



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ISABELLA VITÓRIA TAVARES SILVA
VICTOR HUGO TAVARES SILVA**

**SUBSTITUIÇÃO DE AREIA NATURAL POR AREIA DE
BRITAGEM DE ROCHAS CALCÁRIAS EM ARGAMASSAS
DE REVESTIMENTO**

PUBLICAÇÃO N°: 09

**GOIANÉSIA / GO
2021**



**ISABELLA VITÓRIA TAVARES SILVA
VICTOR HUGO TAVARES SILVA**

**SUBSTITUIÇÃO DE AREIA NATURAL POR AREIA DE
BRITAGEM DE ROCHAS CALCÁRIAS EM ARGAMASSAS
DE REVESTIMENTO**

PUBLICAÇÃO N°: 09

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

ORIENTADOR: ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX

GOIÂNÉSIA / GO: 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, ISABELLA VITÓRIA TAVARES; SILVA, VÍCTOR HUGO TAVARES.

Substituição de areia natural por areia de britagem de rochas calcárias em argamassas de revestimento. 2021, xx, 81P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1. Areia de britagem | 2. Rocha calcária |
| 3. Argamassa de revestimento | 4. Viabilidade técnica e econômica |
| I. ENC/FACEG | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, I. V. T.; SILVA, V. H. T. Substituição de areia natural por areia de britagem de rochas calcárias em argamassas de revestimento. TCC, Publicação 09 2021/2. Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 81p. 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

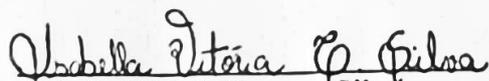
NOME DOS AUTORES: Isabella Vitória Tavares Silva; Víctor Hugo Tavares Silva

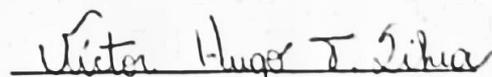
TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Substituição de areia natural por areia de britagem de rochas calcárias em argamassas de revestimento.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


Isabella Vitória Tavares Silva
engisabellav@gmail.com
76382-036 - Goianésia/GO - Brasil


Víctor Hugo Tavares Silva
v.torhugo@outlook.com
76385-867 - Goianésia/GO - Brasil

**ISABELLA VITÓRIA TAVARES SILVA
VICTOR HUGO TAVARES SILVA**

**SUBSTITUIÇÃO DE AREIA NATURAL POR AREIA DE
BRITAGEM DE ROCHAS CALCÁRIAS EM ARGAMASSAS
DE REVESTIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

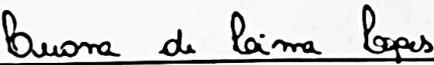
APROVADO POR:



**ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX, Mestre (FACEG)
(ORIENTADOR)**



**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**LUANA DE LIMA LOPES, Mestre (Universidade Federal de Uberlândia – UFU)
(EXAMINADORA EXTERNA)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 24 de NOVEMBRO de 2021.

*Dedico esta conquista primeiramente à Deus;
aos meus pais, João e Adriane;
aos meus irmãos, João Gabriel e Isadora;
ao meu primo, Victor;
e a todos que torceram por mim.*

Isabella Vitória Tavares Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à Deus, por me conceder saúde, disposição, disciplina e persistência para que os objetivos fossem alcançados, por guiar os meus passos, abrir tantas portas e me mostrar, em cada dificuldade, que eu nunca estarei sozinha.

Sou grata aos meus pais, João e Adriane, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, principalmente nos momentos difíceis, de desânimo e cansaço, não medindo esforços para a realização dos meus sonhos. Sorte a minha ter em casa dois professores, que desde pequena me fizeram valorizar e me dedicar aos meus estudos, contribuindo de forma extraordinária com a minha sede por conhecimento. Estendo meus agradecimentos aos meus irmãos, João Gabriel e Isadora Munique, aos meus tios, primos, e demais familiares pelo apoio. Em especial, aos meus avós, João e Aparício, que acompanham e comemoram as minhas conquistas lá do céu.

Ao meu primo, amigo e irmão, Victor Hugo, por todo o apoio, companheirismo, por me acalmar, me ouvir, me ajudar, entender e ser o meu refúgio durante todos esses anos. Eu o amo incondicionalmente e tê-lo como minha dupla nesse projeto deixou tudo mais leve. Sem dúvidas, a melhor dupla de TCC, de profissão e de vida.

Ao nosso orientador, um profissional que tenho como inspiração, Robson Félix, agradeço a disposição, os ensinamentos e as múltiplas sugestões que contribuíram para o desenvolvimento e aperfeiçoamento desse trabalho. Ao professor Vilson Dalla, pela ajuda e sugestões durante a execução do projeto. Aos demais professores que contribuíram para a minha formação. Em especial, à Patrícia Nara, manifesto meu carinho, minha gratidão e admiração eterna, por compartilhar sua sabedoria e me mostrar que eu posso fazer muito mais do que eu acreditava ser capaz.

Reconheço também, a importância das minhas amigas, Andressa, Kauanhy, Laísa, Neliana, Rafaella, Renata e Tainá, e do meu namorado, que estiveram ao meu lado, me apoiando, incentivando e ajudando com o que fosse preciso. Obrigada pelo companheirismo, momentos de descontração e por entender a minha ausência em prol do meu futuro. Estendo os agradecimentos aos demais amigos, que não citarei nominalmente.

Por fim, agradeço aos meus amigos de graduação, em especial a Carolina Ribeiro, pela amizade e parceria durante esses cinco anos. Um sonho em comum nos uniu e, com certeza, levarei da faculdade pra vida.

A todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente para a realização deste sonho, a minha eterna gratidão.

Isabella Vitória Tavares Silva

*Dedico este trabalho primeiramente à Deus;
aos meus pais Milton e Romilda;
ao meu irmão Rodrigo;
à minha prima Isabella;
aos meus avós, tios e primos;
e aos meus melhores amigos.*

Víctor Hugo Tavares Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter mantido minha sanidade mental durante a execução deste trabalho, pelo dom da vida, pela oportunidade e por me conceder paciência e força, para sempre prosseguir e insistir mesmo com inúmeras adversidades. Sou grato aos meus pais Milton e Romilda, meu irmão Rodrigo e minha avó Maria pelo incentivo aos estudos e pelo apoio incondicional, ao meu avô José, e aos meus avós Helena e Aparício que hoje me apoiaram lá do céu. Agradeço aos meus tios e primos por todo o apoio, e faço menção especial ao meu tio João pelas essenciais caronas até outras cidades para que pudéssemos concluir este projeto.

Agradeço especialmente a minha prima, amiga e parceira neste projeto, Isabella Vitória, por todos esses anos que crescemos juntos e juntos construímos este projeto, e que mesmo dividindo mês de aniversário, sobrenomes e várias histórias agora dividiremos a mesma profissão.

Agradeço o nosso orientador Robson Félix pela sua dedicação e paciência durante o projeto. Seus conhecimentos fizeram grande diferença no resultado final deste trabalho. Ao professor Vilson Dalla pela disposição em ajudar, pelas sugestões e pelas valiosas contribuições dadas durante a execução dos ensaios. Aos demais professores que contribuíram para a minha formação e funcionários da FACEG.

Agradeço pelos meus amigos Almir Júnior, Isadora Couto, Sara Santos, Ana Clara, Samara Aline, Alessandra Beatriz, Matheus Lucas, Ellen Vânia, Mikaelly Silva, João Henrique, Danilo Rodrigues, Felipe Isaac, Karolayne Silva, Ticiane Ferreira e Darley Moreira por todos os momentos juntos, conselhos, broncas, apoio e pelo amor que sinto deles. Agradeço em especial a Isabella Marry que me ajudou muito com dicas, com o planejamento e conselhos sobre este trabalho e não me deixou trancar a faculdade.

Aos meus amigos de graduação Carolina Ribeiro que tanto nos ajudou desde o início e que serei eternamente grato, José Bento pela eterna amizade e por toda a força, Neliana Rezende, Déborah Sousa, Ana Luíza, Andrielly, Adeyler Filho, Raquel Campos e Kauanhy, pela amizade, companheirismo, apoio e pelos momentos de descontração. Posso dizer que aprendi lições valiosas com cada um deles e que, com certeza, levarei muito de cada um comigo. Os demais colegas do curso de Engenharia Civil da FACEG, que não citarei nominalmente, muito obrigado por constituírem importante papel na minha formação.

