massa das argamassas no estado endurecido.	41
Figura 27: Resistência à compressão e incremento das argamassas.	42
Figura 28: Absorção por capilaridade aos 10 e 90 min, e coeficiente de capilaridade.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das argamassas segundo a NBR 13529.....	4
Tabela 2: Classificação das argamassas segundo as suas funções.	5
Tabela 3: Composição cimento CP V-ARI RS.	10
Tabela 4: Limites físicos e mecânicos do cimento CP V-ARI RS.	10
Tabela 5: Exigências químicas do cimento CP V-ARI RS.	10
Tabela 6: Classificação das argamassas: resistência à compressão.....	19
Tabela 7: Classificação das argamassas: resistência à tração na flexão.	19
Tabela 8: Classificação das argamassas: coeficiente de capilaridade.	20
Tabela 9: Nomenclatura das composições de argamassas.	28
Tabela 10: Classificação das areias quanto ao módulo de finura.	34
Tabela 11: Massa específica e massa unitária da areia normal.	34
Tabela 12: Massa específica e massa unitária do pó de pedra.	36
Tabela 13: Massa específica do cimento.	37
Tabela 14: Massa específica do pó de madeira.	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP — Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção

AS — Argamassa Sustentável

C2S — Silicato dicálcico

C3A — Aluminato tricálcico

C3S — Silicato tricálcico

C4AF — Ferroaluminato tetracálcico

CBIC — Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CP — Cimento Portland

CPs — Corpos de Prova

IBGE — Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAM — Instituto Brasileiro de Mineração

MF — Módulo de Finura

MME — Ministério de Minas e Energia

PDP — Pó de pedra

PIB — Produto Interno Bruto

PM — Pó de madeira

REF — Referência

RN — Rio Grande do Norte

SNIC — Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 GERAL.....	3
2.2 ESPECÍFICOS	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1 ARGAMASSA.....	4
3.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DE ARGAMASSA.....	8
3.2.1 Cimento Portland	8
3.2.2 Agregado Miúdo.....	10
3.2.3 Água de hidratação	12
3.3 RESÍDUOS	12
3.3.1 Pó de pedra	13
3.3.2 Pó de madeira	15
3.4 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO.....	16
3.4.1 Massa específica	16
3.4.2 Consistência	17
3.5 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO.....	18
3.5.1 Resistência mecânica.....	18
3.5.2 Permeabilidade.....	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1 MATERIAIS	22
4.1.1 Cimento	22
4.1.2 Areia natural	22
4.1.3 Pó de pedra	23
4.1.4 Pó de madeira	24
4.1.5 Água.....	25

4.2 MÉTODOS.....	25
4.2.1 Caracterização da areia natural e pó de pedra	25
4.2.2 Caracterização do cimento e pó de madeira.....	27
4.2.3 Definição das Composições.....	28
4.2.4 Ensaio das argamassas no estado fresco	28
4.2.5 Ensaio das argamassas no estado endurecido	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AREIA.....	33
5.1.1 Granulometria	33
5.1.2 Massa específica e massa unitária	34
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA	35
5.2.1 Granulometria	35
5.2.2 Massa específica e massa unitária	36
5.3 CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO.....	37
5.4 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE MADEIRA.....	37
5.5 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	38
5.5.1 Consistência	38
5.5.2 Densidade de massa	40
5.6 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	41
5.6.1 Densidade de massa	41
5.6.2 Resistência à compressão.....	42
5.6.3 Absorção de água por capilaridade	44
6. CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

Em um sistema voltado a uma sociedade moderna, a indústria da construção civil vem tomando proporções maiores a cada dia, em seu aspecto econômico e também social, mesmo com a crise instalada no Brasil devido a pandemia de COVID-19. Segundo os dados publicados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2021), o ano de 2021 teve um crescimento de mais de 5% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. No mesmo estudo, a CBIC afirmava que as projeções para o ano de 2022 eram de crescimento de 2% para o PIB da construção.

Com um acréscimo gradual da construção civil e consequentemente o aumento da urbanização, a engenharia expandiu de forma acentuada a procura por matérias-primas, possibilitando possíveis riscos ao meio ambiente. As empresas do setor, por sua vez, são caracterizadas pela grande emissão de gases, extração de recursos naturais e alta geração de resíduos, se notabilizando como uma das indústrias existentes que mais prejudica o meio ambiente (MACEDO, 2021).

No Brasil, a produção e o consumo de cimento Portland vêm crescendo anualmente, em 2020, o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2021), publicou que o país produziu mais de 61 milhões de toneladas do cimento Portland, a maior produção anual registrada em cinco anos. Enquanto, o estado do Rio Grande do Norte se notabilizou por produzir mais de 1 milhão de toneladas do cimento Portland, o sexto maior número de toda região nordeste (SNIC, 2021).

A aplicação e manuseios dos agregados naturais também são características do âmbito da construção civil. Os agregados mais empregados são a areia e a brita, onde a sua maior parte é encontrada em rios, lagos, pedreiras e também em zonas costeiras, porém em menor quantidade (COELHO, 2019). No ano de 2020 o Brasil registrou um consumo de 605 milhões de toneladas de agregados, sendo 353 milhões somente de areia natural (ANEPAC, 2021), números que evidenciam o elevado consumo dos recursos naturais.

O aumento nas extrações das areias naturais gerou uma redução das reservas próximas aos grandes centros, intensificando então a fiscalização ambiental por meio da tal degradação ao meio ambiente, ocasionado uma locomoção dos mineradores para locais cada vez mais distantes das grandes metrópoles, acarretando à um acréscimo significativo do preço final da areia natural, consequentemente o aumento do custo do frete (LUZ; ALMEIDA, 2012). Desse modo, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ressaltou que os custos para o

desenvolvimento da construção no Brasil tiveram um aumento de 18,65% em relação ao ano de 2021, foi a maior marca atingida em cerca de nove anos no país (BARROS, 2022).

Nestas circunstâncias, o reaproveitamento de certos materiais possibilita o auxílio da economia e simultaneamente se mostra uma alternativa sustentável para sociedade, por reduzir os gastos em relação a sua produção e pela diminuição do consumo dos recursos naturais. A indústria de construção civil se notabiliza pelo o alto consumo do cimento Portland e areia natural, ratificando a importância de descobrir certas opções que possam diminuir a utilização dos agregados naturais.

Certos materiais auxiliam no processo de sustentabilidade, entretanto o pó de pedra e o pó de madeira se tornam mais acessíveis visto a região semiárida do RN, possibilitando a produção de argamassas sustentáveis. Grande parte dos resíduos provenientes das britagens de rochas são descartadas, entre elas o pó de pedra que é considerado até mesmo um rejeito (MENOSSE, 2004). Pesquisas como: Leite (2021); Campos (2015); Assunção (2014) e Duarte (2013) evidenciam que a substituição do pó de pedra pelo o agregado natural possibilita uma ajuda considerável no aspecto ambiental e econômico, e também no comportamento mecânico das argamassas.

No entanto, são poucos os estudos voltados a substituição parcial do cimento pelo pó de madeira na produção de argamassas, conforme apresentam: Pinto (2013); Acordi (2017) e Lima (2005), a substituição parcial do cimento Portland pelo o pó de madeira promove um ganho ao meio ambiente e a possíveis melhoras em certas propriedades mecânicas da argamassa. Tal produto é originado principalmente em serrarias, madeireiras e mercenárias, no qual em sua maioria é visto como resíduo (LIMA, 2005).

Em vista do exposto, a pesquisa busca contribuir com o desenvolvimento sustentável e diminuir as preocupações envolvidas ao seu descarte, possibilitando assim a redução dos impactos ambientais gerados. Dessa forma, com a limitação na literatura de pesquisas usando os dois materiais (o pó de pedra e pó de madeira) em conjunto para a produção de uma argamassa, optou-se por estudar a influência desses resíduos nas argamassas sustentáveis.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

O objetivo geral da pesquisa é analisar a influência da substituição da areia natural pelo agregado artificial pó de pedra, além da substituição parcial do cimento Portland pelo pó de madeira na produção de argamassas sustentáveis.

2.2 ESPECÍFICOS

- Analisar o pó de pedra e o pó de madeira quanto às suas propriedades para a produção das argamassas.
- Verificar as propriedades físicas da argamassa com as incorporações dos materiais alternativos.
- Avaliar o comportamento da argamassa sustentável elaborada, no estado fresco e endurecido, comparando-as com a argamassa convencional.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ARGAMASSA

A argamassa é denominada como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes e água, podendo ou não ter aditivos, com característica de aderência e endurecimento, tendo um potencial de serem dosada em obra ou instalações próprias NBR 13281 (ABNT, 2005).

Leggerini e Aurich (2019), afirmaram que as argamassas de revestimento devem cumprir funções, como: proteger os elementos de vedação das edificações da ação direta dos agentes agressivos, auxiliar as propriedades de vedações em funções de isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água e aos gases, formatar a superfície dos elementos de vedação possibilitando uma base regular para outros tipos de revestimento ou acabamento final e por fim contribuir para a estética em quaisquer cômodos.

Com relação aos termos relativos e aplicações, as argamassas de revestimentos são introduzidas em paredes, tetos e quaisquer outras localidades. Em argamassas à base de cimento, cal, ou outros tipos de materiais auxiliares de composição, as suas propriedades são definidas precisamente pela NBR 13529 (ABNT, 2013). A Tabela 1 indica os critérios pré-estabelecidos pela norma em relação às argamassas de revestimentos, separando-a de acordo com a sua classificação, tipo e definição, respectivamente.

Tabela 1: Classificação das argamassas segundo a NBR 13529.

Classificação	Tipo	Definição
Natureza do Aglomerante	Argamassa Aérea	Argamassa preparada com aglomerante(s) aéreo(s).
	Argamassa Hidráulica	Argamassa preparada com aglomerantes hidráulicos(s).
Tipo de Aglomerante	Argamassa de Cal	Argamassa preparada com cal como único aglomerante.
	Argamassa de Cimento	Argamassa preparada com cimento como único aglomerante.
	Argamassa de Gesso	Argamassa preparada com gesso
	Argamassas Cimento e Cal	Argamassa preparada com cimento e cal como aglomerantes.
Número de Aglomerantes	Argamassa Simples	Argamassa preparada com um único aglomerante.
	Argamassa Mista	Argamassa preparada com mais de um aglomerante.
Propriedade da Argamassa	Argamassa Revestimento	Mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.
	Argamassa Comum	Argamassa simples ou mista, cujas propriedades dependem, em princípio, da proporção e do tipo do(s) aglomerante(s) e agregado(s) empregados.

	Argamassa Colante	Argamassa com propriedade adesivas, empregadas no assentamento de peças para revestimento (cerâmicas, porcelanato, pedras de revestimento, entre outros)
	Argamassa de Impermeabilização	Argamassa com propriedades de estanqueidade à água, destinada a revestimentos de áreas molhadas e/ou molháveis.
	Argamassas Termoisolante	Argamassa com condutividade térmica menor do que a das argamassas comuns.
	Argamassa Refratária	Argamassa com maior resistência a alta temperatura do que as argamassas comuns.
	Argamassa Acústica	Argamassa que proporciona menor propagação de som que as argamassas comuns.
Condições de Fornecimento ou Preparo	Argamassa dosada em Central	Argamassa cujos materiais constituintes são medidos e misturados em central dosadora, fornecida no estado fresco, pronta para uso.
	Argamassa preparada em Obra	Argamassa cujos materiais constituintes são medidos e misturados na própria obra.
	Argamassa Industrializada	Proveniente de processo controlado e dosagem precisa, em instalação industrial, fornecida embalada ou a granel.
	Mistura semipronta para Argamassa	Mistura fornecida embalada ou a granel, cujo preparo é completado em obra, por adição de aglomerante(s) e, eventualmente, aditivo(s).

Fonte: NBR 13529 (ABNT, 2013).

Carasek (2010) por sua vez, classificou as argamassas de acordo com sua função e determinados tipos, como descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação das argamassas segundo as suas funções.

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alv. de vedação
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso
	Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/ pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

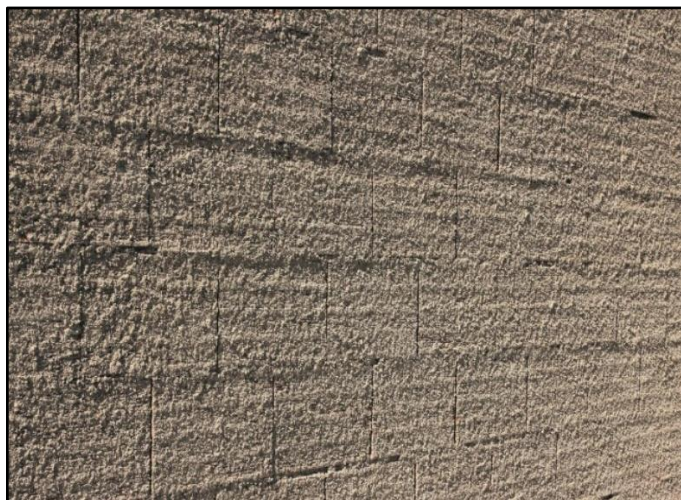
Fonte: Carasek (2010).

A seleção da argamassa a ser utilizada numa obra deve-se ser feita em primeira instância, pois no início pode-se considerar qualquer fator externo que venha interferir em sua composição, seja diretamente ou indiretamente (LEITE, 2021). Em uma construção civil, é comum surgirem dúvidas quanto ao tipo de argamassa a se utilizar, pensando de acordo com a obra a ser feita. A sua escolha deverá ser correta, pois qualquer equívoco poderá acarretar sérios problemas em sua obra.

As argamassas de revestimentos são classificadas em termos relativos, possuindo relação em função das camadas constituintes do revestimento, no qual essas camadas podem ser apresentadas como: chapisco, emboço, reboco, acabamento decorativo NBR 13529 (ABNT, 2013).

O chapisco é classificado como a camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento NBR 13529 (ABNT, 2013). A sua forma/aparência é indicada na Figura 1.

Figura 1: Chapisco.



Fonte: Construção (2020).

O emboço se notabiliza por ser a camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, proporcionando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final, segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013). A sua forma/aparência é apresentada na Figura 2.

Figura 2: Emboço.



Fonte: Construção (2019).

O reboco é descrito como sendo a camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final, conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013). O seu formato/aparência é apontado na Figura 3.

Figura 3: Reboco.



Fonte: Mauá (2018).

O acabamento decorativo é definido como o material que é aplicado sobre o revestimento de argamassa, como pintura, materiais cerâmicos, pedras naturais, placas laminadas, têxteis e papel, descrito na NBR 13529 (ABNT, 2013). Sua fisionomia é indicada na Figura 4.

Figura 4: Acabamento decorativo.



Fonte: Gail (2020).

3.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DE ARGAMASSA

3.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é caracterizado por ser um pó fino de origem mineral e com propriedades aglomerantes, que endurece em contato com a água, e quando passa a estar no estado físico endurecido, se submetido a ação da água, não se decompõe (ABCP, 2002). O cimento é o resultado do processo de moagem do produto chamado clínquer. O composto é obtido a partir da mistura e moagem de calcário e argila, em seguida ocorre o cozimento das misturas, onde são queimados em temperaturas próximas a 1.450 °C, e o material resultante é denominado de clínquer (BATTAGIN, 2017).

Neville (2016), declara que o nome cimento Portland ainda é usado nos dias de hoje para anunciar um cimento obtido pela mistura apropriada de materiais calcários e argilosos, ou de outros materiais podendo conter sílica, alumina e óxidos de ferro, cozinhando tudo a uma temperatura necessária para a clinquerização e moendo para se obter o clínquer resultante. Essas substâncias reagem entre si no cozimento, dando assim origem a uma série de propriedades mais complexas.

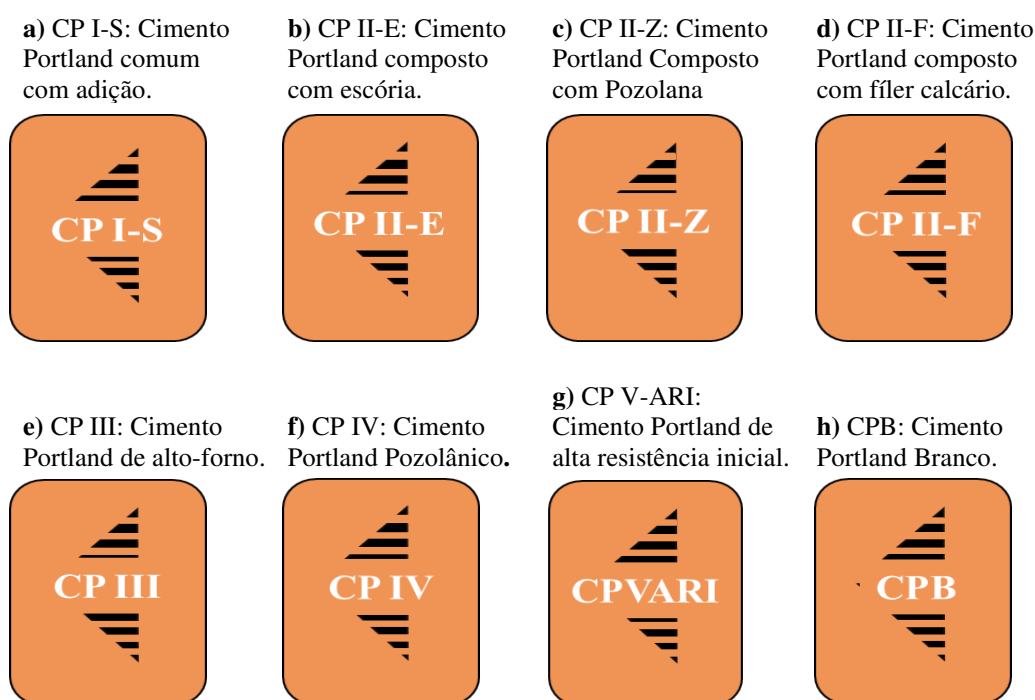
Em termos da composição química do sistema, o cimento Portland é constituído basicamente dos seguintes compostos: Silicato tricálcico (C3S), Silicato dicálcico (C2S), Aluminato tricálcico (C3A) e Ferroaluminato tetracálcico (C4AF) (NEVILLE, 2016). Os aluminatos são os responsáveis pelas primeiras reações, porém atingem valores muito baixos

de resistência aos esforços mecânicos. Os silicatos são fundamentais no que se diz à resistência, sendo o C3S nas primeiras idades e o C2S em idades maiores. O C3A é responsável pela pega do cimento, já que possui componente mais reativo do clínquer. O C4AF tem um papel importante na resistência química do cimento, precisamente no ataque de sulfatos às estruturas de concreto (DUARTE, 2013).

Os acréscimos de resistência dos materiais cimentícios acontece pela hidratação do cimento em contato com a água, no entanto, os compostos resultantes das reações do cimento apresentam velocidades de reações diferentes. Segundo Mehta e Monteiro (2008), os aluminatos apresentam velocidade de reação elevada comparada aos silicatos e, por isso, são os principais responsáveis pelas características de endurecimento e pega, enquanto os silicatos, que compõem mais de 70% do cimento Portland comum, são responsáveis principalmente pelo processo de endurecimento da matriz cimentícia.

O cimento Portland é utilizado nas argamassas por sua capacidade de endurecimento e rigidez, pertence à classe dos materiais classificados como aglomerantes hidráulicos. Além disso, torna-se um elemento sólido com grande resistência a compressão e resistente à água e aos diferentes tipos de sulfatos. O cimento Portland é normalizado e classificado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) conforme os seus diversos tipos, indicado na Figura 5.

Figura 5: Tipos de cimentos.



Fonte: Autoria própria (2022).

O tipo de cimento Portland escolhido para esta pesquisa foi o CP-V-ARI RS, pois possui uma grande demanda em mercados de materiais de construção e por possuir uma característica de pouca adição em sua composição. Algumas propriedades (físicas, mecânicas e químicas) mínimas necessárias, são fornecidas pelo fabricante, indicadas nas Tabela 3, 4 e 5.

Tabela 3: Composição cimento CP V-ARI RS.

Sigla	Norma (ABNT)	Clínquer + Gesso	Calcário
CP V – ARI RS	ABNT NBR 5736	95% a 100%	0% a 5%

Fonte: Cimento.Org (2010).

Tabela 4: Limites físicos e mecânicos do cimento CP V-ARI RS.

Finura (%)		Tempo de Pega (h)		Expansibilidade (mm)		Resistência à Compressão (MPa)			
Peneira	Peneira	Inicio	Fim	Frio	Quente	Idade (dias)			
#200	#325					1	3	7	28
≥ 6,0	-	≥ 1,0	≤ 10,0	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 14	≥ 24	≥ 34	-

Fonte: Cimento.Org (2010).

Tabela 5: Exigências químicas do cimento CP V-ARI RS.

Resíduo Insolúvel (%)	Perda ao Fogo (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	CO ₂ (%)	S (%)
≤ 1,0	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 3,5	≤ 3,0	-

Fonte: Cimento.Org (2010).

3.2.2 Agregado Miúdo

Os agregados miúdos são definidos como aqueles provenientes dos recursos naturais, onde os seus grãos passam pela peneira com malha de #4 (4,75mm) e ficam presos na peneira com abertura de malha de #200 (0,075mm), conforme a NBR 7211 (ABNT, 2019). Carvalho Júnior (2005), esclarece que um dos principais agregados usados para fabricação de argamassa é a areia natural.

A areia natural é um dos materiais que constituem a fabricação de argamassas convencionais. Definida como sendo o processo resultante de ações de agentes da natureza,

constituído essencialmente de quartzo, podendo ser originado através de processos naturais (rios e cavas) ou provenientes de processos industriais (britagem) NBR 9935 (ABNT, 2011).

A areia é determinada como um material natural de propriedades adequadas, de granulometria inferior a 2,0 mm e superior a 0,075 mm. Podendo ser classificada como: Areia grossa, granulometria de 2 a 1,2 mm; Areia média, granulometria de 1,2 a 0,42 mm e Areia fina, granulometria de 0,42 a 0,075 mm, segundo a NBR 7225 (1993).

A sociedade no todo, estabelece uma falsa percepção de que os recursos de areia são extremamente inacabáveis, com o consumo exacerbado e com baixos processos renováveis. O Valverde (2020), cita que certos reservatórios de agregados naturais no país estão sendo impedidas de serem exploradas devido à falta de planejamento, regulamentação coerente e manuseio correto, deslocando os mineradores de agregados a distâncias cada vez maiores das grandes metrópoles, afetando consequentemente ao custo do frete.

Duarte (2013), relata que os agregados miúdos quartzosos (areia lavada), naturais, estão cada vez mais escassos nos grandes centros urbanos, devido ao aumento do consumo; expansões urbanas, ocupações antigas de zonas produtoras de areia, resultando na deslocação da extração para regiões cada vez mais distantes, ocasionando aumento nos custos de operação e transporte.

Apenas no ano de 2020 o Brasil registrou um consumo de 605 milhões de toneladas de agregados para a construção civil, sendo 353 milhões somente de areia, ou seja, mais de 50% do consumo dos agregados no país foram só de areia (ANEPAC, 2021), esses números evidenciam a redução das reservas de areia mais próximas aos grandes centros, ocasionando assim uma alta intensidade de fiscalização ambiental nas estradas, em virtude da degradação ao meio ambiente gerada pela por tal extração (LUZ; ALMEIDA, 2012).

O mercado da construção civil é um dos maiores consumidores da areia natural, material essencial para a produção de produtos cimentícios. No intuito de ter uma sociedade moderna, é necessário a incorporação de práticas ecologicamente positivas, proporcionando o uso sustentável dos recursos naturais, a produção de novos materiais e o aperfeiçoamento dos materiais existentes (MACEDO, 2021). Nesta circunstância, o reaproveitamento de certos materiais possibilita o auxílio da economia e simultaneamente se mostra uma alternativa sustentável, reduzindo os gastos em relação a sua produção e diminuindo o consumo dos seus recursos.

3.2.3 Água de hidratação

A água de hidratação, por sua vez, se notabiliza por ser um material constituinte da argamassa, no qual possibilita as reações de diversos tipos de componentes, principalmente o cimento, utilizado em sua maioria para regular a consistência da massa, visando ter uma melhor mistura (ABCP, 2003).

A utilização da água na produção de argamassa está ligada diretamente a necessidade da ativação do cimento Portland, material esse, responsável pela regulação da trabalhabilidade da argamassa e auxiliando a atender os traços especificados nas normas para cada sistema (LEITE, 2021).

O tipo de água mais utilizada na produção de argamassa é a potável, considerada por muitos como a melhor para a formação de produtos que utilizam o cimento Portland, isso só ocorre devido às águas que contém algum tipo resíduo em sua estrutura podem acabar atrapalhando e desencaminhando a mistura (LEITE, 2021).

3.3 RESÍDUOS

Os procedimentos utilizados na produção de construção civil, formam diversos resíduos ao longo da sua formação. Leite (2021), cita alguns tipos de produção de construção civil, como: ocupação do solo, mineração, processamento de matérias-primas, exploração de recursos, criação de ruínas, influência no ar, clima, água subterrânea, solo, paisagem, construção e uso de estruturas, entre outros. Qualquer que seja o resíduo a ser utilizado, medidas de precaução auxiliam a reduzir o impacto gerado no meio ambiente.

A utilização de recursos recicláveis está se tornando cada vez mais frequente, onde contribui para a qualidade de vida e conforto da sociedade. Nessas circunstâncias, o reaproveitamento de certos materiais possibilita o auxílio da economia e também se torna uma alternativa limpa para a população. Existem diversos materiais que dão a ideia de sustentabilidade, porém os mais acessíveis visto a região semiárida do Rio Grande do Norte são o pó de pedra e o pó de madeira, no qual, podem auxiliar na produção de argamassas sustentáveis.

3.3.1 Pó de pedra

Os impactos ambientais são atributos em destaque no mundo industrializado, as substituições parciais e totais da areia natural pelo pó de pedra, podem gerar uma solução para alguns desses impactos (Menossi, 2004). Entretanto, Silva; Buest e Campiteli (2005), relata que esse material vem se destacando a cada dia por ser uma alternativa sustentável para substituição da areia natural proveniente dos leitos de rios, à medida que as jazidas de areia natural se esgotam ou sofrem restrição de uso devido à necessidade de proteção ambiental.

Em uma sociedade moderna, os países de primeiro mundo iniciaram essa substituição em meados dos anos setenta, uma década depois ocorreu a produção em série dos primeiros equipamentos especiais usados para britagem do material fino, visibilizando a ideia de se produzir pó de pedra em escala comercial (ALMEIDA; SAMPAIO, 2002).

O pó de pedra para Ramos Filho (2021), é definido como um resíduo provocado pela técnica de britagem das rochas, para obtenção da brita de construção civil, composto pela mesma composição química da rocha inicial, uma vez que o beneficiamento ocorre apenas por processos físicos. O pó de pedra deverá possuir partículas menores que 6,3 mm, ou seja, a que passa na peneira desta malha, segundo a NBR 9935 (ABNT, 2011). Entretanto, para o pesquisador Andriolo (2005), o pó de pedra é definido sendo um material fino, com partículas de diâmetro inferior a 0,075 mm, obtido pela britagem de rocha. Campos (2015), cita que o efeito fíler do pó de pedra auxilia à economia do consumo de cimento Portland, reduzindo a quantidade necessária de cimento e mantendo a resistência desejada. O pó de pedra utilizado nesse estudo foi adquirido através da pedreira Caraúbas, onde são formadas grandes quantidades deste material todo dia, indicado nas Figuras 6 e 7.

Figura 6: Dunas de pó de pedra.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 7: Maquinário na pedreira Caraúbas.



Fonte: Autoria própria (2022).

Esse material, possui diferentes denominações em literaturas, sendo elas: Areia artificial, areia clonada, areia de britagem, agregado miúdo de pedra britada, pó de brita, finos de pedreira, finos de pedra britada, finos de britagem, entre outros. Segundo Duarte (2013), o pó de pedra representa de 15 a 20% da produção de uma exploração de britagem, durante o processo de formação das britas. Quando não possui destinação já estabelecida, os finos de britagem são estocados no ar livre, depositado no pátio das pedreiras, podendo gerar certos tipos de impactos ambientais, como o assoreamento dos leitos de água, a poluição atmosférica, além da contaminação pelo material lixiviado das áreas de drenagem (ALMEIDA, 2006).