“Feliz do homem que encontrou a sabedoria, daquele que adquiriu a inteligência, porque mais vale esse lucro que o da prata, e o fruto que se obtém é melhor que o fino ouro.”
Provérbios 3: 13,14

RESUMO

A construção civil é responsável por causar impactos ambientais, especialmente com geração de resíduos e extração de matéria-prima, sendo viável a busca por alternativas que diminuam tais desvantagens. Nessas perspectivas, a areia artificial proveniente da britagem de rochas calcárias é uma opção como substituinte da areia natural, que apresenta viabilidade econômica e ambiental, pois além de reaproveitar os resíduos da produção de agregado graúdo e diminuir a retirada do recurso natural, possui um valor mais acessível. Dado o exposto, o presente trabalho justificou-se na falta de dados experimentais acerca da utilização da areia proposta e teve o intuito de analisar a viabilidade técnica e econômica do seu uso em argamassas de revestimento. A pesquisa baseou-se em referenciais teóricos e ensaios normatizados, sendo eles: ensaio de consistência, ensaio de resistência à compressão axial e ensaio de resistência à tração na flexão; além de ensaios para caracterização dos agregados: granulometria, massa específica, massa unitária, volume de vazios e teor de material pulverulento. Para tanto, após caracterizar os agregados, foram confeccionados corpos-de-prova com com 0, 25, 50, 75 e 100% de substituição, com relações a/c de 1 e 1,3, totalizando dez traços. Após os resultados relativos à viabilidade técnica, foi feita uma cotação com fornecedores da região. Ao analisar os dados obtidos, observou-se que o tratamento mais resistente foi o composto por 75% de areia britada e 25% de areia natural. Além disso, constatou-se que no que diz respeito a caracterização dos agregados, o pó de brita se enquadra nos padrões exigidos, consumindo uma maior quantidade de água para atingir a trabalhabilidade ideal. Por fim, o material provou-se viável quando usado na quantidade citada, visto que, além de reduzir custos e impactos ambientais, possui um desempenho técnico aceitável.

Palavras chave: areia de britagem; rocha calcária; argamassa de revestimento; viabilidade técnica; economia; sustentabilidade.

ABSTRACT

Civil construction is responsible for causing environmental impacts, especially with the generation of waste and extraction of raw materials, making it viable to search for alternatives that reduce these disadvantages. In these perspectives, the artificial sand from the crushing of limestone rocks is an option as a substitute for natural sand, which is economically and environmentally viable, as in addition to reusing the residues from the production of coarse aggregate and reducing the removal of the natural resource, it has a value more affordable. Given the above, this work was justified by the lack of experimental data on the use of the proposed sand and aimed to analyze the technical and economic feasibility of its use in coating mortars. The research was based on theoretical references and standardized tests, namely: consistency test, axial compression strength test and bending tensile strength test; in addition to tests to characterize the aggregates: particle size, specific mass, unit mass, void volume and powdery material content. Therefore, after characterizing the aggregates, specimens were made with 0, 25, 50, 75 and 100% replacement, with w/c ratios of 1 and 1.3, totaling ten lines. After the results relating to technical feasibility, a quotation was made with suppliers in the region. By analyzing the data obtained, it was observed that the most resistant treatment was composed of 75% crushed sand and 25% natural sand. In addition, it was found that with regard to the characterization of aggregates, the crushed stone fits the required standards, consuming a greater amount of water to achieve ideal workability. Finally, the material proved to be viable when used in the aforementioned quantity, since, in addition to reducing costs and environmental impacts, it has an acceptable technical performance.

Keywords: crushing sand; limestone rock; coating mortar; technical viability; and economics; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Agregado miúdo de pedra britada.....	14
Figura 2 - Camadas de revestimento de argamassa.....	26
Figura 3 - Fluxograma das etapas metodológicas.	30
Figura 4 - Cimento para uso geral.	30
Figura 5 - Areia natural no pátio da FACEG.	31
Figura 6 - Britagem na indústria Pirecal (a) e resíduo do processo de britagem (b).....	31
Figura 7 - Areia natural armazenada.	32
Figura 8 - Areia artificial armazenada.	32
Figura 9 - Amostras na estufa à 105°C.	33
Figura 10 - Peneiras granulométricas.	34
Figura 11 - Amostras da água de lavagem da areia natural.....	35
Figura 12 - Amostras da água de lavagem da areia de britagem.....	35
Figura 13 - Amostra de areia natural do frasco Chapman.....	36
Figura 14 - Recipiente com 1dm ³ de volume.	37
Figura 15 - Ensaio de massa unitária em areia natural.	38
Figura 16 - Ensaio de massa unitária em areia artificial.	38
Figura 17 – Vedalit.....	39
Figura 18 - Argamassadeira eletro-mecânica (a) e preparo da argamassa (b).	41
Figura 19 - Molde retirado e pronto para execução dos golpes (a) e espalhamento da massa sobre a mesa (b).	42
Figura 20 - Moldes de madeira.....	43
Figura 21 - Corpo-de-prova sendo moldado	43
Figura 22 - Corpos-de-prova desmoldados	44
Figura 23 - Corpo-de-prova submetido ao ensaio de resistência à tração na flexão (a) e depois de rompido (b).	44
Figura 24 - Corpos-de-prova para ensaio de resistência à compressão.....	45
Figura 25 - Corpo-de-prova submetido ao ensaio de resistência à compressão (a) e depois de rompido (b).	46
Figura 26 - Curva granulométrica	49
Figura 27 - Recipiente de 1 dm ³ (a), e preenchido com agregado natural (b) e artificial (c)...	52
Figura 28 - Índice de Consistência	53
Figura 29 - Resistência média à Tração na Flexão - 28 dias (MPa).....	55

Figura 30 - Regressão para doses de areia.....	57
Figura 31 - Resistência média à compressão - 28 dias (MPa).....	58
Figura 32 - Regressão para “Doses de Areia”.....	60
Figura 33 - Regressão para desdobramento de doses de areia em a/c A.....	62
Figura 34 - Regressão para desdobramento de doses de areia em a/c B.	63
Figura 35 - Curva Granulométrica 100% Areia Natural.	77
Figura 36 - Curva Granulométrica 25% Areia Artificial.....	78
Figura 37 - Curva Granulométrica 50% Areia Artificial.....	79
Figura 38 - Curva Granulométrica 75% Areia Artificial.....	80
Figura 39 - Curva Granulométrica 100% Areia Artificial.	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação de argamassas.	9
Quadro 2 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento.	12
Quadro 3 - Classificação dos revestimentos.	24
Quadro 4 - Espessuras admissíveis de revestimento interno e externo para parede.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporções de areia natural e areia artificial por traços.	32
Tabela 2 - Tratamentos para a produção das argamassas.	40
Tabela 3 - Porcentagem de massa retida acumulada.	48
Tabela 4 – Limites Recomendados segundo a NBR 7211/2009	48
Tabela 5 - Módulo de finura	50
Tabela 6 - Resistência à tração na flexão.	54
Tabela 7 - Análise de Variância.....	55
Tabela 8 - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade	56
Tabela 9 - Análise de Regressão para variável “Doses de areia”	56
Tabela 10 - Resistência à compressão	57
Tabela 11 - Análise de Variância	58
Tabela 12 - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade	59
Tabela 13 - Análise de Regressão para variável “Doses de Areia”	60
Tabela 14 - Análise de Variância – Em cada relação a/c	60
Tabela 15 - Resumo do Teste Tukey para relação A (a/c = 1,0)	61
Tabela 16 - Resumo do Teste Tukey para relação B (a/c = 1,3)	61
Tabela 17 -Análise de Regressão para o desdobramento de “Doses de Areia” em a/c	62
Tabela 18 - Valor unitário médio de agregado miúdo	63
Tabela 19 - Distribuição Granulométrica 100% Areia Natural	77
Tabela 20 - Distribuição Granulométrica 25% Areia Artificial	78
Tabela 21 - Distribuição Granulométrica 50% Areia Artificial	79
Tabela 22 - Distribuição Granulométrica 75% Areia Artificial	80
Tabela 23 - Distribuição Granulométrica 100% Areia Artificial	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- a.C – Antes de Cristo
- ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ARI – Alta resistência inicial
- BC – Baixo calor de hidratação
- CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção
- CP – Cimento Portland
- CP II-E - Cimento Portland composto com escória
- CP II-F - Cimento Portland composto com fíler
- CP II-Z - Cimento Portland composto com pozolana
- CP I-S - Cimento Portland comum com adição
- CV - Coeficiente de Variação em %.
- DMC – Dimensão máxima característica
- DV – Desvio padrão
- FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia
- FV - Fontes de Variação
- GL - Graus de Liberdade,
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ISO – *International Organization for Standardization*
- MF – Modulo de finura
- NBR – Normas Brasileiras Regulamentadoras
- NBR NM – Norma Brasileira Regulamentadora - Norma Mercosul
- NBR NM ISSO - *International Organization for Standardization*
- ONU - Organização das Nações Unidas
- pH – potencial hidrogeniônico
- PIB – Produto Interno Bruto
- Pnad – Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios
- QM - Quadrado Médio
- RS – Resistente a sulfatos
- SINDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção Civil
- SQ – Soma dos Quadrados