A areia proveniente do processo de britagem (areia artificial), destaca-se por indicar uma distribuição granulométrica bem uniforme, dependendo somente do seu processo de moagem. Porém, quando analisadas, as partículas da areia de britagem, quando comparada com a areia natural (convencional) são mais angulosas, ocasionando uma menor eficácia, influenciando negativamente na trabalhabilidade do concreto (SILVA; CAMPITELI, 2005). Entretanto, a areia de britagem se encontra praticamente isenta de impurezas de natureza orgânica e argilosa, originando uma maior aderência às superfícies de aplicação, mas, resulta numa menor trabalhabilidade dos produtos cimentícios (COSTA, 2005).

A substituição da areia natural pela areia artificial tem sido a solução encontrada pela indústria da construção civil, com o intuito de resolver o problema do esgotamento das jazidas e do impacto ambiental gerado pela sua extração. No entanto, as areias de britagem possuem uma vantagem de terem uma menor variabilidade das propriedades e características, como granulometria e forma. Por outro lado, a forma angulosa e muitas vezes lamelar de suas partículas, e a elevada presença de finos, podem influenciar nas propriedades das argamassas, principalmente na sua trabalhabilidade (CARASEK, 2016).

Assim, o pó-de-pedra tem sido bastante utilizado na produção de argamassas sustentáveis de cimento Portland para assentamento e revestimento em diferentes tipos de obra, entretanto, ainda se conhece pouco sobre as consequências dessa substituição em termos de desempenho. Porém, é de conhecimento científico que a substituição total da areia natural pela artificial pode prejudicar a trabalhabilidade, devido a areia artificial possuir grãos angulosos (NASCIMENTO, 2008). A melhor forma de se utilizar seria compor os dois materiais em proporções convenientes, para corrigir a curva granulométrica do agregado miúdo utilizado em concretos e argamassas.

A incorporação e/ou substituição do pó de pedra nessa produção pode oferecer vantagens econômicas, pelo o menor custo do pó de pedra em relação à areia natural, ou então, contribuir para a diminuição dos impactos ambientais causados, tanto pela exploração de areia

de rio, quanto pelo passivo ambiental gerado no beneficiamento das rochas para a produção de britas (MACEDO, 2021).

Com essa compreensão, alguns estudos e pesquisas científicas estão sendo desenvolvidas com o intuito de promover alternativas para a adição desse material nas indústrias da construção.

3.3.2 Pó de madeira

No Brasil, o sistema de floresta domina uma área de aproximadamente 460 milhões de hectares, no qual predominam 98,5% de matas naturais, respectivamente (ACORDI, 2017). Entretanto, as florestas plantadas representam cerca de 1,5%, onde destaca-se as espécies de *Pinus spp* e *Eucalipto spp* (SFB, 2016).

Mota (2014), define madeira como um material vegetal composto por componentes fibrosos e porosos, resultante da extração dos troncos e outras partes robustas das árvores, as propriedades destes elementos variam em função da espécie, até dentro da mesma espécie, devido a idade, fatores genéticos e ambientais.

Desde a formação do planeta terra, a sociedade busca inovações e procedimentos voltados no sentido de reutilizar resíduos de variados materiais nas mais diversas vertentes ambientais. Diante desses diversos sobejos, destaca-se o de madeira. O acréscimo considerável da utilização desse composto nas indústrias, tem ocasionado problemas como, crescimento do consumo desta matéria-prima, junto ao baixo rendimento na sua transformação por meio da indústria, gerando assim os resíduos de madeira, também conhecido como pó de madeira, no qual, em sua maioria não têm utilização por parte da indústria (PINTO, 2013).

Os resíduos de madeira quando não possuem um destino adequado, produz problemas ambientais graves, como o assoreamento, poluição dos rios e poluição do ar devido à queima descontrolada para eliminação destes (MUÑIZ, 2001). Segundo Siddique (2012), aproximadamente 70% das cinzas de madeira geradas são depositadas em aterros, 20% são aplicadas sobre o solo para correções no pH e 10% destinados a aplicações diversas.

A madeira possui diferentes tipos de forma, sendo eles: forma de lenha, tocos, pó de madeira, cavacos ou serragem, entre outros. Esse material é utilizado para diversos segmentos, tais como: geração de energia elétrica, consumo residencial, setor comercial, setor agropecuário, produção de cimento, ferro-liga, indústria química, indústria têxtil, produção de alimentos, bebidas, produção de papel, celulose, cerâmicas entre outros (MME, 2016).

Conforme o Plano Nacional de Energia 2030, a silvicultura – cultivo de florestas, é uma opção viável para geração de energia de biomassa.

Os tecidos celulares da madeira vegetal apresentam uma série de substâncias, em sua grande maioria, orgânicas, que influenciam suas propriedades químicas e físicas. Enquanto a união do pó de madeira com o cimento Portland, algumas destas substâncias, chamadas de "extrativos", alteram bastante os mecanismos de hidratação do cimento. O conhecimento dos componentes químicos, mecanismos de ação e seus efeitos são de grande importância para que se possa utilizar toda a potencialidade das madeiras e seus derivados, seja ela usada de forma isolada, seja em associação com outros materiais, como o cimento Portland (LIMA, 2005).

Entretanto, para Sherata e Thomas (2000), os fatores que influenciam no comportamento do pó de madeira em materiais cimentícios são: teores de álcalis, cálcio e sílica, a quantidade de cálcio e sílica disponíveis afetam os produtos de hidratação de materiais cimentícios, pois o teor de cálcio elevado reduz a quantidade de álcalis removidos, no entanto, uma maior quantidade de sílica aumenta a quantidade de álcalis retirados da solução. Contudo, Lima (2005), descreve que os extrativos, em sua maioria, influenciam negativamente a hidratação, pega e ganho de resistência dos materiais cimento-madeira.

3.4 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

3.4.1 Massa específica

A massa específica consiste numa relação entre massa e volume de um determinado material, podendo ser classificado como: massa específica aparente e massa específica absoluta.

Para o cálculo da massa específica aparente leva-se em consideração o volume aparente (considerando os vazios impermeáveis) (CORRÊA, 2019). Também chamada de massa unitária, se caracteriza por ser massa da unidade de volume do agregado, ou seja, é a relação entre a massa total de um certo volume de agregados, sendo que esse volume se considera os vazios existentes entre os grãos do agregado (MENOSSE, 2004). É por meio da massa aparente que são feitas as transformações de massa para volume e vice-versa, conforme citado na NBR 16605 (ABNT, 2017).

Para o cálculo da massa específica absoluta, leva-se em consideração o volume absoluto (não considerando os vazios existentes no volume do material) (CORRÊA, 2019), ou seja, consiste em ser a massa da unidade de volume do material que compõe os grãos do agregado. A NBR 16605 (ABNT, 2017), estabelece diretrizes corretas para a obtenção da massa específica

absoluta, com o auxílio frasco Le Chatelier, que permite medir o volume total ocupado pelos grãos da amostra de agregado, cuja massa é previamente medida em estado seco.

O teor de ar incorporado consiste em ser a quantidade de vazios existentes em um determinado volume de amostra do material. Esses vazios são caracterizados como ar aprisionado e/ou incorporado, ou seja, são os espaços deixados após evaporação do excesso de água (NASCIMENTO, 2008). Com o aumento do teor de ar de uma argamassa consequentemente a massa específica da mesma diminui, podendo gerar um bom desenvolvimento, mas depois este aumento pode causar perda de resistência mecânica e aderência da argamassa (COSTA, 2016).

A massa específica e o teor de ar são os principais responsáveis por uma melhoria da trabalhabilidade em argamassas, sendo assim, quanto maior o teor de ar incorporado menor a massa específica da argamassa, porém, com um aumento elevado deste, pode acarretar em prejuízos no material, por exemplo, para a resistência mecânica e para a aderência da argamassa (LEITE, 2021).

3.4.2 Consistência

A consistência são as características da argamassa, no qual, tende a suportar à deformação, já a manutenção da consistência, relaciona-se à capacidade da argamassa de manter esta tendência ao longo do tempo de aplicação (NASCIMENTO, 2008). Para Macedo (2021), a consistência tem relação direta com a fluidez da argamassa e com a sua capacidade de resistir ao escoamento, sendo influenciada pela quantidade de pasta ao redor dos agregados.

As argamassas podem apresentar classificação de tipos: secas, quando a pasta preenche somente os vazios entre os grãos dos agregados; plásticas, na situação em que o aglomerante envolve e “lubrifica” a superfície dos grãos de agregados; e fluídas, quando os grãos dos agregados estão imersos no interior da pasta (CARASEK, 2010).

A consistência de uma argamassa é exatamente determinada pelo tanto de água, podendo ser influenciada por tais fatores: água/aglomerante; relação aglomerante/areia; granulometria da areia; natureza e qualidade do aglomerante.

No que se diz respeito às argamassas produzidas com areia de britagem (pó de pedra), a literatura científica indica que esses componentes consomem uma maior quantidade de água, com o intuito de atender os parâmetros de consistência em virtude da maior quantidade de material pulverulento da areia britada e, especialmente, da morfologia das suas partículas (GUIMARÃES; GOMES, 2020). Os procedimentos para a obtenção da consistência das

argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos são apontados pela NBR 13276 (ABNT, 2016).

3.5 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

3.5.1 Resistência mecânica

A resistência mecânica das argamassas se caracteriza por apresentar a propriedade dos revestimentos referente ao estado de consolidação interna, capaz de suportar esforços de diferentes origens, no qual, são representadas por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento, esses esforços podem gerar problemas quando relacionados às argamassas de revestimentos, ocasionando uma baixa resistência superficial, prejudicando a fixação das camadas de acabamento, como a pintura ou, mais grave ainda, as peças cerâmicas (CARASEK, 2010). Os carregamentos referentes, podem ser causados por cargas estáticas ou dinâmicas, com relação ao manuseio da edificação e também por fenômenos climáticos ou térmicos, dependendo somente das condições de exposição das superfícies.

A estrutura mecânica e o comportamento dos materiais cimentícios, sofre influência direta dos aglomerantes e agregados, pois os mesmos ocupam cerca de 70% a 75% do seu volume (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Em sistemas que são utilizados o cimento Portland, o maior consumo de aglomerante, está relacionado a uma maior resistência a compressão e tração, mas, quando os agregados analisados são extremamente finos, resulta-se em um aumento na relação água e materiais secos, ocasionando numa argamassa mais porosa, ou seja, mais resistente (MACEDO, 2021).

Para Nascimento (2008), a resistência mecânica depende necessariamente do consumo e natureza dos agregados e aglomerantes da argamassa estudada, relacionado a técnica de execução, essas propriedades aumenta de acordo com a redução da proporção de agregado na argamassa e varia inversamente em relação água/aglomerante. Entretanto, Martins e Assunção (2010), enfatiza outro fator importante que pode agir no comportamento das argamassas, a presença de matéria orgânica pode prejudicar a consolidação total e a ligação entre a pasta e o agregado miúdo.

As argamassas referentes à revestimento, devem cumprir todos os parâmetros em relação ao ensaio referente a resistência à compressão e a tração pré-estabelecidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005), intitulada: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e

tetos - requisitos. Os resultados destes experimentos possibilitam classificar as argamassas em classe de acordo com o seu desempenho à compressão (Tabela 6) e tração (Tabela 7).

Tabela 6: Classificação das argamassas: resistência à compressão.

Classe	Resistência à compressão (MPa)	Método de ensaio
P1	$\leq 2,0$	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	ABNT NBR 13279
P3	2,5 a 4,5	ABNT NBR 13279
P4	4,0 a 6,5	ABNT NBR 13279
P5	5,5 a 9,0	ABNT NBR 13279
P6	$> 8,0$	ABNT NBR 13279

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 7: Classificação das argamassas: resistência à tração na flexão.

Classe	Resistência à tração na flexão (MPa)	Método de ensaio
R1	$\leq 1,5$	ABNT NBR 13279
R2	1,0 a 2,0	ABNT NBR 13279
R3	1,5 a 2,7	ABNT NBR 13279
R4	2,0 a 3,5	ABNT NBR 13279
R5	2,7 a 4,5	ABNT NBR 13279
R6	$> 3,5$	ABNT NBR 13279

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

3.5.2 Permeabilidade

A propriedade de permeabilidade está relacionada à capacidade de passagem com que um fluido atravessa uma argamassa endurecida (material poroso), por meio de processos como: infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água.

Numa avaliação da permeabilidade, em geral, utiliza-se uma medida de absorção da água capilar, onde o seu valor deve apresentar inferior à absorção da base, com intuito de disponibilizar proteção contra as águas de chuvas. O revestimento deve ser vedado à água, impedindo a sua percolação, porém, recomenda-se que seja permeável ao vapor, auxiliando a secagem de umidade de infiltração, por exemplos: águas de chuvas e banheiros (ação direta do vapor de água) (NASCIMENTO, 2008).

Para Sentone (2011), os tipos de avaliações de permeabilidade estão relacionados às conjunturas estruturais dos vazios capilares de meios porosos, potencializando um indicativo das condições da estrutura porosa das argamassas no momento do ensaio, contribuindo como método de controle de qualidade e avaliação dos processos de produção. Ele ainda descreve que a principal característica do fenômeno da capilaridade, é a presença de um gradiente de pressão entre dois meios, ocasionando, por diferença de pressão, a movimentação do fluido da região com pressão mais elevada para a de menor pressão.

O coeficiente de capilaridade das argamassas é obtido através de procedimentos indicados na NBR 15259 (ABNT, 2005). Esse ensaio, auxilia a caracterização indireta da durabilidade da argamassa, ou seja, quanto menor for a absorção capilar, maior será a durabilidade do revestimento. Os resultados destes ensaios permitem a classificação das argamassas em função do coeficiente de capilaridade, indicado na Tabela 8.

Tabela 8: Classificação das argamassas: coeficiente de capilaridade.

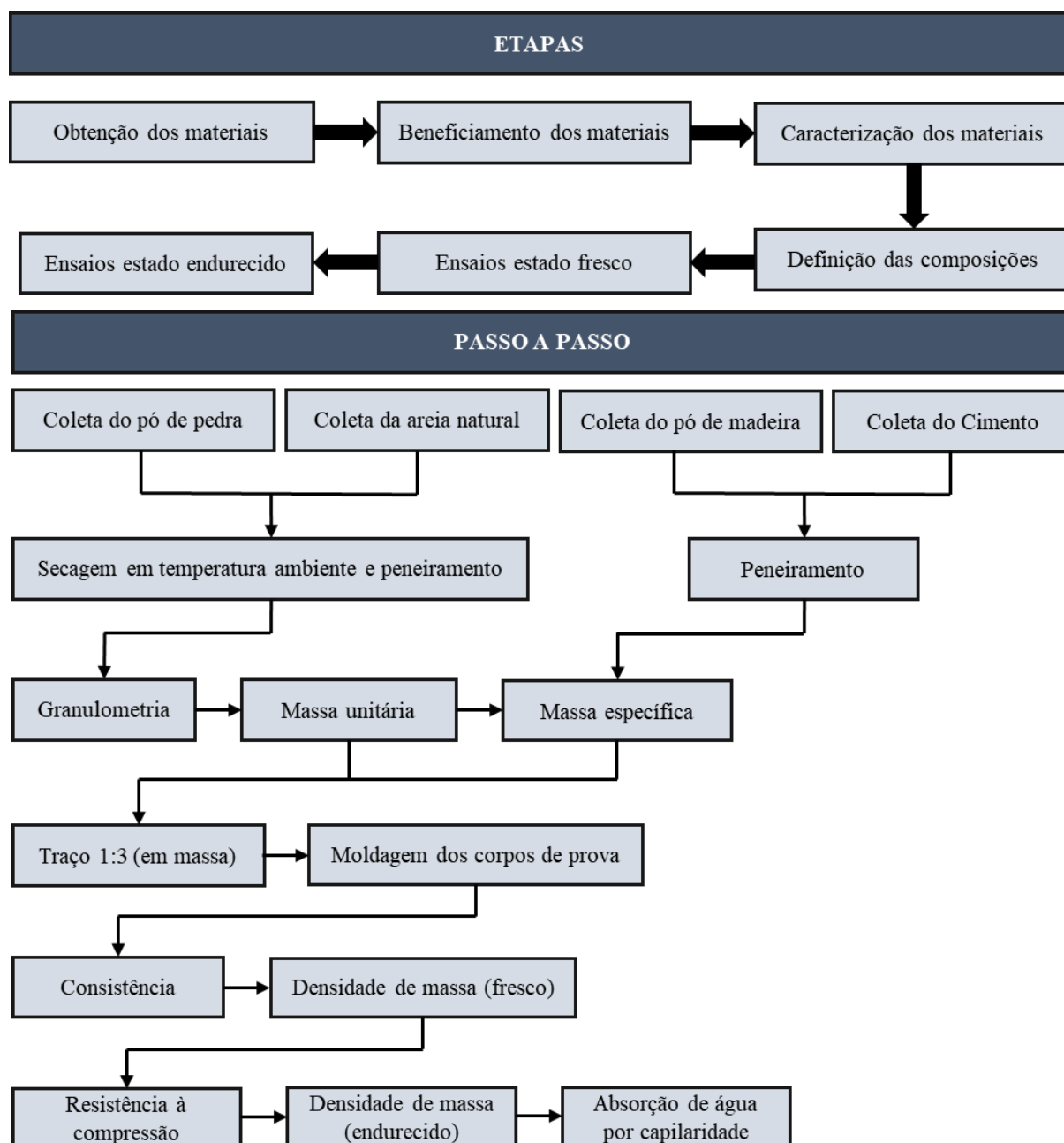
Classe	Coeficiente de capilaridade (g/dm². Min^{0,5})	Método de ensaio
C1	≤ 1,5	ABNT NBR 15259
C2	1,0 a 2,5	ABNT NBR 15259
C3	2,0 a 4,0	ABNT NBR 15259
C4	3,0 a 7,0	ABNT NBR 15259
C5	5,0 a 12,0	ABNT NBR 15259
C6	> 10,0	ABNT NBR 15259

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

No intuito de estudar e avaliar os materiais e propriedades que consistem as argamassas nesta pesquisa, foram realizados ensaios conforme indicados no programa experimental (Figura 8).

Figura 8: Fluxograma do programa experimental.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.1 MATERIAIS

Neste tópico, são indicadas todas as matérias-primas utilizadas na produção da argamassa sustentável avaliada nesse estudo experimental. Para a realização desta pesquisa, optou-se pela utilização de materiais obtidos na região semiárida do Rio Grande do Norte, no intuito da aplicação prática dos resultados.

4.1.1 Cimento

Para a realização desta pesquisa, utilizou o cimento tipo CP V-ARI RS (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), indicado na Figura 9. O cimento foi escolhido por possuir uma grande demanda em lojas de materiais de construção no interior do estado, visando um estudo mais aprofundado na região e por possuir um tipo com pouca adição na sua composição.

Figura 9: Cimento CP V-ARI RS utilizado.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.1.2 Areia natural

O agregado miúdo natural, chamado de areia natural quartzosa (areia lavada) utilizada, é proveniente do município de Caraúbas (RN). Para poder beneficiá-la, o material foi secado no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA. A Figura 10 apresenta as quatro frações granulométricas e nomeadas como: Grossa, retida entre as peneiras de 2,4 e 1,2 mm (a); Média

Grossa retida entre 1,2 e 0,6 mm (b); Média Fina retida entre 0,6 e 0,3 mm (c); e Fina retida entre 0,3 e 0,15 mm (d), conforme a NBR 7214 (ABNT, 2015).

Figura 10: Areia natural fracionada.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.1.3 Pó de pedra

A areia de britagem, também chamado pó de pedra utilizado na pesquisa, foi coletada na pedreira Caraúbas, situada nas proximidades do município. Após toda a coleta do material, o resíduo foi secado e armazenado no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA.

Na etapa de beneficiamento do material, por se tratar de um agregado que substituiu totalmente a areia natural, foram adotados, para o pó de pedra, os mesmos procedimentos de preparo das amostras e de caracterização realizados para a areia natural. A Figura 11 indica toda a metodologia feita ao pó de pedra, onde, é dividido em quatro frações granulométricas e nomeadas, como: Grossa, retida entre as peneiras de 2,4 e 1,2 mm (a), Média Grossa retida entre 1,2 e 0,6 mm (b), Média Fina retida entre 0,6 e 0,3 mm (c), e Fina retida entre 0,3 e 0,15 mm (d), segundo a NBR 7214 (ABNT, 2015).

Figura 11: Pó de pedra fracionada.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.1.4 Pó de madeira

Os resíduos de madeira, chamado pó de madeira, foram coletados numa empresa situada em Umarizal (RN). Estes resíduos são gerados a partir da formação de carrocerias, tanto por cortes e alinhamento, são dispostos em local apropriado com uma variedade granulométrica. A Figura 12 indica o aspecto variado do pó de madeira recolhido do seu destinatário.

Figura 12: Aspecto variado do pó de madeira recolhido.



Fonte: Autoria própria (2022).

O material foi então armazenado no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA para passar por uma etapa de peneiramento, na intenção de gerar o material mais fino, pois irá

substituir parcialmente o cimento Portland. A Figura 13 aponta o pó de madeira passante na peneira de 0,15 milímetros.

Figura 13: Pó de madeira passante na peneira de 0,15 milímetros.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.1.5 Água

A água empregada nas misturas das argamassas e quaisquer materiais cimentícios não devem conter substâncias que alterem propriedades químicas e físicas do produto, como hidratação do cimento, resistência, alteração na pega ou coloração (ASSUNÇÃO, 2014). A água potável utilizada na produção das argamassas dessa pesquisa, foi proveniente da rede de distribuição que abastece a UFERSA, campus Caraúbas/RN.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da areia natural e pó de pedra

4.2.1.1 Análise granulométrica

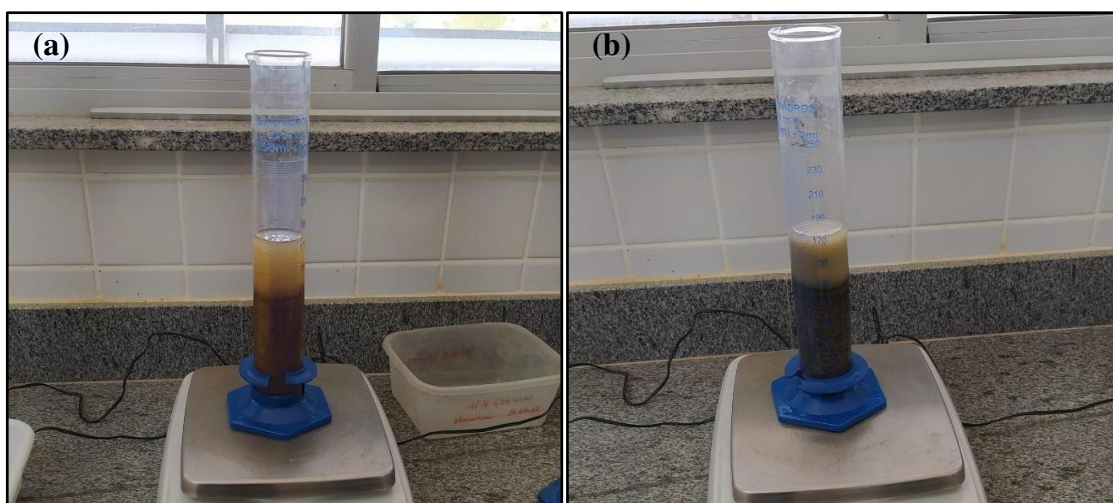
As composições granulométricas dos agregados miúdos naturais (areia e pó de pedra) foram determinadas de acordo com os procedimentos da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). A execução deste ensaio é de grande importância, pois determina-se as distribuições das partículas dos grãos que compõem cada agregado. A análise granulométrica de um material em

misturas de argamassas ou concretos, possivelmente, interfere na trabalhabilidade final do produto (ACORDI, 2017). Uma distribuição granulométrica equilibrada produz misturas mais trabalháveis e econômicas, além de proporcionar uma estrutura mais fechada, diminuindo o volume de vazios, ou seja, os espaços por onde podem penetrar agentes agressivos à argamassa na forma de líquidos, gases ou vapores (NASCIMENTO, 2008).

4.2.1.2 Massa específica

A massa específica da areia natural e pó de pedra atendeu todos os parâmetros estabelecidos pela norma NBR NM 52 (ABNT, 2009). A massa específica consiste na relação entre a massa do agregado e seu volume, excluindo todos os poros permeáveis. A Figura 14 indica o ensaio de massa específica realizado, (a) areia natural e (b) pó de pedra.

Figura 14: Ensaio de massa específica: areia natural (a) e pó de pedra (b).

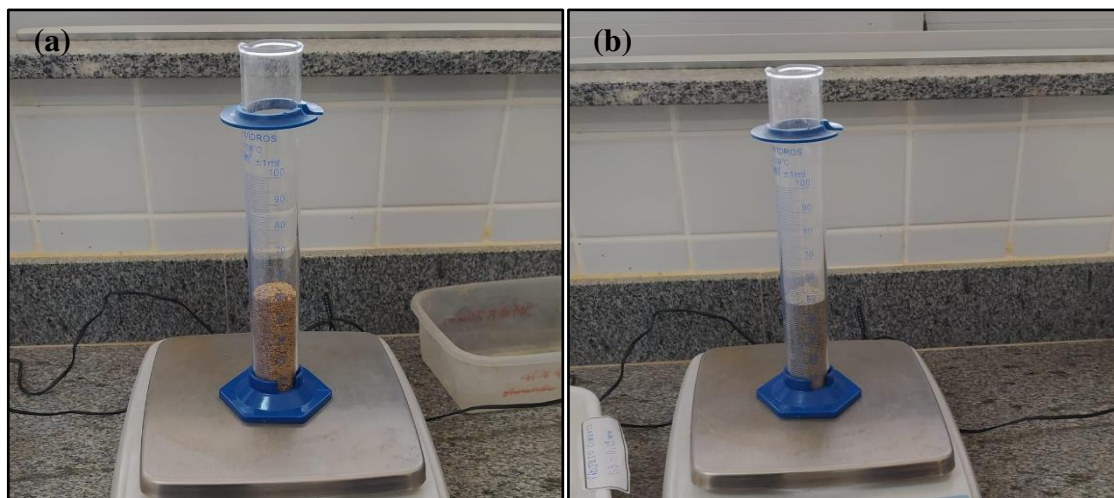


Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.1.3 Massa unitária

A massa unitária dos agregados miúdos (areia natural e pó de pedra) foi obtida segundo as diretrizes estabelecidas pela norma NBR NM 45 (ABNT, 2006). Essa caracterização consiste na relação entre a massa do agregado alocada no recipiente, com o volume desse mesmo recipiente. A Figura 15 apresenta o ensaio de massa unitária efetuado, (a) areia natural e (b) pó de pedra.

Figura 15: Ensaio de massa unitária: areia natural (a) e pó de pedra (b).



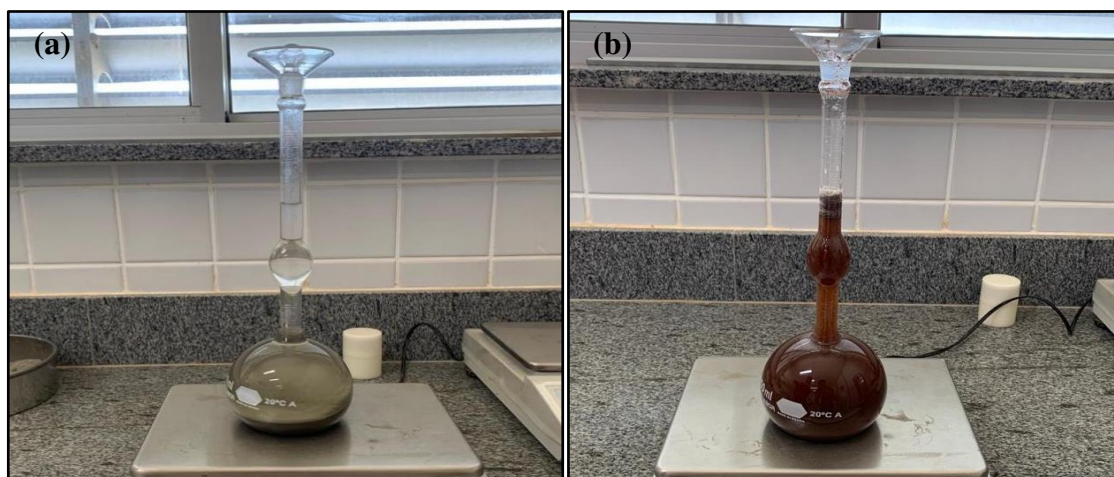
Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.2 Caracterização do cimento e pó de madeira

4.2.2.1 Massa específica

A massa específica do cimento e pó de madeira foram obtidos através dos procedimentos estabelecidos pela NBR 16605 (ABNT, 2017). Esta norma prevê o método para a determinação da massa específica de cimento Portland e quaisquer outros materiais em pó, por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier, junto a um líquido não reagente quimicamente com o material analisado. A massa específica consiste na relação entre a massa do aglomerante e seu volume. A Figura 16 mostra o ensaio de massa específica realizado, (a) cimento e (b) pó de madeira.