LISTA DE SÍMBOLOS

- % - Por cento
- a/c – água/cimento (adimensional)
- °C – Grau Celsius
- MPa – Mega pascal
- N - Newtons
- μm – Micrômetro
- mm – Milímetros
- dm - Decímetros
- cm – centímetros
- m – metros
- g – Gramas
- kg – Quilogramas
- ml – Mililitros
- V – Volume
- R_f -Resistencia à tração na flexão
- F_f - Carga Aplicada no ensaio de tração na flexão
- R_c – Resistencia à compressão
- F_c – Força máxima aplicada no ensaio de compressão
- $\rho_{ap\ AN}$ – Massa unitária da areia natural (kg/m^3)
- $\rho_{ap\ AB}$ – Massa unitária da areia britada (kg/m^3)
- ρ_w - Massa específica da água (kg/m^3)
- E_v – Índice de volume de vazios (em porcentagem)
- μ - Massa específica (g/cm^3)
- μ_{AN} - Massa específica da areia natural (g/cm^3)
- μ_{AB} - Massa específica areia britada (g/cm^3)
- d1 - Massa específica do agregado seco
- m_{AN} – teor pulverulento de areia natural
- m_{AB} - teor pulverulento de areia britada
- Mf –Módulo de finura (adimensional)
- Σ - Somatório
- H_0 – Hipótese nula - média igual(adimensional)
- H_1 –Média diferente(adimensional)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo Geral	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
2 REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL	5
2.1.1 Impactos econômicos e ambientais causadas pela extração de areia.....	7
2.2 HISTÓRICO DA ARGAMASSA	7
2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS	9
2.3.1 Argamassa de Cal	10
2.3.2 Argamassa de Cimento	10
2.3.3 Argamassa Mista	10
2.4 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	10
2.4.1 Materiais Constituintes da Argamassa de Revestimento.....	11
2.4.1.1 Cimento	11
2.4.1.2 Agregados Miúdos	13
2.4.1.3 Agregado Miúdo de Pedra Britada.....	14
2.4.1.4 Água	16
2.4.2 Funções das argamassas de revestimento.....	16
2.4.3 Propriedades das argamassas de revestimento.....	17
2.4.3.1 Estado Fresco	17
2.4.3.1.1 <i>Massa Específica e Teor de Ar</i>	18
2.4.3.1.2 <i>Trabalhabilidade, Consistência e Plasticidade</i>	18
2.4.3.1.3 <i>Retenção de Água e Exsudação</i>	20
2.4.3.1.4 <i>Aderência Inicial</i>	21
2.4.3.1.5 <i>Coesão</i>	22
2.4.3.1.6 <i>Retração na Secagem</i>	22
2.4.3.2 Estado Endurecido	23
2.4.3.2.1 <i>Resistência Mecânica</i>	23
2.4.3.2.2 <i>Durabilidade</i>	23
2.4.3.2.3 <i>Permeabilidade</i>	24

2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS	24
2.5.1 Chapisco	26
2.5.2 Emboço	26
2.5.3 Reboco	27
2.5.4 Massa única	27
2.6 DOSAGEM DA ARGAMASSA	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	29
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	30
3.2.1 Cimento	30
3.2.2 Agregados Miúdos	31
3.2.2.1 Composição granulométrica	33
3.2.2.2 Teor de material pulverulento	34
3.2.2.3 Massa específica.....	36
3.2.2.4 Massa unitária e volume de vazios.....	37
3.2.3 Água	39
3.2.4 Aditivo	39
3.3 DEFINIÇÃO DO TRAÇO	40
3.4 PREPARO DA ARGAMASSA	40
3.4.1 Ensaio de consistência	41
3.4.2 Ensaio de resistência à tração na flexão	42
3.4.3 Ensaio de resistência à compressão.....	45
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	46
3.6 ANÁLISE DE CUSTO.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS	48
4.1.1 Granulometria	48
4.1.2 Teor de material pulverulento.....	50
4.1.3 Massa específica.....	51
4.1.4 Massa unitária e volume de vazios.....	52
4.2 ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	53
4.2.1 Índice de Consistência	53
4.3 ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	54
4.3.1 Resistência à tração na flexão.....	54

4.3.1.1	Análise Estatística.....	55
4.3.2	Resistência à compressão	57
4.3.2.1	Análise Estatística.....	58
4.4	ANÁLISE DE CUSTO.....	63
5	CONCLUSÕES.....	65
5.6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	67
	APÊNDICE A	77

1 INTRODUÇÃO

É indiscutível a tamanha importância da construção civil, tanto economicamente, quanto socialmente. Tal fato é confirmado pelos dados da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (Pnad), divulgada pelo IBGE, constando que, mesmo em meio à pandemia causada pelo coronavírus SARS-CoV-2, o setor gerou cerca de 574 mil novos empregos, no período de julho de 2020 à outubro do mesmo ano. Ademais, apresentou 10,7% de crescimento, justificado pelos juros baixos e financiamentos facilitados, acarretando em uma variação positiva de 5,8% no PIB, em relação ao ano anterior (Banco de Dados - CBIC, 2020).

Em contrapartida, conforme Besen e Silva (2017), trata-se de uma atividade responsável por 50% da extração de recursos naturais, além de gerar resíduos, causando impactos ambientais significativos ao longo de toda sua cadeia produtiva. Sendo assim, ao ter o setor impulsionado, faz-se necessário atentar-se à adoção da sustentabilidade, visto que, segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, os resíduos advindos de construções e demolições aumentaram 11,5 milhões de toneladas na última década, alcançando 44,5 milhões em 2019 (ABRELPE, 2020).

Entre as principais problemáticas, destaca-se o uso do concreto, segundo material mais utilizado no processo de edificações (BEZERRA, 2019). Desta forma, o material é responsável por grande parte da extração dos recursos naturais, composto por cimento Portland, brita, areia e água, sendo estes, agregados retirados da natureza em larga escala, com aproximadamente 220 milhões de toneladas destinados à produção do material, propiciando futuros problemas ambientais (LARUCCIA, 2014).

Por conseguinte, com o aumento significativo de obras ativas, o consumo de cimento no Brasil sofreu um acréscimo de 430.831 toneladas no primeiro semestre de 2020 em relação ao mesmo período do ano anterior, segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2020). Consequentemente, o consumo da areia utilizada em concretos e argamassas junto com o cimento também aumentou, sendo viável buscar alternativas para substituí-la visto que, ao ser extraída provoca erosão nos rios, fato que deve ser evitado, devido à escassez e limitação desse recurso natural (SANKH *et al*, 2014).

Nessas perspectivas, adicionando as leis implantadas que restringem a extração, a fiscalização da exploração, a falta de areias de boa qualidade e o valor final do agregado, surgiu a possibilidade da utilização do pó de brita como agregado miúdo (MATOS, ALLEM, PIVA, 2017).

Quanto ao pó de brita, também conhecido como areia artificial, industrial ou de britagem, segundo Tokarski (2017), trata-se de uma opção que apresenta viabilidade ambiental e econômica, visto que, além de diminuir a extração das areias e aproveitar resíduos da produção do agregado graúdo, possui um valor mais acessível. Além disso, o material tem sido utilizado como substituinte desde o século XIX, em países como Canadá e Estados Unidos, comprovando sua eficácia.

No entanto, os estudos e testes já realizados, em grande maioria, analisam seu comportamento em relação ao concreto, e não à argamassa utilizada em revestimentos como reboco, chapisco ou assentamento de cerâmica. Assim como o concreto, a argamassa também possui sua importância em uma construção e também utiliza os recursos naturais, portanto, também deve ser considerada em estudos para a ampliação da sua sustentabilidade (RIBEIRO *et al*, 2016).

Levando em consideração esses aspectos, é válido e necessário divulgar pesquisas que analisem e comprovem o desempenho da argamassa destinada ao reboco, feita com substituição total e parcial da areia natural pela areia artificial, a fim de verificar os resultados apresentados por cada traço, determinando a melhor porcentagem de uso do material, garantindo sua eficácia. Logo, suas propriedades devem ser mantidas, sendo elas: aderência, estabilidade volumétrica e trabalhabilidade, para que o revestimento cumpra sua função de vedar o emboço, dando o acabamento correto e com a resistência adequada (DACHERY, 2015).

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento do setor da construção civil, ao passo que há um aumento da dependência e extração da areia natural, ambientalistas têm se preocupado com a destruição dos ecossistemas fluviais e aos desequilíbrios ambientais. Além disso, a areia natural disponível está se tornando mais cara devido a sua escassez (SINGH *et al*, 2018). Assim, surge a necessidade de encontrar alternativas sustentáveis que possam substituir a areia natural e que atenda a demanda desse material nas construtoras, com custo viável para aquisição, transporte e manejo, e que, principalmente, atenda às características físicas necessárias para uso, prescritas pelas normas regulamentares para uso em edificações.

Nos últimos anos, o uso de areia artificial de brita no concreto aumentou significativamente, especialmente em áreas onde as areias naturais são escassas (NANTHAGOPALAN E SANTHANAM, 2010). A grande disponibilidade de fontes desse material oferece flexibilidade aos canteiros de obras, reduzindo assim os custos de transporte e garantindo o fornecimento oportuno para atender à demanda.

A indisponibilidade de espaço físico, bem como superlotação dos aterros sanitários ou até mesmo elevados custos de implantação dos mesmos, diversas indústrias apresentam a opção de utilizar resíduos como fonte alternativa, auxiliando na redução de despejo de resíduos nos aterros. Caso não seja colocado em prática uma ação viável que aproveite tecnicamente os resíduos de britagem de rochas, o Brasil terá futuramente sérios problemas ambientais com o setor (BACARJI E TOLEDO FILHO, 2012).

Segundo Tokarski (2017), a areia de britagem possui características físicas e químicas favoráveis ao seu uso nas argamassas. Contudo, poucas aplicações de areia manufaturada podem ser vistas na indústria da construção, devido principalmente à falta de conhecimento sobre a eficácia dos diferentes tipos de areia.