Figura 16: Ensaio de massa específica: cimento (a) e pó de madeira (b).



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.3 Definição das Composições

As argamassas produzidas tiveram um traço estabelecido na proporção de 1:3 de cimento e agregado, respectivamente. Este traço foi escolhido por motivo de ser mais usual nas obras locais, e ainda pela presença em pesquisas que tratavam de argamassa para revestimento, como o estudo de Macedo (2021). Foi utilizado um aditivo plastificante na proporção de 0,5% nas argamassas, com a finalidade de melhorar a sua trabalhabilidade e reduzir a relação água/cimento. Nesta pesquisa, realizou-se três tipos de argamassas, no intuito de um estudo mais aprofundado quanto a substituição total do pó de pedra como agregado, e a substituição parcial do pó de madeira como um aglomerante. A Tabela 9 indica a nomenclatura dos traços adotados, porcentagens dos materiais utilizados e as suas composições.

Tabela 9: Nomenclatura das composições de argamassas.

Traço	Nomenclatura	Porcentagem (%)	Composições
1:3 Cimento: Areia	AS-REF	100% C: 100% A: 100% W	Cimento + Areia natural + Água
	AS-PDP	100% C: 100% PDP: 100% W	Cimento + Pó de Pedra + Água
	AS-PDP/PM	90% C: 10%PM: 100% PDP: 100% W	Cimento + Pó de Madeira + Pó de Pedra + Água

Fonte: Autoria própria (2022).

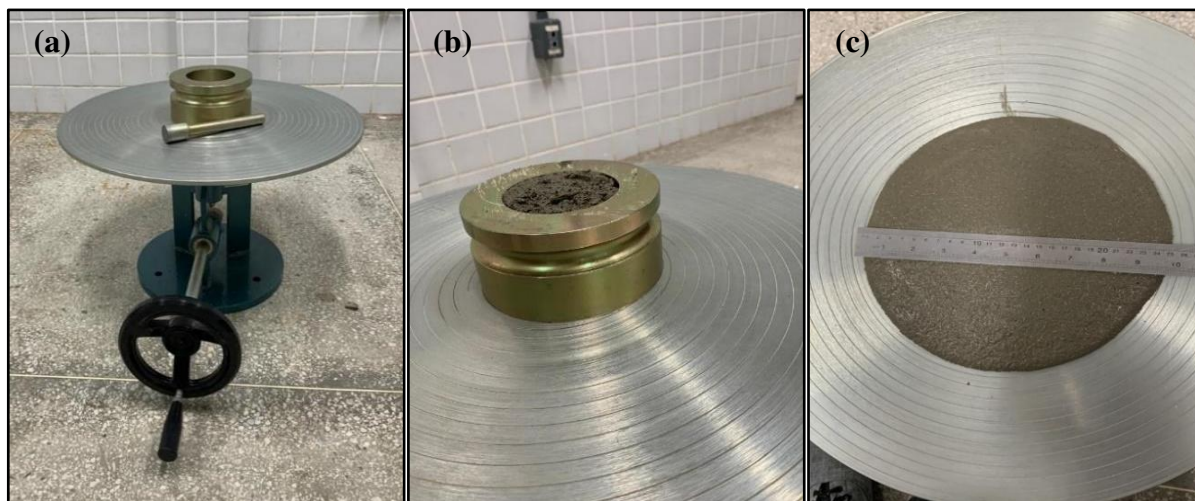
Realizou-se a substituição parcial do PM em relação cimento através do seu volume, devido ao material aglomerante pó de madeira possuir uma densidade consideravelmente baixa, comparado ao cimento,

4.2.4 Ensaios das argamassas no estado fresco

4.2.4.1 Consistências das argamassas

A determinação do índice de consistência normal das argamassas foi obtida através do ensaio de mesa de consistência (flow table test), seu preparo é estabelecido pela NBR 13276 (ABNT, 2016). A Figura 17 indica o ensaio produzido, no qual é apresentado a mesa plana com a manivela (a), a moldagem da massa na aparelhagem (b) e a leitura do espalhamento (diâmetro) com a régua metálica (c).

Figura 17: Ensaio do índice de consistência.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.4.2 Densidade de massa no estado fresco

A realização do ensaio para a densidade de massa no estado fresco baseou-se nas recomendações estabelecidas pela norma NBR 13278 (ABNT, 2005), no qual indica o método para a determinação da densidade de massa em argamassas destinadas ao assentamento e revestimento de paredes e tetos.

4.2.4.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

As três composições de argamassa foram moldadas em placas com capacidade de três corpos de provas prismáticos (4 x 4 x 16 cm) respectivamente, e adensados em duas camadas. A Figura 18 indica a primeira camada sob a mesa de adensamento após 30 golpes (a), e a segunda camada com o molde totalmente adensado e regularizado (b), seguido pelos os procedimentos estabelecidos na norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Antes das moldagens dos corpos de provas, as placas foram lubrificadas com um pincel à base de óleo mineral. Após o tempo de 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e colocados na cura sob temperatura ambiente até as idades de 7 e 28 dias para realização dos ensaios mecânicos e físicos das argamassas no estado endurecido.

Figura 18: Moldagem dos corpos de prova prismáticos.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.5 Ensaios das argamassas no estado endurecido

4.2.5.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão realizado neste estudo obedeceu a todos os requisitos determinados pela norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Foram moldados corpos de provas (CP) prismáticos 4 x 4 x 16 cm para cada composição de argamassa nas idades de 7 e 28 dias, respectivamente. Para determinada idade obedeceu-se aos tempos necessários dos CP sob a cura, até a data de rompimento previsto. A Figura 19 apresenta os ensaios com os moldes.

Figura 19: Ensaio de resistência à compressão (a), tração na flexão (b).



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.5.2 Densidade de massa no estado endurecido

O ensaio da densidade de massa no estado endurecido foi efetuado segundo as concepções da norma NBR 13280 (ABNT, 2005), - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. O procedimento foi realizado nas idades de 7 e 28, os corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm), para cada um dos traços das argamassas formuladas. A Figura 20 indica o ensaio de densidade de massa no estado endurecido.

Figura 20: Ensaio de densidade de massa no estado endurecido.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.5.3 Absorção de água por capilaridade e Coeficiente de capilaridade

O procedimento experimental deste ensaio segue todos os procedimentos indicados pela norma NBR 15259 (ABNT, 2005): Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Este ensaio consiste na formatação dos corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm), para cada um dos traços das argamassas, após as suas idades, os CPs foram colocados sobre um recipiente preenchido por água, de forma que a sua base permanecesse em contato direto com a água, como indicado na Figura 21.

Figura 21: Ensaio de absorção de água por capilaridade.



Fonte: Autoria própria (2022).

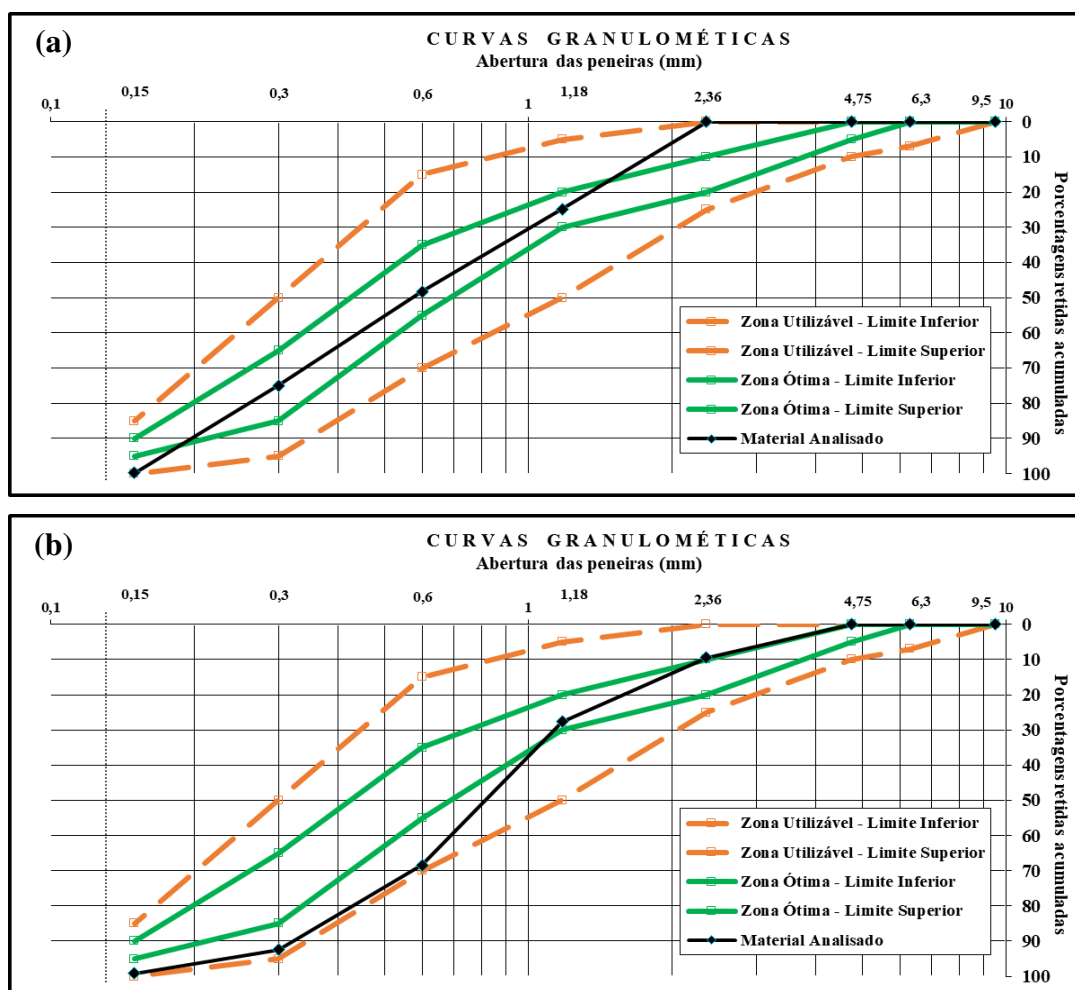
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AREIA

5.1.1 Granulometria

O agregado miúdo foi submetido ao ensaio de análise granulométrica, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Na Figura 22 é apresentada a distribuição granulométrica da areia normal (a), e da areia bruta (b). A areia normal (fracionada) possui um diâmetro máximo de 2,4 mm de toda a sua estrutura. Enquanto, em relação a areia bruta, conteve um diâmetro máximo de 4,8 mm de suas partículas, esse valor superior ao da areia normal, se justifica pela a areia bruta ser uma amostra retirada do próprio âmbito natural, ou seja, sem passar por nenhum beneficiamento anteriormente ao ensaio, diferentemente da areia normal que é beneficiada em quatros frações.

Figura 22: Curvas granulométricas: areia Normal (a); areia Bruta (b).



Fonte: Autoria própria (2022)

A curva granulométrica em relação a areia normal está dentro da zona ótima de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) (Figura 17 (a)). Porém a areia bruta encontra-se uma pequena parte dentro da zona ótima, no entanto, o baixo teor de material fino, e por possuir a maior composição de partículas superiores a 0,15 mm, ocasionando que a maior parte da sua curva esteja fora da zona ótima, como descrito na Figura 17-(b).

Este ensaio permitiu também calcular o Módulo de Finura (MF) para a areia natural (normal e bruta). A areia denominada normal se caracterizou por possuir um MF igual a 2,48, e a areia bruta com um MF de 2,97. De acordo com a Tabela 10, no qual aponta a classificação das areias e a sua utilização quanto ao MF, tanto a areia normal como areia bruta se encaixam no tipo de areia média, por possuírem valores dos módulos de finura entre os intervalos de 2,4 a 3,3, recomendando-se a sua utilização em argamassas para emboço, estes valores do MF corroboram com Acordi (2017) que possuiu um resultado de 2,3 e Corrêa (2019) com 2,59.

Tabela 10: Classificação das areias quanto ao módulo de finura.

Tipos	Módulo de Finura (MF)	Utilização
Areia grossa	MF > 3,3	Concreto e chapisco
Areia média	2,4 < MF < 3,3	Emboço
Areia fina	MF < 2,4	Reboco

Fonte: RIBEIRO; PINTO; STARLING (2002).

5.1.2 Massa específica e massa unitária

Na Tabela 11 é apresentado os resultados da massa específica e da massa unitária da areia natural conforme foram obtidos pelas normas NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente.

Tabela 11: Massa específica e massa unitária da areia normal.

	Massa Específica	Massa Unitária
	(g/cm³)	(g/cm³)
Areia Normal	2,52	1,58

Fonte: Autoria própria (2022).