O desconhecimento da produção e possibilidade de utilização de areia alternativa na construção civil é um grande obstáculo. Neste contexto é de extrema importância a obtenção de dados experimentais que expliquem as características e propriedades sobre diferentes tipos de areias alternativas devem ser gerados para que o governo e o setor privado da construção possam reconhecê-los.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa é analisar a viabilidade técnica, ambiental e econômica da produção de argamassa para revestimento por meio da substituição parcial ou total da areia fina natural por areia alternativa.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a composição granulométrica para cada tratamento, afim de observar as alterações em cada substituição em relação ao agregado natural
- Moldar corpos de prova para ensaio de consistência, resistência à tração na flexão e resistência à compressão.
- Determinar a porcentagem de areia de britagem mais viável para ser utilizada na argamassa de revestimento, que mantenha as especificações exigidas pelas normas regulamentares;
- Analisar a viabilidade econômica da substituição da areia natural por de areia de pó de brita;

- Contribuir com a pesquisa e análise para substituir parcial ou totalmente a areia natural por areia alternativa para estimular a sustentabilidade, reduzindo a extração em fontes naturais.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A organização deste trabalho se deu em cinco capítulos. O primeiro introduz as informações básicas do trabalho, bem como a sua importância e objetivos ao desenvolvê-lo. No capítulo seguinte, têm-se uma revisão bibliográfica acerca das características e uso das argamassas de revestimento, além dos materiais constituintes. No terceiro capítulo explana-se as etapas e os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa e aquisição de dados, tais como materiais utilizados, normas seguidas, e ensaios realizados para caracterização dos mesmos e das argamassas produzidas. Já o capítulo 4 conta com os resultados obtidos através dos ensaios realizados, e a análise dos dados apresentados. Por fim, o quinto e último capítulo apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Desde os primórdios, o homem usa a natureza para satisfazer suas necessidades, bem como para se desenvolver economicamente e socialmente, propagando uma ideia de que tal ato era correto. No entanto, criou-se uma sociedade consumista, baseada em extração, produção, utilização e descarte, um ciclo vicioso que gera efeitos negativos no meio ambiente, bem como na sociedade, visto que tais impactos prejudicam a mesma, em prol de questões econômicas. Deste modo, a sustentabilidade surge, objetivando conciliar natureza e sociedade, baseando-se em escolhas que sejam viáveis ecologicamente, economicamente e socialmente (BORTOLUZZI, 2017).

Em específico, ser ecologicamente viável trata-se de evitar a extração dos materiais e o descarte de resíduos, além de reutilizá-los e reciclá-los sempre que possível, excluindo o descarte desnecessário. Quanto aos aspectos econômicos, deve atentar-se para que a adoção das medidas sustentáveis não ultrapasse significativamente os custos das ações insustentáveis, para tanto, é necessário planejamentos e orçamentos, a fim de realizar melhores escolhas. Ademais, deve-se ressaltar que todos devem se conscientizar, visto que para a plena execução do processo, todos devem colaborar (BORTOLUZZI, 2017).

Os problemas no âmbito ambiental ganharam atenção apenas no século XX (OLIVEIRA *et al*, 2019). Gro Harlem Brundtland, ex-ministra da Noruega, foi a primeira a definir o conceito de desenvolvimento sustentável, em 1987, afirmando tratar-se, em resumo, de um desenvolvimento que seja capaz de suprir as necessidades atuais, não afetando que as necessidades futuras também sejam atendidas (BORTOLUZZI, 2017). Costa e Rezende (2015), afirmam que tal terminologia veio da expressão “ecodesenvolvimento”, idealizada nos anos 70, na Conferência de Estocolmo. Com base neste evento, a atenção, até então voltada apenas para a economia, foi direcionada para âmbitos ambientais e sociais, iniciando pesquisas a fim de alcançar o equilíbrio já citado (OLIVEIRA *et al*, 2019).

Segundo a Fundação Nacional da Qualidade (2017) o termo diz respeito à imprescindibilidade de compatibilizar o desenvolvimento econômico e a preservação dos recursos naturais e dos ecossistemas. Já a Organização das Nações Unidas defende uma definição mais ampla, afirmando que a sustentabilidade está interligada à várias ações que visam uma melhor qualidade de vida, erradicando a pobreza e preservando o meio ambiente, atendendo as presentes e futuras gerações (ONU, 2018).

No Brasil, a ideia se difundiu a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992, na qual foi discutido acerca da importância da implantação de práticas sustentáveis em qualquer ramo. Desse evento, teve-se a Agenda 21, com o intuito de planejar ações para modificar a forma de desenvolvimento convencional existente. Na mesma década, instituiu-se também as normas ISO 14000 e a série ISO 9000, além do conceito de ecodesign, promovendo um avanço significativo na sustentabilidade desejada (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Dados do SINDUSCON (2013) revelam que 40% dos agregados graúdos e miúdos (pedras e areia) e 25% da madeira extraídos por ano é de responsabilidade da indústria em questão, bem como 40% da geração de resíduos sólidos no país. Dessa forma, é notório que a plena sustentabilidade não foi alcançada em território brasileiro, conforme afirma Bortoluzzi (2017). O mesmo defende ainda que as iniciativas, no entanto, são interrompidas devido à custos, ausência de mão de obra qualificada, processos de fornecedores, materiais e matérias-primas adequados, falta de políticas urbanas, entre outros desafios.

Nessas perspectivas, na década de 1990, surgiu o conceito de “construção sustentável”, considerando os impactos advindos da construção civil em toda sua cadeia produtiva. Sendo assim, devido aos resíduos gerados e a exorbitante extração de recursos naturais, o segmento veio a ser um dos principais necessitados da implantação da sustentabilidade (NETO e ALCÂNTARA, 2015). Para Reichert *et al.* (2017), construção sustentável refere-se à adoção das premissas do desenvolvimento sustentável em toda a vida útil das obras que compõem o ambiente construído.

Com o decorrer do tempo a construção civil precisou adaptar-se às certificações e normativas, adotando medidas visando menos desperdício, materiais mais duráveis, recicláveis e reaproveitáveis, preservação dos recursos não renováveis, entre outros (BORTOLUZZI, 2017). Para tanto, as inovações tecnológicas viabilizam a prática do planejamento em questão, desenvolvendo formas que reduzem, principalmente, o consumo dos recursos naturais e energéticos (SINDUSCON, 2013).

Vale ressaltar que as bioconstruções provém não só da análise das questões econômicas e ambientais, mas também depende do engajamento de todos os indivíduos responsáveis ao longo do processo (REICHERT *et al.*, 2017). Entre as premissas básicas, estão a satisfação às normas, legislação e necessidade dos usuários, análise do local e da cadeia produtiva da edificação, planejamento integrado, adaptação ao clima do local, uso racional energético e material, redução do consumo hídrico, viabilidade financeira, uso tecnológico e a

conscientização dos envolvidos, priorizando a saúde e o bem-estar dos ocupantes, sem abrir mão da qualidade (ARANHA, 2018).

2.1.1 Impactos econômicos e ambientais causadas pela extração de areia

É inegável a participação significativa dos recursos naturais para com o desenvolvimento econômico brasileiro, destacando-se a areia, um material empregado em grande escala na construção civil, tanto em revestimentos, assentamentos e concreto, quanto na produção de materiais utilizados como por exemplo, os vidros (SILVA, 2016).

Sendo assim, tem-se que tal mineração gera renda e empregos diretos e indiretos, como o trabalho braçal na construção, transportadores, fornecedores, entre outros (MORONI, 2015). Além disso, os impostos advindos da atividade aumentam a receita, acarretando em melhor condição de vida da população ao serem revertidos em prol do bem estar de todos (MORAIS E SPERANDIO, 2020). No entanto, apesar de influenciar positivamente o desenvolvimento socioeconômico, a extração é responsável por degradar a fauna e a flora (VIEIRA E REZENDE, 2015).

Entre as consequências ambientais, pode-se citar escassez de jazidas, modificações da topografia e de fluxos hidráulicos, desmatamentos, erosão no solo, assoreamento dos rios, poluição, entre outros, advindos, principalmente, da busca incessante pelo lucro, abstendo-se da adoção de ações sustentáveis (MORAND, 2016).

Sendo assim, considerando a notória relevância em âmbitos econômicos e sociais, faz-se necessário a implementação de medidas sustentáveis, a fim de obter-se uma integração entre os três pilares básicos, gerando lucro sem atingir drasticamente a paisagem, o meio ambiente e a qualidade de vida, reduzindo os impactos negativos e preservando este recurso finito (PINHEIRO, 2016).

2.2 HISTÓRICO DA ARGAMASSA

A NBR 13281 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos, define argamassa como sendo uma mistura que apresenta aderência e endurecimento, homogênea, composta por água, aglomerantes inorgânicos e agregados miúdos, podendo conter aditivos (ABNT, 2005).

Tal material é utilizado desde a pré-história, visto que se tem registros do seu uso em 9.000 a.C, há mais de 10.000 anos atrás, devido à demanda por algo que ligasse as pedras utilizadas para a construção de locais protegidos, que até então eram instáveis (LEAL, 2012).

Dessa forma, começaram a utilizar uma mistura de barro e água, a primeira argamassa produzida, a fim de imobilizar as pedras empilhadas. No entanto, não apresentava a resistência desejada e com o passar do tempo os antepassados verificaram que o calcário e o gesso, após contato com o calor, se tornavam ligantes mais resistentes em contato com água, fato que possibilitou a posterior criação do primeiro aglomerado não hidráulico, a cal hidratada (ALMEIDA, 2012).

Com o intuito de aperfeiçoar as técnicas construtivas, controlando o tempo de pega, aumentando a durabilidade e hidráulidade, os romanos passaram a utilizar argamassas de cal aérea, compostas por cinzas vulcânicas, agregados como seixo rolado, partes de tijolo ou telha e materiais orgânicos (gorduras) (LEAL, 2012). Não obstante, foram pioneiros no uso de aditivos, adicionando sangue, banha e o leite, elementos que possibilitavam a entrada de ar na argamassa (HERMANN E ROCHA, 2013).

John Smeaton, engenheiro, iniciou pesquisas acerca de ligantes hidráulicos com o objetivo de evitar a deterioração que ocorria em locais marítimos, aplicando seus estudos no 4º farol de Eddystone, localizado na Inglaterra, sendo a primeira edificação levantada utilizando-se as argamassas hidráulicas. Vale ressaltar que o desenvolvimento da produção do cimento se deve ao mesmo profissional, no entanto, o cimento Portland foi patenteado por Joseph Aspdin, após a morte de John (LEAL, 2012).

Com isso, a cal foi parcialmente substituída pelo cimento, visto que garantiam maior resistência em menos tempo, fato que difundiu rapidamente sua utilização, tornando-se o principal ligante utilizado, especialmente em rebocos (MARGALHA, 2011).

A partir das posteriores inovações tecnológicas nos materiais de construção, novas composições de argamassas são inventadas até hoje, visando opções que sejam viáveis pelo ponto de vista econômico, ambiental e técnico, melhorando as propriedades físicas e químicas. Exemplificando, tem-se as argamassas industrializadas, criadas no século XX, dosadas fora da obra, sendo necessário apenas adicionar água, facilitando o processo e fornecendo maior precisão quanto à dosagem, garantindo maior qualidade (SILVA E MELO, 2018).

No Brasil, os primeiros registros de utilização da argamassa são datados do século XVI, no assentamento de alvenaria de pedra. O material era obtido a partir da queima de conchas e mariscos e o óleo de baleia era usado como aglomerante. Atualmente, trata-se de um material imprescindível para revestimentos e assentamentos (NASCIMENTO, 2019).

2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

De acordo com a NBR 13529 (1995) e Carasek (2007) *apud* Diógenes (2016), as argamassas podem ser classificadas com base em diversos critérios, como natureza, tipo e número de aglomerante, consistência, densidade de massa, propriedades, funções e forma de preparo. Tal classificação está detalhada no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação de argamassas.

Critérios de classificação	Tipo
Natureza do aglomerante	Argamassa aérea Argamassa hidráulica
Tipo de aglomerante	Argamassa de cal Argamassa de cimento Argamassa de cimento e cal Argamassa de gesso Argamassa de cal e gesso
Número de aglomerantes	Argamassa simples Argamassa mista
Consistência da argamassa	Argamassa seca Argamassa plástica Argamassa fluida
Densidade de massa da argamassa	Argamassa leve Argamassa normal Argamassa pesada
Propriedades	Argamassa de revestimento Argamassa comum Argamassa aditivada Argamassa colante Argamassa de aderência melhorada Argamassa de proteção radiológica Argamassa hidrófuga Argamassa de permeabilidade reduzida Argamassa termoisolante
Função	Argamassa de chapisco Argamassa de reboco
Forma de preparo ou fornecimento	Argamassa preparada em obra Mistura semipronta para argamassa Argamassa industrializada Argamassa dosada em central

Fonte: ABNT. NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. 1995.

Segundo Ferreira (2014), a classificação mais utilizada em obra diz respeito ao tipo de aglomerante empregado, principalmente as argamassas de cal, de cimento e mistas. Enquanto

a maior proporção de cimento proporciona resistência mais elevada, a maior proporção de cal gera maior trabalhabilidade e resiliência.

2.3.1 Argamassa de Cal

Também chamada de argamassa intermediária, é constituído por cal, agregado miúdo e água. Os vazios são preenchidos pela pasta de cal, melhorando a plasticidade e a retenção de água, além de possibilitar planeza e regularização no acabamento (PAIXÃO, 2013).

Segundo Ferreira (2014), devido a plasticidade, condições de endurecimento e elasticidade, é destinado ao emboço, reboco ou em alvenarias de vedação.

2.3.2 Argamassa de Cimento

Segundo Milagres *et al.* (2018), argamassa de cimento é aquela composta por agregado miúdo, água e apenas o cimento Portland como aglomerante, acarretando em alta resistência mecânica rapidamente, no entanto, baixas condições de trabalhabilidade e retenção de água.

Suas propriedades se adequam melhor quando aplicadas para chapisco a ser executado nas paredes e estruturas de concreto, aumentando a resistência de aderência. Além disso, também são utilizadas em pisos que precisam suportar mais carga, como em indústrias e estacionamentos, em revestimentos internos de reservatórios hidráulicos, entre outros (FERREIRA, 2014).

2.3.3 Argamassa Mista

Uma junção das anteriores, a argamassa mista é composta por dois aglomerantes, sendo cimento, cal, agregado miúdo e água. Geralmente, na proporção de 1:1:6 (cimento : cal : agregado miúdo) para ambientes externo e 1:2:9 para ambientes internos (MILAGRES *et al.*, 2018). Sua aplicação é mais comum em revestimentos e assentamento de alvenaria (FERREIRA, 2014).

2.4 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Segundo a NBR 13529 - Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Classificação (ABNT, 2013), os revestimentos são formados por uma ou mais camadas argamassadas, aplicados em paredes e tetos a fim de fornecer melhor acabamento estético e/ou atender as especificações de conforto térmico e acústico necessárias, além de proteger a alvenaria e a estrutura das intempéries e favorecer a resistência ao desgaste, abalos superficiais

e ao fogo, conforme afirma Carasek (2007) *apud* Heemann (2014). Em complemento, a NBR 13529 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia, define o sistema de revestimento, como sendo uma junção de revestimento de argamassa e acabamento decorativo, em harmonia com as condições de exposição, acabamento final e natureza de base especificados no projeto (ABNT, 2013).

Ferreira (2014) define que argamassas de revestimento são constituídas por uma combinação homogênea de agregado miúdo, água e um ou mais aglomerantes, com ou sem aditivos, feita *in loco* ou industrializada, destinada à regularização da vedação, impermeabilização e acabamento. Tal mistura apresenta aderência e endurecimento, conforme a NBR 7200 - Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento (ABNT, 1998). Ademais, Sabbatini (1986) *apud* Heemann (2014) afirma que o material é destinado majoritariamente ao acabamento das paredes de concreto, de alvenaria e nos tetos, requisitando apresentar também resistência mecânica, plasticidade e coesão, trabalhabilidade e durabilidade. A norma também especifica que as exigências relacionadas à planeza, prumo e nivelamento devem ser atendidas.

De acordo com Brito (2016) diz que o revestimento de argamassa diz respeito ao resguardo de uma superfície, com espessura uniformizada, possibilitando a posterior execução do revestimento estético desejado. O autor também ressalta a notória importância das argamassas, afirmando que a mesma auxilia em 50% o isolamento acústico, 30% o isolamento térmico e 100% na estanqueidade da vedação.

Vale ressaltar que o revestimento argamassado não deve conter imperfeições em sua textura, sendo uniforme sem fissuras, manchas ou cavidades, conforme prescrito na NBR 13749 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação (ABNT, 2013).

Conforme Jochem (2012), no estado fresco, as argamassas de revestimento devem contar com a trabalhabilidade, plasticidade, viscosidade, consistência e adesão inicial. Já o estado endurecido, faz-se necessário a baixa retração e permeabilidade, aderência adequada, absorção de deformações e resistência mecânica.

2.4.1 Materiais Constituintes da Argamassa de Revestimento

2.4.1.1 Cimento

O cimento é um composto aglomerante com propriedade aglutinante, com capacidade de unir minérios fragmentados em uma pasta compacta (HEEMANN, 2014). De acordo com a NBR 16697, o cimento Portland é definido como um ligante hidráulico obtido por trituração de

clínquer Portland ao qual, durante sua produção, é adicionada a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e aditivos minerais em um teor padrão especificado pela norma (ABNT, 2018). A mistura calcinada constituída basicamente de silicatos hidráulicos de cálcio tem suas propriedades resultantes modificadas no produto final decorrente da moagem com uma quantidade pequena de sulfato de cálcio (GUIMARÃES, 1997 *apud* SILVA, 2013).

As análises das antigas construções egípcias indicaram gesso impuro calcinado em sua composição e calcário calcinado em construções da Grécia e Roma, o que indica que a utilização de cimento é remota (HEEMANN, 2014).

A descoberta mais próxima do cimento utilizado atualmente foi em 1756, quando o engenheiro John Smeaton procurava por um aglomerante que endurecesse mesmo em presença de água, e observou que a mistura calcinada de calcário e argila tinha a mesma resistência das pedras de construção. No entanto, a descoberta foi patenteada em 1824 pelo pedreiro Joseph Aspdin, e recebeu o nome de Portland em homenagem à Portland Stone – um tipo de arenito amplamente utilizado na construção civil em Portland, na Inglaterra. O pedido de patente afirmava que o calcário fosse triturado com argila em ambiente úmido até se transformar em pó. A água era evaporada ao ser exposta à luz solar ou por irradiação de calor através de cano com vapor. Os pedaços da mistura desidratada eram calcinados na estufa e depois moídos (SILVA, 2006).