Os valores obtidos da massa específica e unitária para a areia natural estão de acordo com o esperado, por possuírem valores como 2,52 e 1,58 (g/cm³), respectivamente, o resultado

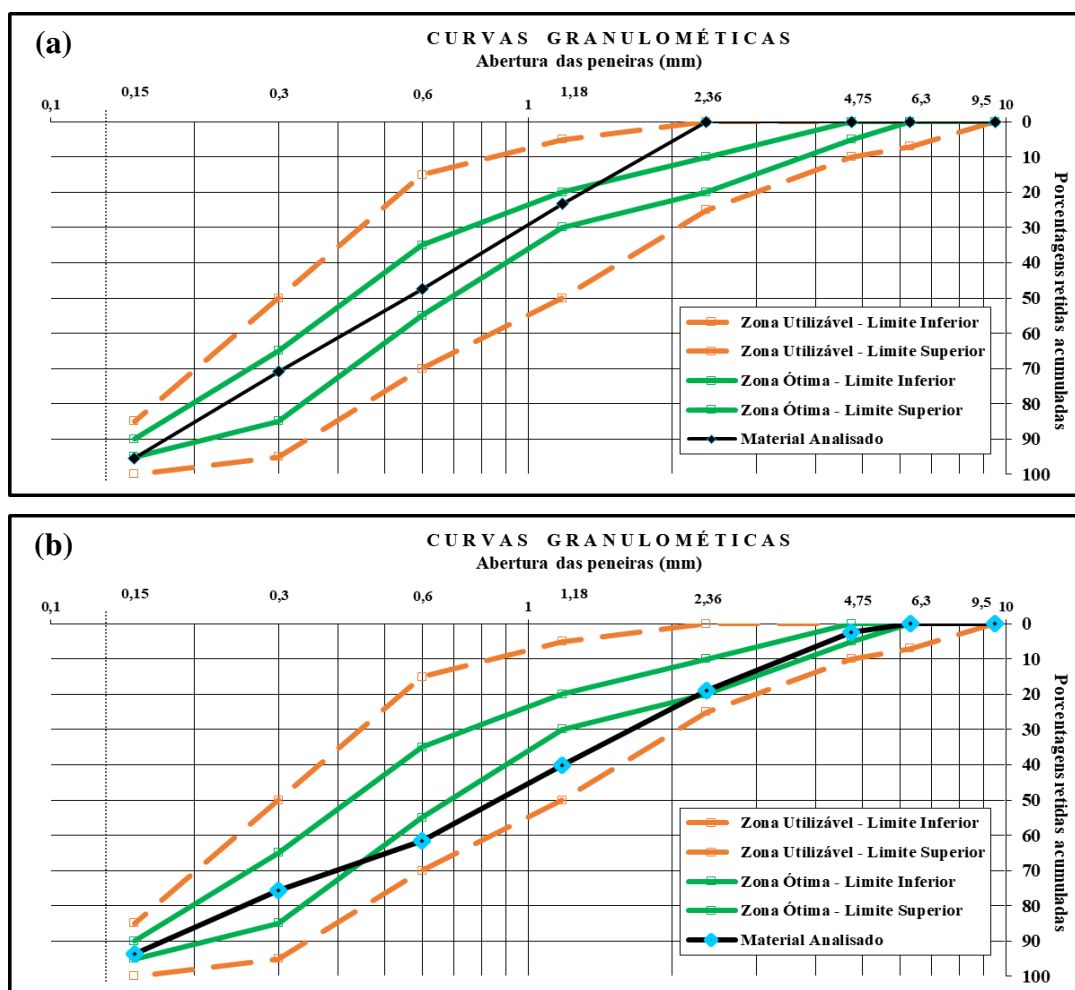
corroborar com as pesquisas de: Assunção (2014) que obteve 2,65 e 1,46 (g/cm³), enquanto Almeida (2006) adquiriu 2,63 e 1,51 (g/cm³).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA

5.2.1 Granulometria

O agregado miúdo (PDP) foi submetido ao ensaio de análise granulométrica, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003), no intuito de verificar se suas composições poderiam substituir a areia natural na produção de uma argamassa. Na Figura 23 é exibido a distribuição granulométrica do pó de pedra normal (a), e do pó de pedra bruto (b). O pó de pedra normal, fracionado, destaca-se por possuir um diâmetro máximo de 2,4 mm em relação a sua estrutura. Enquanto, o pó de pedra bruto dispõe um diâmetro máximo de 4,8 mm de suas partículas estrutural.

Figura 23: Curvas granulométricas: pó de pedra Normal (a); pó de pedra bruto (b).



Fonte: Autoria própria (2022).

Fundamentado nas análises granulométricas da areia natural, constata-se que a areia e o pó de pedra (ambos normais) apresentam percentuais semelhantes de sua composição considerando as partículas superiores (retidas) a 0,15 mm, possibilitando um diâmetro máximo do material igual, no qual, evidenciam a semelhança entre os agregados. Entretanto, em suas proporções brutas, mostra-se uma amostra parcialmente diferente, isso acontece pelo fato de o pó de pedra ser um agregado originado da britagem de rochas, ou seja, um material mais fino, originando uma distribuição granulométrica contínua, pois ocorre uma maior variação dimensional dos seus grãos.

A curva granulométrica do pó de pedra normal está mais dentro a zona ótima segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), (Figura 23-(a)). O pó de pedra bruto está em maior parte dentro da zona ótima, no entanto, o seu baixo teor de material fino, acarreta com que parte da sua curva esteja dentro da zona utilizável, indicado na Figura 23-(b).

Quando comparado as suas curvas granulométricas, a areia e o pó de pedra (normal) apresentam uma semelhança, como também em sua composição. Entretanto, quando analisado as proporções brutas, o pó de pedra possui uma melhora em sua curva granulométrica, pois a sua maior parte está localizada dentro da zona ótima, diferentemente da areia que está situada mais na zona utilizável. Estes resultados possibilitam uma possível substituição entre os agregados (areia e pó de pedra) na produção de argamassa.

No ensaio, também foi obtido o Módulo de Finura (MF) para o pó de pedra (normal e bruto), na composição normal, o agregado artificial possuiu um MF igual a 2,37 e o bruto possuiu um MF de 2,93, conforme Macedo (2021) que indicou um de 2,44 e Menossi (2004) com 2,48. Quando comparado com a areia normal e bruta, são parcialmente semelhantes.

5.2.2 Massa específica e massa unitária

A Tabela 12 representa os resultados encontrados da massa específica e da massa unitária do pó de pedra, sendo obtidos através das normas NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente.

Tabela 12: Massa específica e massa unitária do pó de pedra.

	Massa Específica	Massa Unitária
	(g/cm³)	(g/cm³)
Pó de Pedra	2,56	1,46

Fonte: Autoria própria (2022).

Observa-se que a massa específica ($2,56 \text{ g/cm}^3$) do pó de pedra apresenta um maior valor do que a areia natural, ou seja, possui um maior grau de concentração de massa em relação ao próprio volume. Isso normalmente ocorre devido ao PDP ser um agregado mais fino, entretanto, possui massa unitária ($1,46 \text{ g/cm}^3$), conforme Campos (2015) que possuiu $2,67$ e $1,45 \text{ (g/cm}^3\text{)}$, respectivamente, e Nascimento (2008) que obteve resultados de $2,89$ e $1,51 \text{ (g/cm}^3\text{)}$.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO

Na Tabela 13 exibe-se o resultado encontrado em relação a massa específica do cimento utilizado nesta pesquisa, no qual é estabelecido pelo o ensaio descrito na NBR 16605 (ABNT, 2017).

Tabela 13: Massa específica do cimento.

Cimento	Massa Específica (g/cm^3)
CP-V-ARI RS	3,09

Fonte: Autoria própria (2022).

O resultado é compatível com as especificações técnicas do fabricante e assemelha-se aos encontrados na literatura para o cimento CP-V-ARI RS, como Mota (2014) que possuiu $3,01(\text{g/cm}^3)$ e Campos (2015) com $3,00 \text{ (g/cm}^3\text{)}$.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE MADEIRA

A Tabela 14 apresenta o valor encontrado da massa específica do pó de madeira utilizado na pesquisa, no qual é estabelecido pelo o ensaio descrito na NBR 16605 (ABNT, 2017).

Tabela 14: Massa específica do pó de madeira.

	Massa Específica (g/cm^3)
Pó de Madeira	1,63

Fonte: Autoria própria (2022).

Observa-se que a massa específica do pó de madeira é inferior quando comparado ao cimento ($3,09 \text{ g/cm}^3$), isso ocorre por causa do material analisado (madeira) ser leve, como indicado pelos valores das massas. O teor de substituição do pó de madeira para o cimento necessita de ser em baixo valor, para que o material não interfira nas propriedades da argamassa.

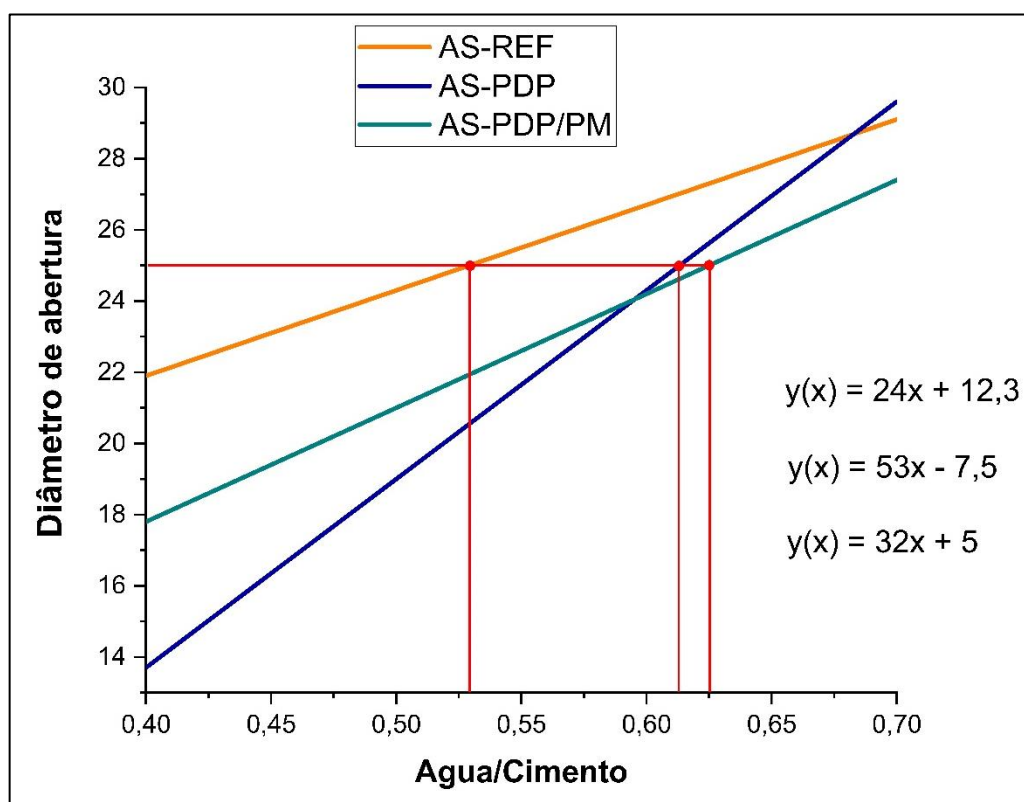
A substituição nesta pesquisa foi feita levando em consideração o volume, substituído aproximadamente de 10% do cimento. Este método foi empregado em razão das massas específicas serem diferentes. O valor obtido coincide com os encontrados na literatura para o pó de madeira, segundo Acordi (2017) que possuiu um resultado de 1,81 (g/cm³).

5.5 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

5.5.1 Consistência

A Figura 24 mostra os resultados obtidos do ensaio de consistência da relação água/cimento com o diâmetro de abertura das argamassas: AS-REF; AS-PDP e AS-PDP/PM. Os resultados destacam que o traço de composição AS-PDP/PM foi o que mais precisou de água para atender aos parâmetros ideais da consistência, em seguida do traço AS-PDP, no qual necessita de uma quantidade maior de água quando comparado à AS-REF.

Figura 24: Ensaio de consistência.



Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com os resultados apresentados pela Figura 24, no qual, confirmam a influência direta da adição do pó de pedra na relação água cimento da argamassa. Campos (2015), relata que há uma redução direta do espalhamento das argamassas à medida que se aumenta o teor de pó de pedra, onde tal fenômeno está ligado à superfície específica do pó de pedra, no qual, à medida que a porcentagem da areia britada aumenta, aumenta-se também a superfície das suas partículas na mistura, ocasionando então uma necessidade de mais água para poder molhar as superfícies e, conseqüentemente, diminui a fluidez da argamassa. A substituição total da areia natural pelo pó de pedra gera um aumento na relação água/materiais secos, consolidando com os resultados apresentados por Corrêa (2019), Arnold (2011) e Nascimento (2008).

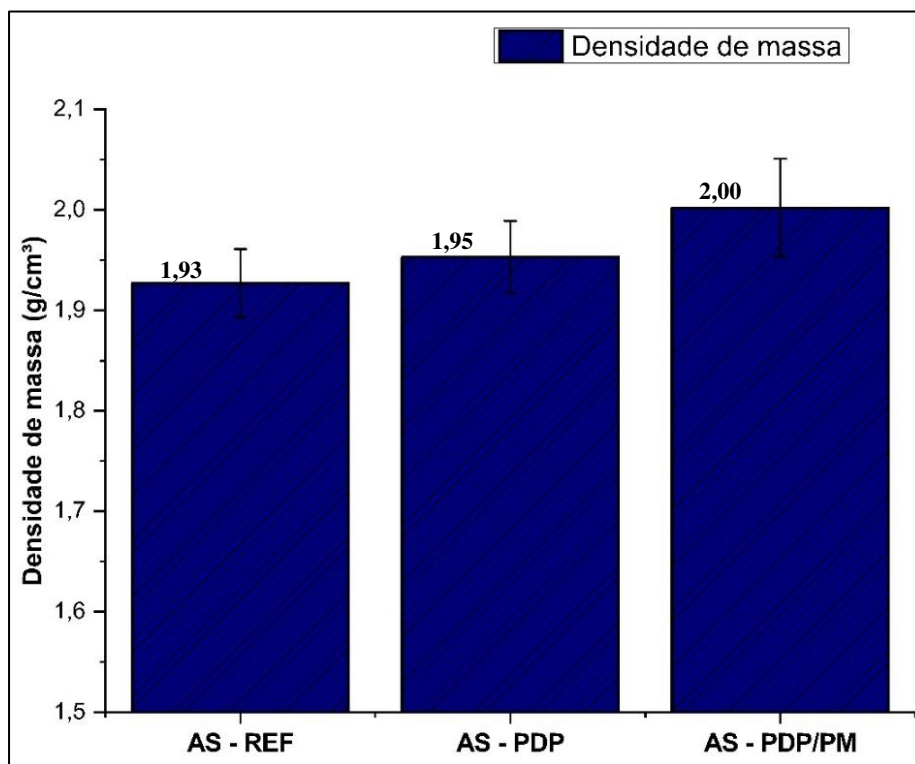
A relação água/cimento é uma das características mais importantes em elementos produzidos a base do cimento, possui influência direta com propriedades a resistência mecânica e sua porosidade. Como pode-se observar, a composição AS-PDP/PM (0,63) foi a que mais necessitou água para o atendimento aos parâmetros de consistência, por conta do seu agregado artificial e adição de partículas de madeira na sua composição. Seguido pelo traço AS-PDP que demandou de 0,61 para atingir o esperado. A argamassa referência (AS-REF) foi a que apresentou menor teor de água/materiais secos, em um total de 0,53.