Atualmente o cimento Portland é uma das principais matérias primas utilizadas na construção civil mundial, sendo usado inclusive como base para verificação do índice econômico de uma região (CINTRA, 2013).

Segundo a NBR 16697, os cimentos Portland são designados por seu tipo, que correspondem a adições e propriedades especiais, conforme Quadro 2 (ABNT, 2018). Quando novos compostos são adicionados, a composição química do cimento Portland pode ser alterada, formando derivados de cimento que aumentam ou melhoram algumas de suas propriedades como resistência ou tempo de cura. Os compostos mais comuns são adições de fíler, calcário, pozolanas – provenientes de rochas vulcânicas –, e escória de alto forno (JACQUES, 2013).

Quadro 2 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento.

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de Resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b
	Com adição	CP I-S		
	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		

Cimento Portland composto	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI ^d	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 ^c	
	Não estrutural	CPB	-	-

a O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

c As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

d Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas nº 16697, 2018.

No Brasil existem diversos tipos de cimentos Portland com composições químicas e minerais diferentes. Os mais utilizados no país são os do tipo comum, composto, de alto forno e pozolânico (CINTRA, 2013).

2.4.1.2 Agregados Miúdos

A NBR 9935 define como agregado miúdo como um material sem formato ou volume definido, mas com dimensões e propriedades adequadas para a preparação da argamassa (ABNT, 2011). A NBR 7211 explica que os grãos miúdos são aqueles que passam pela abertura da peneira de malha de 4,75 mm e ficam retidos na abertura da peneira de malha de 150 µm (ABNT, 2009).

O agregado miúdo exerce importante função técnica na argamassa, exercendo uma boa influência sobre as propriedades de retração e resistência ao desgaste por abrasão, sem causar prejuízos a resistência aos esforços mecânicos. Seu uso também torna a argamassa mais econômica tendo em vista que o agregado custa menos do que o cimento. Nas misturas de argamassas, os agregados ocupam de 60 à 80% da porção total da mistura (ISHIKAWA, 2003; TEODORO, 2013; ARAÚJO, 2014).

Quanto a sua origem, podem ser naturais, encontrados particularmente na natureza em vários tipos de rocha sedimentares como arenito e siltitos, entre outras, ou metamórficas como os quartzitos, calcários e gnaisses; ígneas como o granito, sienitos, basaltos e diabásios, ou

artificiais, que são produzidos por processo industrial. Podem ser encontrados no seu estado solido ou granulares, fragmentados naturalmente ou por processos industriais (BAUER, 2012; TOKARSKI, 2017).

Para que o resultado obtido com o uso dos agregados miúdos em argamassas seja satisfatório, é necessário que as dimensões dos agregados sejam distribuídas gradualmente, promovendo o melhor aproveitamento do cimento, isto é, mantendo constante a resistência com o menor consumo de cimento possível, que é o insumo mais caro do concreto (VIACELLI, 2012). A composição da granulometria influencia as propriedades do concreto e da argamassa, pois, caso a areia não seja bem graduada, maior será o índice de vazios e, conseqüentemente, maior será o consumo da pasta cimento resultando um aumento na retração e no custo (VAZ, 2016).

2.4.1.3 Agregado Miúdo de Pedra Britada

O agregado miúdo de pedra britada (Figura 1), também denominado areia de britagem, pó de pedra, areia artificial ou industrial, é definido pela NBR 9935 (ABNT, 2011) como sendo um material pétreo (constituído de rochas ou pedras) advindo da fragmentação de rochas britadas (DRAGO *ET AL*, 2009 *apud* DIÓGENES, 2016).

Figura 1 - Agregado miúdo de pedra britada.



Fonte: Pirecal Calcário (2021)

O material é aplicado pelos países desenvolvidos desde o século passado. Já em território brasileiro, a hidrelétrica de Itaipú, nos anos 80, foi a pioneira na aplicação do mesmo.

Com isso, constataram-se as vantagens técnicas e econômicas da alternativa, difundindo-se como sendo uma opção bastante viável (GUACELLI, 2010).

Entre as rochas mais comuns para este fim, tem-se os granitos, calcários, gnaisses, dolomitos e basaltos, proporcionando distribuições granulométricas diferentes de acordo com a escolhida (VIERO, 2010). O tipo utilizado influencia em algumas propriedades, como dureza, absorção hidráulica e presença de impurezas.

O material, gerado através dos resíduos advindo da formação de agregado graúdo, vêm ganhando espaço nas edificações pelo seu menor custo e menor impacto ambiental, diferenciando-se da areia natural na forma, textura superficial das partículas e granulometria mais fina (DAMO, 2011). Além disso, trata-se de um método sustentável, visto que os resíduos provenientes da britagem, até então, eram pouco reaproveitados e, frequentemente, dispersos pelas águas e pelos ventos (KLEIN, 2008 *apud* DIÓGENES, 2016).

Conforme afirmado por Almeida (2004) *apud* Diógenes (2016), a areia artificial pode apresentar grande quantidade de material pulverulento, partículas menores que 0,075mm, influenciando na trabalhabilidade e na resistência à compressão, além de requerer mais água no traço ou o uso de aditivos incorporadores de ar. Afim de diminuir essa incidência, melhorando a qualidade do agregado, pode-se passa-lo por um processo úmido (CECHIN *et al.*, 2016).

Quanto à morfologia dos grãos, os que compõem o pó de brita apresentam maior angulosidade e menor arredondamento, fato que diminui a trabalhabilidade da mistura e é uma das limitações na aplicação do material. Por isso, profissionais buscam uma forma de torná-los mais esféricos, com mais singularidade com a areia natural, diminuindo o impacto observado anteriormente (GUACELLI, 2010).

Isto posto, para que a substituição seja feita de forma satisfatória, a areia de britagem deve apresentar granulometria adequada, bem como forma e textura dos grãos, resistência mecânica, estabilidade e ausência de impurezas (DUARTE, 2013). Para tanto, deve-se escolher corretamente o processo de britagem e peneiramento que serão utilizados, bem como o tipo de rocha, visto que o processo de produção controla fatores como a distribuição granulométrica, morfologia e módulo de elasticidade (ALMEIDA *et al.*, 2005 *apud* SILVA E BAO, 2014).

No que diz respeito às vantagens de tal substituição, tem-se minimização das agressões ambientais, proximidade entre produção e consumidor, baixo teor de umidade, economia financeira e características constantes (ALMEIDA, 2005 *apud* DIÓGENES, 2016).

2.4.1.4 Água

A NBR 6118 afirma que a água a ser empregada no preparo de argamassas e concretos deve ser potável - isenta de substâncias orgânicas, estranhas e prejudiciais. A presença de impurezas pode influenciar negativamente na qualidade da argamassa (NEVILLE, 1997 *apud* VIACELLI, 2012). A norma ainda orienta que a proporção de água adicionada à mistura nos traços deve considerar a umidade natural presente na areia e por isso, faz-se necessário a avaliação da umidade do agregado (ABNT, 2014).

Adicionar água à mistura de concreto e agregado reduz o atrito entre as partículas, promove a agregação da pasta de cimento ao agregado, consistências necessárias para que a argamassa em estado plástico seja produzida, transportada e assentada. Além disso, a reação química de hidratação que ocorre no cimento depende da água, que garante a resistência e durabilidade da argamassa (BASTOS, 2011; ISAIA, 2011). Em acordo, Tusset (2010) ressalta que a água confere trabalhabilidade à argamassa e hidrata o aglomerante promovendo as reações químicas necessárias para a coesão e endurecimento.

Grande parte da água utilizada na argamassa é perdida em forma de evaporação e por sucção do substrato, portanto a quantidade utilizada deve ser maior do que a necessária, garantindo a ocorrência das reações químicas e a trabalhabilidade do material (TUSSET, 2010).

2.4.2 Funções das argamassas de revestimento

De acordo com Sabatini (1994, *apud* TORASKI, 2014), dentre as funções que o revestimento possui, uma das principais é a de impedir a degradação precoce das vedações e das estruturas, protegendo-as da ação dos agentes agressivos, o que aumenta a durabilidade e diminui custos com manutenção predial. Carasek (2010), complementa essa ideia, dizendo que o revestimento tem que cumprir com o isolamento térmico e acústico da edificação, com a estanqueidade da água e manter segurança contra o fogo. No mesmo sentido, Faria (2010) afirma que a argamassa tem por função, fornecer uma camada protetora para as estruturas.

Conforme diz Moura (2007, *apud* DACHERY, 2015), além do revestimento exercer funções de proteção, também tem por função dar o acabamento estético aos elementos de estrutura e de vedação dos edifícios, regularizando as superfícies com um acabamento final que satisfaça os requisitos.

A escolha da argamassa deve levar em consideração as funções que o revestimento deve exercer, que podem ser comprometidas se não houver a execução correta da estrutura.

Além disso, cobrir grandes imperfeições da base onde será feito o revestimento não é função da argamassa (COSTA, I., 2016; DACHERY, 2015).