O ensaio de índice de consistência com os traços estabelecidos, apontaram que a presença das partículas de madeira na composição do cimento na argamassa reduz a fluidez e demanda de maior quantidade de água para se situar nos parâmetros adequados. A fluidez dos compostos de cimento está ligada diretamente a fatores, como a quantidade de cimento, tipo, granulometria do agregado miúdo e a relação água/cimento da argamassa. Lima (2005), descreve que os vazios celulares são os principais responsáveis pelo grande número de poros nas fibras e partículas da madeira, gerando então uma elevada absorção de água, provocando uma perda de fluidez causada pela falta de água na argamassa, assim a composição AS-PDP/PM necessitou da maior quantidade de água em sua formação, corroborando com os resultados apresentados por Acordi (2017) e Lima (2005).

5.5.2 Densidade de massa

A Figura 20 apresenta os resultados relacionados ao ensaio de densidade de massa no estado fresco.

Figura 25: Densidade de massa das argamassas no estado fresco.



Fonte: Autoria própria (2022).

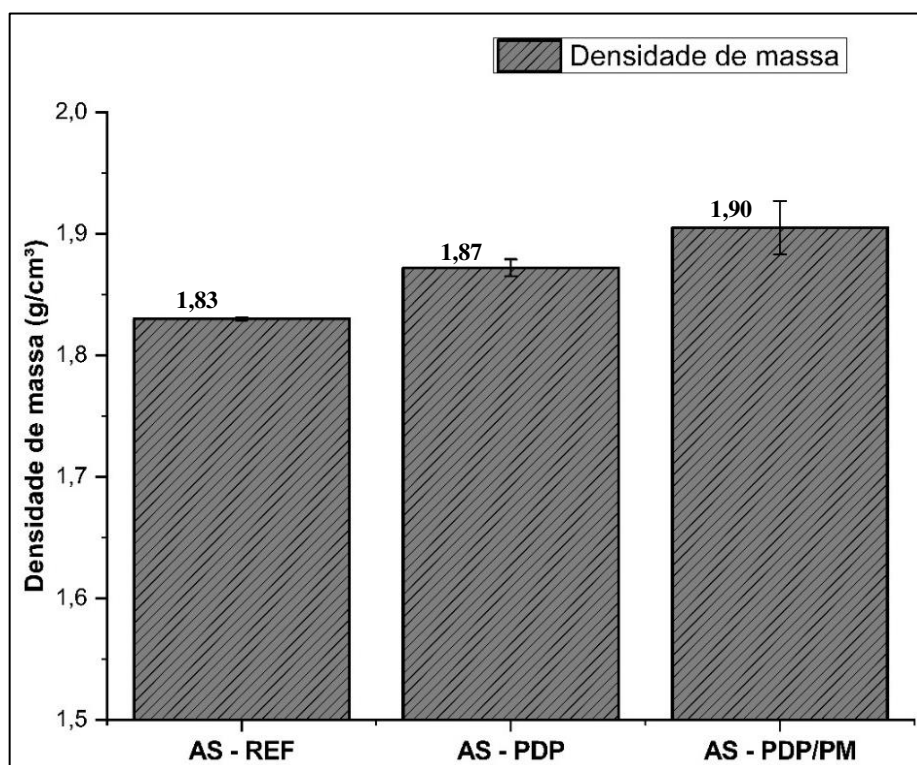
Observa-se uma maior densidade das argamassas produzidas com as composições (AS-PDP e AS-PDP/PM) comparado com (AS-REF), conforme Macedo (2021) que nota uma maior densidade de massa no estado fresco das argamassas produzidas com a composição do pó de pedra em relação à areia natural. Observa-se uma melhoria da densidade de massa no estado fresco da argamassa AS-PDP/PM em comparação com a AS-REF, esta melhoria é mais representativa que a melhoria da AS-PDP em comparação com a AS-REF, pois as margens de erro envolvidas nos resultados comprovam bem isso.

5.6 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

5.6.1 Densidade de massa

Os resultados referentes à densidade de massa no estado endurecido estão indicados na Figura 26.

Figura 26: Densidade de massa das argamassas no estado endurecido.



Fonte: Autoria própria (2022).

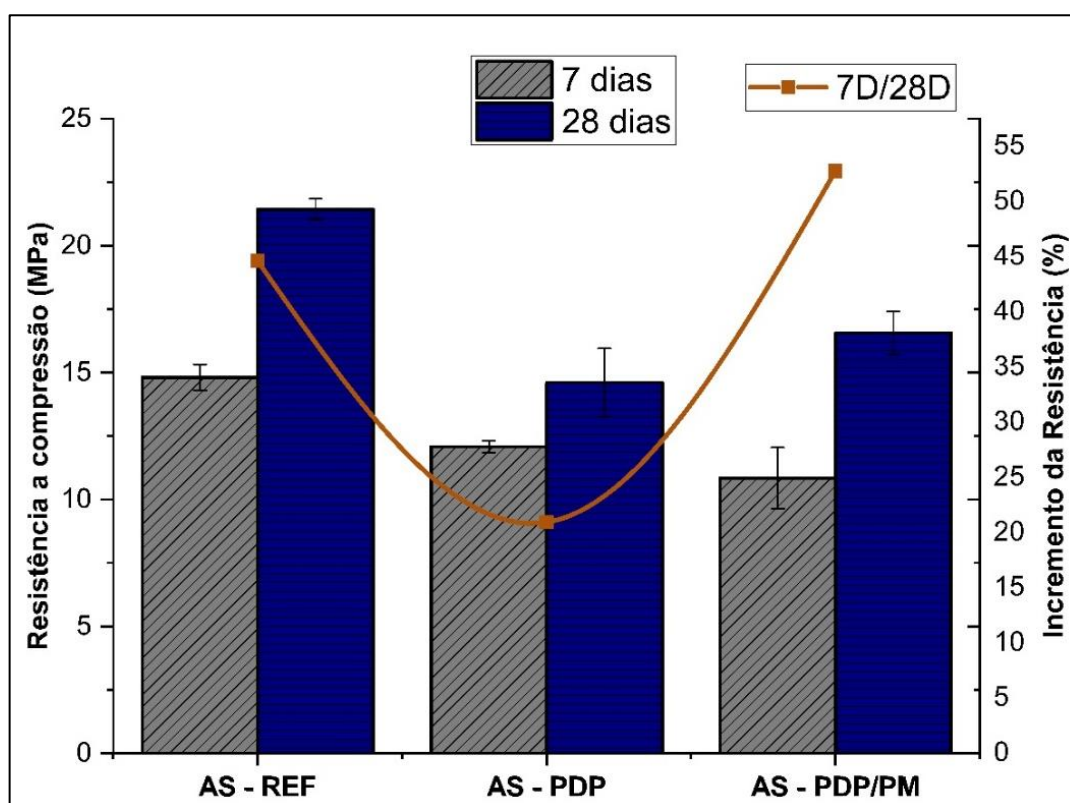
As argamassas AS-PDP e AS-PDP/PM apresentaram uma maior densidade de massa quando comparado à AS-REF, por conta da massa específica do pó de pedra ter valor maior. O traço AS-PDP/PM se notabilizou por possuir a maior densidade de massa. A massa específica do pó de madeira possuiu um valor inferior em relação ao cimento, ou seja, às partículas de madeiras necessitaram de uma maior quantidade de água para atingir uma melhor trabalhabilidade, quando comparado aos demais, ocasionando numa maior densidade de massa.

Nota-se também uma boa representatividade pelo uso dos 10% de PM nas densidades de massa no estado endurecido, quando comparado à AS-REF, dado que as margens de erro envolvidas nos resultados comprovam isso. A presença do efeito fíler das partículas mais finas de pó de pedra também auxilia a esse processo, favorecendo o empacotamento da mistura e, dessa forma, aumento da densidade.

5.6.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão de elementos a base de produtos cimentícios é uma das propriedades mais valiosas quando se analisa o desempenho de uma estrutura. Consiste no principal parâmetro que um profissional utiliza na avaliação da capacidade de resistir a esforços sem que haja quaisquer rupturas. Nota-se um aumento de resistência à compressão quando se analisa as diferentes idades dos corpos de prova. Segundo Mehta e Monteiro (2014), isso ocorre por conta de os silicatos serem os maiores responsáveis pelo desenvolvimento da resistência do material, no qual hidratam muito mais lentamente que os aluminatos, destaca-se que quanto maior o período de cura maior será a resistência adquirida, pois os produtos de hidratação formados gerarão características de pega e endurecimento com o decorrer do tempo. A Figura 27 apresenta os resultados equivalentes ao ensaio de resistência à compressão, aos 7 e 28 dias das três composições de argamassas produzidas nesta pesquisa.

Figura 27: Resistência à compressão e incremento das argamassas.



Fonte: Autoria própria (2022).

Aos 7 e 28 dias a argamassa que apresentou o melhor desempenho quanto a resistência à compressão foi AS-REF, obtendo aproximadamente 14,81 e 21,42 MPa, respectivamente,

possuindo então um incremento de aproximadamente 44,6%, de resistência. Isto corre normalmente devido as reações químicas agirem com o passar do tempo, auxiliando a resistência.

A argamassa AS-PDP foi a que apresentou a menor resistência à compressão aos 28 dias, chegando a um valor aproximado de 14,60 MPa e um incremento de 20,89% quando comparado aos 7 dias. Segundo Duarte (2013), o decréscimo nestes valores está relacionado ao aumento da superfície específica do agregado miúdo, devido a incorporação das partículas do pó de pedra na mistura, ocasionando em um aumento no volume de água aplicada na argamassa. A alteração na relação água/cimento pode provocar modificações nas propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido. Duarte (2013), também estudou que a forma lamelar das partículas do pó de pedra dificulta a coesão proporcionada pelo aglomerante, contribuindo para a formação de uma zona de transição mais porosa, eventualmente de maior espessura, ocasionando uma redução gradual da resistência à compressão da argamassa estudada.

O segundo melhor desempenho desenvolvido, aos 28 dias, foi atribuído para a argamassa AS-PDP/PM, que possuiu e um incremento de 52,72% aproximadamente, quando analisado aos 7 dias e uma resistência à compressão de 16,56 MPa, um valor inferior quando comparado à AS-REF. Silva (2021), afirma que a adição do resíduo de madeira tende a gerar um material com menor densidade e, conseqüentemente, menor resistência à compressão. Lima (2005), descreve que a presença de portlandita (cristais de hidróxido de cálcio) em grandes quantidades, pode ocasionar a uma concentração elevada destes cristais na interface das partículas de madeira com a matriz, gerando uma aderência deficiente em função do aumento da porosidade do sistema partículas/matriz, contribuindo também com a diminuição da durabilidade das fibras/partículas de madeira em função de seu contato direto com o meio alcalino do cimento. Outro fator importante é a relação água/aglomerantes, no qual essa composição foi a que mais demandou de água para atingir o índice de consistência adequado, ocasionando na diminuição da resistência da argamassa.

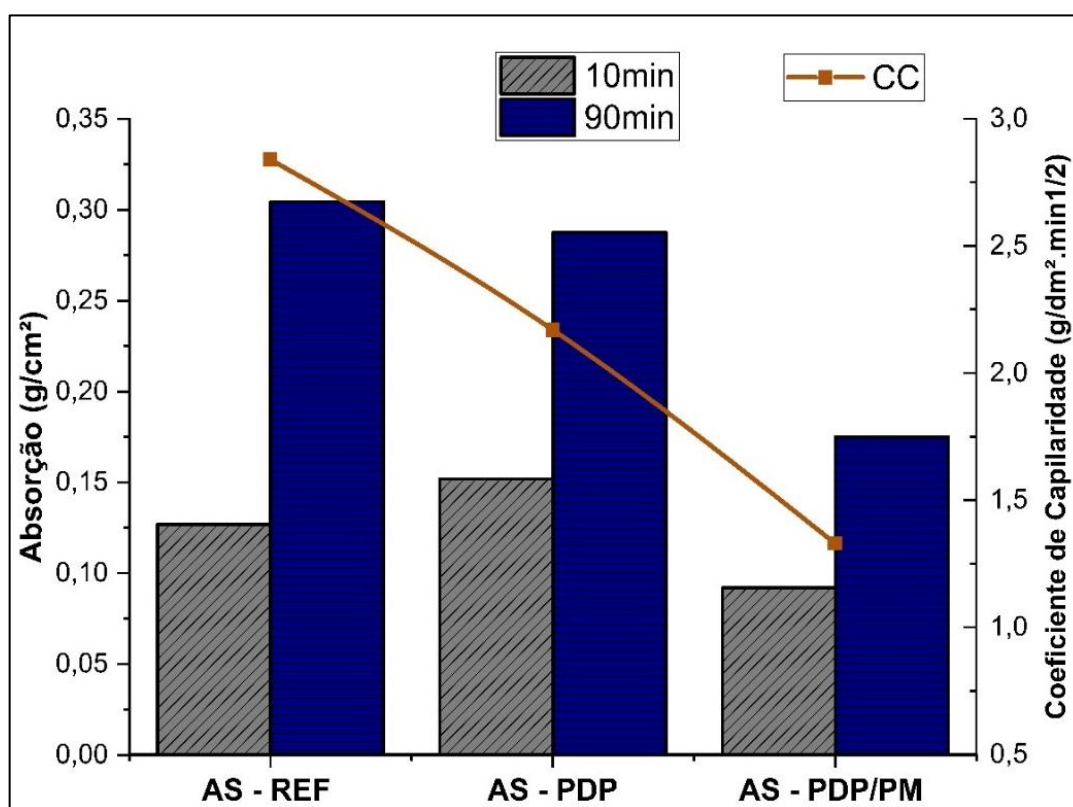
Quando comparado a argamassa AS-PDP/PM, com a composição AS-PDP nota-se uma maior resistência à compressão aos 28 dias. Este resultado pode estar ligado diretamente à relação madeira-cimento. Pimentel e Beraldo (2000), empregaram a lavagem do material, como tratamento para o resíduo de madeira, observou-se que a mistura com o cimento CP II- E 32 não proporcionou resultados favoráveis à resistência à compressão, porém, com o uso do CP V - ARI, forneceu-se uma considerável elevação na resistência à compressão aos 28 dias. Lima (2005), ressalta que tal fato pode ser resultante do rápido processo de hidratação do cimento tipo ARI, onde a hidratação de tipologia deste cimento consome, de forma mais rápida que em

outros cimentos, o que reduz a possibilidade de ser absorvida em maiores quantidades pelas fibras/partículas de madeira.

5.6.3 Absorção de água por capilaridade

A Figura 28 apresenta os resultados referentes a absorção por capilaridade nos tempos 10 e 90 minutos, e seu coeficiente de capilaridade. Para Mehta e Monteiro (2008), o fenômeno da capilaridade não está apenas relacionada a presença de vazios, mas sim, ao diâmetro dos micros poros e suas conexões, que são fatores que afetam diretamente a absorção por capilaridade, podendo interferir na durabilidade das argamassas.