2.4.3 Propriedades das argamassas de revestimento

De acordo com Ferreira (2014), Diógenes (2016) e Peretto (2017), a argamassa de revestimento apresenta diversas propriedades, sendo considerada um importante material de construção.

Segundo Araújo Junior (2004 apud SALVI, 2017), as propriedades das argamassas podem ser divididas em adesivas e aglomerantes. Na primeira, refere-se à capacidade de aderência da argamassa, já a segunda, a argamassa promove uma consolidação interna, ligando o aglomerante e o agregado, e é nessa etapa que se desenvolvem as demais propriedades como a resistência à compressão, à tração, permeabilidade e a capacidade de absorver deformações.

De acordo com o manual de revestimentos de argamassa elaborado pela ABCP (2002), para que o revestimento de argamassa cumpra suas funções adequadamente, as características e propriedades devem ser ajustadas com as condições na qual estarão expostos, como: execução, condições da base, desempenho e o acabamento final previsto (*apud* TIGGEMANN, 2016). Gasperin (2011) complementa que as diferentes características dos materiais utilizados na argamassa estão relacionadas às propriedades da mesma, como também as bases na qual a argamassa é aplicada, ao modo em que é feita a mistura e condições de temperatura e umidade. Estas características podem comprometer as propriedades da argamassa e interferir no resultado final dos revestimentos argamassados.

De acordo com Tiggemann (2016), a garantia da funcionalidade dos sistemas de revestimento de argamassa está relacionada a um conjunto de propriedades específicas, relativas à argamassa no seu estado fresco ou endurecido.

2.4.3.1 Estado Fresco

Tiggemann (2016) conceitua que a argamassa é considerada em estado fresco durante o momento de mistura dos materiais até a sua aplicação na base. As características e propriedades adotadas para análise das argamassas em estado fresco são, como dito por Leal (2012) e Tiggemann (2016), a massa específica e teor de ar, trabalhabilidade, plasticidade, coesão, retenção de água, aderência inicial e retração por secagem.

Hermann e Rocha (2013) alegam que o desempenho das argamassas no estado fresco está intimamente relacionado à matéria prima utilizada, à mistura e proporção entre os

materiais, aos equipamentos e meios de transporte utilizados, espessura da camada e até à forma de aplicação e o ambiente no qual a mesma está inserida.

Analisar o comportamento da argamassa em estado fresco possibilita avaliar os materiais empregados e simular o que ocorre com a massa durante os processos de mistura, transporte, aplicação e regularização (TOKUDOME, 2020). Souza (2013) complementa que avaliar as propriedades das argamassas no estado fluido é bastante significativo para se obter um melhor acabamento e proporcionar maior facilidade de transporte e aplicação.

As propriedades da argamassa no estado fresco interferem diretamente no resultado final do revestimento, e para evitar problemas futuros é recomendado alterar a dosagem da argamassa caso detectado algum problema nas propriedades do estado fresco (COSTA, I., 2016).

2.4.3.1.1 Massa Específica e Teor de Ar

Segundo Maciel *et al* (1998 *apud* TOKARSKI, 2017), massa específica é a razão entre a massa de argamassa e o volume preenchido por essa mistura, podendo ser absoluta ou relativa. Hermann e Rocha (2013) e Pagoto (2018) afirmam que para determinar a massa específica absoluta da argamassa não são considerados os vazios existentes, enquanto que para determinar a massa relativa, os vazios são considerados.

De acordo com Carasek (2007), citada por Ferreira (2014), o teor de ar de uma argamassa é a quantidade de ar existente em certo volume de argamassa, e possui valor inversamente proporcional à massa específica da mesma.

Melo (2012) explicita seus pressupostos de que o teor de ar altera a densidade de massa da argamassa, principalmente quando são utilizados aditivos incorporadores de ar, além da massa específica dos materiais que constituem a argamassa. Ainda conforme Melo (2012) e também Costa, I. (2016), quanto menos densa for a argamassa, maior será a trabalhabilidade dela, reduzindo o esforço do operário ao executar o processo de aplicação, aumentando a produtividade na obra. Contudo, Tiggemann (2016) adverte que altos teores de ar na argamassa são prejudiciais, pois diminuem a área de aderência e geram uma resistência mecânica menor.

2.4.3.1.2 Trabalhabilidade, Consistência e Plasticidade

Propriedades como consistência, plasticidade e trabalhabilidade estão interligadas, dificultando uma análise isolada de cada uma, pois os fatores que influenciam uma, influem também as outras (TOKARSKI, 2017). Brito (2016) afirma que a trabalhabilidade é a resultante

de outras propriedades como consistência, plasticidade, retenção de água, densidade, coesão e outras.

Araújo (2014) aponta a trabalhabilidade como principal propriedade das argamassas no estado fresco. É a propriedade da argamassa que determina a facilidade com a qual pode ser misturada, lançada, adensada e acabada (JOICHEM 2012).

Para Guacelli (2010), trabalhabilidade é a facilidade de manuseio da argamassa por parte do operário ao realizar a sua aplicação, sendo possível verificar a sua compacidade e o seu rendimento. De mesma ideia, Carasek (2007 *apud* Dachery, 2015) e Ferreira (2014) complementa afirmando que é a trabalhabilidade que garantirá um bom desempenho de serviço, facilitando a mistura, o transporte, o manuseio e a aplicação da argamassa. O correto índice de trabalhabilidade da argamassa faz com que o material adira melhor na colher de pedreiro e nas superfícies verticais onde será aplicada, além de permanecer em estado plástico pelo tempo suficiente para o serviço e resulte em um bom acabamento (RODRIGUES, 2018). Após a aplicação, a argamassa deve suportar as deformações causadas pela gravidade e seu próprio peso (SALVI 2017).

Segundo Angelim *et al.* (2003 *apud* Tiggemann, 2016), a distribuição granulométrica do agregado miúdo interfere na trabalhabilidade, na porosidade da argamassa e no consumo de água e aglomerantes. Guacelli (2010) explica que agregados miúdos com grãos irregulares produzem argamassas menos trabalháveis que aquelas com o formato regular.

De acordo com Cincotto (1995), a consistência é a propriedade que a argamassa apresenta em seu estado fresco, dando-lhe a capacidade de resistir às deformações impostas (*apud* HONÓRIO E CARASEK, 2010). A NBR 13276 (ABNT, 2016) define o índice de consistência da argamassa. Plasticidade é definida por Fontes (2013) como propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a conservar-se deformada, cessadas as tensões de deformação aplicadas.

A consistência e a plasticidade são consideradas as características básicas que determinam a trabalhabilidade da argamassa e são os parâmetros que determinam a quantidade de água necessária para a mistura. Essas duas propriedades estão interrelacionadas e os fatores que as afetam geralmente são os mesmos (JOICHEM, 2012).

O índice de consistência pode ser medido com o ensaio na mesa *flow table* regulamentado pela NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência (ABNT, 2016).

2.4.3.1.3 Retenção de Água e Exsudação

Segundo Silva (2014) e (COSTA, I., 2016), a retenção de água é a propriedade das argamassas que representa a capacidade de conter a perda de água para a superfície de aplicação e para o ambiente. Para Rodrigues Filho (2013), é a capacidade com que a argamassa mantenha a trabalhabilidade durante a fase de aplicação e manuseio.

Segundo Leal (2003, *apud* OLIVEIRA, 2017), quando a argamassa possui alta retenção de água e é aplicada em bases pouco absorventes podem prejudicar o nivelamento, contudo isso reduz a retração plástica e por secagem, promovendo grande aderência à tração devido à redução que ocorre na sucção de água para o substrato e na evaporação para o ambiente. Complementando, Recena (2012) afirma que uma alta capacidade da argamassa de retenção da água causa um aumento da resistência, diminui a ocorrência de fissuras e garante a aderência aos substratos, evitando que o revestimento descole da base.

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998) uma rápida perda de água pode comprometer a aderência, a capacidade de absorver deformações e a resistência mecânica da argamassa, levando a perda de durabilidade e a estanqueidade do revestimento (*apud* RODRIGUES, 2018).

De acordo com Baía e Sabbatini (2008 *apud* TIGGEMANN, 2016) a retenção de água gera o endurecimento gradativo da argamassa, garantindo a hidratação do cimento e consequentemente atribuir maior resistência.

Silva, Buest e Campiteli (2005) citados por Tokarski (2017), afirmam que a capacidade de retenção de água da argamassa não sofre influência da quantidade de finos que os agregados apresentam. Portanto o uso de areia de britagem não influencia na retenção de água desta argamassa, mesmo apresentando uma quantidade de finos mais elevada do que a areia natural.

Vieira (2019) explica que as argamassas precisam possuir uma boa retenção de água, para não perderem água para o bloco que são constituídos por materiais absorventes, assim a hidratação do cimento presente na argamassa não será total. Peretto (2017) cita o trabalho de Bauer (2005) para afirmar que uma das importâncias da retenção de água da argamassa é que o endurecimento da mesma seja gradativo, fornecendo tempo suficiente para a aplicação do material e a correta reação de hidratação.

Segundo Vieira (2019), exsudação é definido como a tendência de a água separar-se da pasta da argamassa, de modo que ela sobe, pelo fato de os agregados descenderem devido ao efeito da gravidade.