Figura 28: Absorção por capilaridade aos 10 e 90 min, e coeficiente de capilaridade.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados obtidos indicam que ocorreu uma diferença na absorção de água aos 10 min e 90 min, mais precisamente em todas as argamassas. A composição AS-REF obteve um valor de 0,12 e 0,30 (g/cm²), respectivamente. O traço AS-PDP apresentou valores como 0,15 e 0,28 (g/cm²), no caso analisados os tempos de 10 e 90 minutos, estes resultados são aproximados, quando comparado a argamassa referência, enaltecendo a possível substituição do agregado natural pela areia de britagem.

A composição AS-PDP/PM sofreu uma redução na absorção de água por capilaridade aos 10 e 90 min, os resultados foram iguais a 0,09 e 0,17, respectivamente. Esta redução dos valores também foi observada no estudo de Silva (2021). Isso aconteceu devido ao preenchimento dos poros pelo pó de madeira, ocasionando na redução da absorção de água e do coeficiente de capilaridade.

A Figura 28 também aponta os resultados encontrados para os coeficientes de capilaridade das argamassas produzidas. Para Rato (2006), o coeficiente de capilaridade depende de fatores como a quantidade de poros, conectividade da rede porosa e a dimensão dos poros, sendo que, quanto menor for o tamanho dos poros maior serão as forças capilares. A AS-REF foi a que apresentou o maior valor, aproximadamente 2,84 ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$), quando comparado ao traço AS-PDP que possui 2,17, obtendo um coeficiente de capilaridade de 23,60% menor. A argamassa AS-PDP/PM indicou um resultado de 1,33 ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$), ou seja, 53,17% menor quando comparado com a argamassa AS-REF.

6. CONCLUSÃO

Os ensaios de caracterização dos materiais apontam que o agregado miúdo artificial, atingiu resultados favoráveis para uma possível substituição da areia natural. Pois, em relação as suas granulometrias, os resultados apontaram que a areia natural e o pó de pedra possuíam curvas granulométricas semelhantes. O módulo de finura obtido da areia natural foi igual a 2,48 da fração normal, enquanto o pó de pedra possui um módulo de finura de 2,37. As massas específicas da areia natural e dos resíduos de britagem foram de 2,52 e 2,56 (g/cm³), respectivamente. Quanto ao aglomerante, o cimento Portland apresentou uma massa específica de 47,25% maior em relação ao pó de madeira, destacando o quão leve é este material.

Em relação a caracterização das argamassas no estado fresco, todas as composições formadas pelo pó de pedra e pó de madeira (AS-PDP e AS-PDP/PM), comparado com a composição referência (AS-REF) indicaram uma maior relação água/cimento, com um acréscimo de 15,1% e 18,87%, respectivamente, isso significa que por se tratar de um material mais fino, foi demandado uma maior quantidade de água, para que pudesse obter uma boa trabalhabilidade de massa e uma consistência dentro do previsto. Estas composições também apresentaram uma maior densidade de massa em relação à referência.

No que diz respeito a resistências das argamassas no estado endurecido, a AS-REF apresentou o melhor resultado referente a resistência à compressão aos 28 dias, obtendo-se um valor de 21,42 MPa. Enquanto as argamassas AS-PDP e AS-PDP/PM alçaram uma resistência a compressão de 31,84% e 22,69% menor, quando comparado à AS-REF.

A absorção de água por capilaridade das argamassas apresentou-se maior para argamassa AS-REF, em relação a 10 min e 90 min, a composição adquiriu um valor de 0,12 e 0,30 (g/cm²), respectivamente. Seguida pela argamassa AS-PDP apresentou valores como 0,15 e 0,28 (g/cm²), nos mesmos tempos. A argamassa AS-PDP/PM registrou a menor absorção no mesmo intervalo, alcançando valores como 0,09 e 0,17 (g/cm²). As composições AS-PDP e AS-PDP/PM possuíram um menor valor de coeficiente de capilaridade quando comparado com a AS-REF, chegando a ser 23,60% e 53,17% menor que o resultado da referência.

Em geral, todos os procedimentos pré-determinados foram realizados, visto que possíveis substituições totais e parciais dos materiais constituintes para a produção das argamassas podem ser favoráveis. Portanto, a utilização do pó de pedra como agregado oferece uma provável mudança da areia natural, corroborando com possíveis melhorias nas propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido. Além dos benefícios técnicos, a principal vantagem da utilização da areia de britagem está relacionada ao âmbito sustentável,

contribuindo para diminuição dos danos gerados pela exploração da areia natural, e auxiliando na redução dos custos da construção civil.

Para os estudos futuros que podem ser realizados, a variação dos teores de substituição, verificação da durabilidade das argamassas produzidas, realização do ensaio de aderência e a busca pela viabilidade do desenvolvimento de argamassas leves sustentáveis substituindo a areia natural pelo PDP + PM, são sugestões que podem auxiliar os trabalhos.

REFERÊNCIAS

- ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland (org.). **Manual de Revestimentos de Argamassa**. São Paulo - SP, 2003. 104 f.
- ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7. ed. São Paulo - SP: Bt-106, 2002. 28 p.
- ACORDI, Juliana. **Desenvolvimento e caracterização de produtos cimentícios a partir de resíduos de madeira: cinza volante e cinza de grelha**. 2017. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma - SC, 2017.
- ALMEIDA, Maria das Vitórias Vieira de. **Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos**. 2006. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2006.
- ALMEIDA; SAMPAIO. OBTENÇÃO DE AREIA ARTIFICIAL COM BASE EM FINOS DE PEDREIRAS. **CETEM**, Recife - PE, p. 2-6, 2002.
- ANDRIOLO, F. R. **Usos e abusos do pó de pedra em diversos tipos de concreto**. In: Anais do II SUFFIB: o uso da fração fina da britagem. São Paulo: EPUSP, 2005.
- ANEPAC. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados Para Construção (org.). **O Mercado de Agregados no Brasil**. São Paulo - SP, 2021. 11 p.
- ARNOLD, Daiana Cristina Metz. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas**. 2011. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. 3 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2016. 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. 2 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2005. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. 2 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2005. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. 2 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2005. 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassas para assentamentos e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2005. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Termologia. 2 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2013. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. 1 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2005. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. 1 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2017. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. 3 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2019. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. 3 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2015. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225**: Materiais de pedra e agregados naturais. 1 ed. Rio de Janeiro - RJ, 1993. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: Agregados – Termologia. 3 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2011. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro - RJ, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 1 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2006. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. 2 ed. Rio de Janeiro - RJ, 2009. 6 p.

ASSUNÇÃO, Marluce Ester Puglia. **Estudo de argamassa com finos de pedreira para a produção de concreto autoadensável**. 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá - Pa, 2014.

BARROS, Alerrandre. **Custos da construção sobem 18,65% em 2021, maior taxa em nove anos**. 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/32719-custos-da-construcao-sobem-18-65-em-2021-maior-taxa-em-nove-anos>. Acesso em: 15 fev. 2022.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. **IBRACON**, São Paulo - SP, v. 1, n. 3, p. 1-63, 2017.

CAMPOS, Heloisa Fuganti. **Concreto de alta resistência utilizando pó de pedra como substituição parcial do cimento Portland: Estudo experimental**. 2015. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - Pa, 2015.

CARASEK, Helena. Argamassas. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. Goiânia - Go: Geraldo Cechella Isaia, 2010. Cap. 28. p. 886-936.

CARASEK, Helena. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, Goiânia - Go, p. 3-19, 2016.

CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves de. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. 2005. 331 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2005.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção (org.). **Construção Civil: desempenho 2021 e cenário para 2022**. Brasília - DF, 2021. 23 slides, color.

CIMENTO.ORG. **CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial**. 2010. Disponível em: <https://cimento.org/cp-v-ari-cimento-portland-de-alta-resistencia-inicial/>. Acesso em: 18 mar. 2022.

COELHO, João Filipe Matos. **Análise do ciclo de vida de argamassas com resíduos de madeira**. 2019. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Almada - Portugal, 2019.

CONSTRUÇÃO, Total. **Como Chapiscar Parede? Passo A Passo!** 2020. Disponível em: <https://www.totalconstrucao.com.br/como-chapiscar-parede/>. Acesso em: 12 mar. 2022.

CONSTRUÇÃO, Tudo. **Emboço | Como aplicar Emboço | Medidas para fazer o Emboço**. 2019. Disponível em: <https://www.tudoconstrucao.com/emboco/>. Acesso em: 12 mar. 2022.

CORRÊA, Cássia Aparecida Rabelo. **Influência das frações granulométricas de agregados miúdos reciclados no comportamento de argamassas de cimento**. 2019. 264 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2019.

COSTA, Ivandro da. **Estudo comparativo entre as argamassas de revestimento externo: preparada em obra, industrializada fornecida em sacos, e estabilizada dosada em central**. 2016. 84 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016.

COSTA, Marlo Jorge da. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento Portland: Aplicabilidade de um método de dosagem**. 2005. 46 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí - RS, 2005.

DUARTE, João Batista. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto de cimento Portland**. 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2013.

Empresa de Pesquisa Energética (org.). **Plano Nacional de Energia - 2030**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. Acesso em: 08 mar. 2022.

GAIL. **Como fazer um bom assentamento de placas cerâmicas?** 2020. Disponível em: <https://blog.gail.com.br/como-fazer-um-bom-assentamento-de-placas-ceramicas/>. Acesso em: 12 mar. 2022.

GUIMARÃES, Cleidson; GOMES, Mário Vinicius Aguiar. Areia de britagem como alternativa à areia natural na confecção de concreto: um panorama sobre o estado da arte. **Labor & Engenho**, Cruz das Almas - BA, p. 1-8, 2020.

LEGGERINI, Maria Regina Costa; AURICH, Mauren. **ARGAMASSA DE REVESTIMENTO. Materiais Técnicas e Estruturas I**. 2019. Disponível em: http://www.politecnica.pucrs.br/professores/mregina/ARQUITETURA_-_Materiais_Tecnicas_e_Estruturas_I/estruturas_i_capitulo_IV_argamassa_de_revestimento.pdf. Acesso em: 25 fev. 2022.

LEITE, Ana Paula Mendes. **Utilização do pó de granito como substituição parcial do agregado miúdo na fabricação de argamassas**. 2021. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, São Luís, 2021.

LIMA, Alexandre Martins de. **Influência de três tipos de traimentos físico na resistência a compressão de compósitos cimento-madeira a base de resíduos de serraria**. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém - PA, 2005.

LUZ, Adão Benvindo da; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. **Manual de Agregados para construção civil**. 2. ed. Rio de Janeiro - RJ: Valéria Cristina de Souza, 2012. 433 p.

MACEDO, Jeandson Wilck Nogueira de. **Argamassa de revestimento Produzida a partir da substituição do agregado natural por resíduo de scheelita e pó de pedra**. 2021. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2021.

MARTINS, J. G.; ASSUNÇÃO, J. S. **Materiais de construção: argamassas e rebocos**. 3ª ed. Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2010.

MAUÁ. **Rebocar_parede_cimento**. 2018. Disponível em: https://cimentomaua.com.br/reboco-de-parede-com-argamassa-ou-gesso-qual-melhor-opcao/rebocar_parede_cimento/. Acesso em: 12 mar. 2022.

MEHTA, K.; MONTEIRO, PAULO J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014, p. 751.

MEHTA, K.; MONTEIRO, PAULO J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENOSSE, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira – SP, 2004.

MME - Ministério de Minas e Energia (org.). **Balanço Energético Nacional 2021**. Belo Horizonte - Mg: Empresa de Pesquisa Energética, 2021. 73 p.

MOTA, Marcos Henrique Almeida. **Concreto seco com incorporação de cinzas de madeira de algaroba (Prosopis Juliflora) moldado sob pressão**. 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2014.

MUÑIZ, Graciela Inês Bolzon de. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Revista Floresta**, São Paulo - SP, p. 247-259, 2001.

NASCIMENTO, Gizela Barbosa do. **Caracterização e utilização de pó-de-pedra em revestimentos para restauração de edificações históricas em estilo Art Déco**. 2008. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2008.

NEVILLE, A.M.. **Propriedades do concreto**. 5. ed. São Paulo - SP: Maria Eduarda Fett Tabajar, 2016. 841 p.

PIMENTEL, L.; BERALDO, A. L. Utilização de resíduos de pinus caribaea na produção de compósito Madeira-cimento. In: VII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2000, **Anais do VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, 2000.

PINTO, Bruno Miguel Pinheiro Soares. **Cinza de madeira como adição em Betão – resistências mecânicas e durabilidade**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto - Portugal, 2013.

RAMOS FILHO, Ricardo Eugênio Barbosa. **Estudo da combinação de resíduo de scheelita, pó de pedra e manipueira com aglomerantes para produção de tijolos ecológicos**. 2021. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2021.

RATO, Vasco Nunes da Ponte Moreira. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. 2006. 316 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2002. 102p.

SENTONE, Daniel Tourinho. **Desenvolvimento de método para medida de permeabilidade superficial de revestimentos de argamassa**. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2011.

SFB. (org.). **Serviço Florestal Brasileiro**. 2022. Disponível em: <https://www.florestal.gov.br/>. Acesso em: 04 mar. 2022.

SHERATA; THOMAS. **The effect of fly ash composition on the expansion of concrete due to alkali-silica reaction**. Cement and concrete research. v. 30, n. 7. p. 1063-1072. 2000.

SIDDIQUE, Rafat. **Utilization of wood ash in concrete manufacturing**. Resources, conservation and recycling. v. 67, p. 27-33. 2012.

SILVA, Jussara Adílio da. Análise das características físicas e propriedades mecânicas de argamassa com inserção de resíduos de madeira. **Revista Matéria**, Criciúma, v. 26, p. 1-11, 14 mar. 2021.

SILVA, Narciso G.; BUEST, Guilherme; CAMPITELI, Vicente C.. ARGAMASSAS COM AREIA BRITADA: INFLUÊNCIA DOS FINOS E DA FORMA DAS PARTÍCULAS. **VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**, Florianópolis - SC, p. 3-11, 2005.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (org.). **Relatório anual 2020**. São Paulo - SP, 2021. 52 p.

VALVERDE, Fernando Mendes. O “novo normal” na indústria de Agregados. **Revista Areia & Brita ANEPAC**, São Paulo - SP, p. 15-17, 2020.