Segundo Tokarski (2017) adicionar água em excesso nas argamassas causa uma segregação dos materiais e a perda das partículas finas da pasta, principalmente do aglomerante prejudicando a qualidade do desempenho do revestimento executado com esta argamassa. Em virtude da exsudação, a argamassa precisa ser misturada com frequência, para que a mesma não perca parte de suas propriedades prejudicando seu desempenho depois de aplicada.

É possível reduzir os efeitos de exsudação da argamassa aumentando o teor de finos na mistura, diminuindo o teor de água, adicionando um aditivo incorporador de ar, ou ainda usar materiais retentores de água como a cal (GOMES, 2008 apud TOKARSKI, 2017).

2.4.3.1.4 Aderência Inicial

A aderência inicial é a união incipiente da argamassa no estado fresco à base onde é aplicada (CARASEK, 2010). Para Recena (2008 apud TIGGEMANN, 2016) consiste na argamassa aderir instantaneamente ao substrato, na qual, esta aderência é obtida pelo vácuo formado após a aplicação.

Conforme Temp (2014) em sua obra, a aderência inicial está interligada a algumas propriedades da argamassa no estado fresco. Uma adequada adesão inicial é obtida quando a argamassa apresenta retenção de água e trabalhabilidade satisfatórios à absorção da base e às condições em que ela é exposta. Condições contrárias acarretam na perda de aderência. A porosidade e a rugosidade são características da base onde é aplicado o revestimento, que interferem na capacidade de aderência da argamassa.

A adesão inicial é influenciada pela tensão superficial da argamassa: quanto menor for a tensão superficial, maior será a adesão inicial da mesma. Logo, a diminuição da tensão superficial da argamassa facilita a mesma molhar o substrato, o que aumenta a região de contato entre eles (CASALI, 2008 *apud* VIEIRA, 2019).

Temp (2014) afirma que a tensão superficial da argamassa pode ser modificada pela alteração de sua composição, sendo ela a função inversa do teor de cimento. Diminuir a tensão superficial é importante para que a argamassa se mantenha aderida ao substrato até o final da execução do revestimento (VIEIRA, 2019).

De acordo com Costa (2014), a argamassa não pode desgrudar da base após sua aplicação e sim fixar-se imediatamente, permitir o espalhamento, unir-se entre os materiais e controlar a retração plástica, para que não ocorram fissuras no revestimento.

2.4.3.1.5 Coesão

Segundo Carasek (2010) a coesão é a atração física que existe entre as partículas sólidas da argamassa com as ligações químicas do aglomerante. Pereira (2012) explica que as argamassas tendem a ter uma coesão elevada.

Dessa forma, Miranda e Selmo (1999 *apud* DIÓGENES, 2016) afirmam que a coesão é resultado do uso do cimento, agregado miúdo e materiais aglomerantes ou inertes que apresentam partículas menores que 0,075 mm para a produção de argamassas.

Rago e Cincotto (1995 *apud* DIÓGENES, 2016) e recena (2012) afirmam que o excesso de água causa uma separação das partículas sólidas diminuindo a coesão, deixando a argamassa mais fluida, plástica e menos trabalhável. De acordo com Vieira (2019), a coesão está diretamente ligada ao tipo e teor de finos.

2.4.3.1.6 Retração na Secagem

Segundo Dachery (2015) a retração na secagem ocorre durante a evaporação da água da argamassa ou devido as reações de hidratação e carbonatação causadas pelos aglomerantes. Esse processo pode ocasionar em fissuras no revestimento, sendo mais prováveis em traços com maior quantidade de cimento (SANTOS, 2014). As fissuras permitem a percolação da água pelo revestimento já no estado endurecido, comprometendo a sua estanqueidade (PAGOTO, 2018).

A retração é fundamental no desempenho da argamassa, principalmente quanto à estanqueidade e durabilidade, e está associada à variação do volume da mistura de aglomerante e água. É necessário que a argamassa tenha um período estendido de secagem para suportar as tensões internas enquanto endurece, caso contrário, se houver secagem rápida a argamassa pode fissurar. Substratos com alta capacidade de absorção, ventos fortes e clima quente e seco são fatores que aceleram a secagem (CARASEK, 2007 *apud* TIGGEMANN, 2016).

A aplicação da argamassa e os cuidados na execução precisam respeitar o tempo para que a massa perca parte da água de amassamento e esteja numa umidade apropriada para as operações, caso contrário pode haver prejuízo na qualidade do revestimento no processo de secagem (BAÍA e SABBATINI, 2008 *apud* TIGGEMANN, 2016).

2.4.3.2 Estado Endurecido

Logo após a mistura dos seus materiais, a argamassa apresenta-se no estado plástico, e, à medida que ocorrem as reações de hidratação do cimento e a formação de produtos cristalinos, ocorre a mudança do estado fresco para um estado endurecido (MELLO, 2011).

As propriedades das argamassas no estado endurecido podem ser avaliadas diretamente em corpos de prova, ou aplicando-as a um substrato. Nesse estado, as propriedades são as mais relevantes para que o produto possa cumprir a sua funcionalidade (TREVISOL JÚNIOR, 2015).

2.4.3.2.1 Resistência Mecânica

A resistência mecânica da argamassa é a capacidade de resistir aos esforços impostos sobre ela. Geralmente são esforços de tração, compressão e cisalhamento, ou a combinação desses. Embora a resistência mecânica não seja uma propriedade tão relevante para a argamassa como ela é para o concreto, a capacidade de absorção e a permeabilidade estão relacionadas com a porosidade dada pela resistência (LONGHI, 2012).

De acordo com Tokudome (2020), a resistência mecânica da argamassa não é base para considera-la argamassa boa ou ruim, mas sim como dados de referência. O valor da propriedade só deve ser validado desconsiderando variáveis como porosidade e rugosidade.

Uma resistência à tração inadequada diante das tensões de tração resultantes da retração de secagem, retração térmica ou ações externas ao revestimento podem acarretar em fissuras no revestimento. É importante respeitar o prazo de 28 dias para aplicação do acabamento final sobre o revestimento argamassado, devido a ocorrência de fissuras durante o período de secagem (RODRIGUES, 2018).

Os métodos de ensaios para determinação da resistência da argamassa são estabelecidos pela NBR 13279 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT, 2005).

2.4.3.2.2 Durabilidade

De acordo com Rodrigues (2018), a durabilidade pode ser definida como a capacidade da argamassa manter o desempenho de suas funções ao longo do tempo, que não se configura como um atributo somente do material, mas de fatores externos, pois em condições de exposição distintas apresentará durabilidades diferentes.

Brito (2016) explica que durabilidade é uma propriedade do período de uso do revestimento no estado endurecido e que reflete o desempenho do revestimento frente às ações do meio externo ao longo do tempo. A argamassa de revestimento deve resistir às ações físicas, químicas e mecânicas como temperatura, abrasão, gases naturais ou artificiais para não afetar sua vida útil. A qualidade dos materiais utilizados também é um fator importante, o agregado miúdo, por exemplo, deve ser livre de impurezas orgânicas (HERMAAN E ROCHA, 2013).

2.4.3.2.3 Permeabilidade

Na definição apresentada por Mello (2011), permeabilidade é a facilidade de um fluido escoar através de um material sólido. Nas argamassas de revestimento, esta propriedade tem relação com a função de estanqueidade, característica muito importante para os revestimentos.

Outro fator importante para a permeabilidade da argamassa é o número de vazios existente, pois quanto menor, maior será a compacidade e menor a permeabilidade (PEDRO, 2011). Contudo, segundo Costa (2014), em uma argamassa de baixa permeabilidade à água, mas que apresente fissuras ou descolamento, a umidade será capaz de infiltrar na estrutura e conseqüentemente trará prejuízos a estrutura.

A permeabilidade está relacionada ao conjunto base-revestimento, baseada na natureza da base, na dosagem da argamassa, na execução, espessura do revestimento e acabamento final empregado (CARVALHO JUNIOR, 2017). A movimentação da água na argamassa depende do tamanho e das conectividades dos materiais e também de condições externas (SILVA, 2011). É recomendável que o revestimento seja permeável ao vapor para favorecer a secagem de umidade de infiltração ou decorrente da ação direta do vapor de água, principalmente em banheiros (PERETTO, 2017).

2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Segundo a NBR 13530 – Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Classificação, os revestimentos são classificados conforme a Quadro 3 (ABNT, 1995).

Quadro 3 - Classificação dos revestimentos.

Tipo	Critério de classificação
Revestimento de camada única Revestimento de duas camadas	Número de camadas aplicadas
Revestimento com contato com o solo Revestimento externo Revestimento interno	Ambiente de exposição

Revestimento comum Revestimento de permeabilidade reduzida Revestimento hidrófugo	Comportamento à umidade
Revestimento de proteção radiológica	Comportamento a radiações
Revestimento termoisolante	Comportamento ao calor
Camurçado Chapiscado Desempenado Sarrafeado Imitação travertino Lavado Raspado	Acabamento de superfície

Fonte: ABNT NBR 13530/1995 - Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Classificação

Já a NBR 13529, diferencia o revestimento como sendo composto por duas camadas (emboço e reboco) ou camada única (reboco paulista) (ABNT, 2013). Carasek (2007) *apud* Monteiro e Silva (2019), o último é mais comum no Brasil, constituído por chapisco e apenas uma camada correspondente ao emboço + reboco, afim de diminuir custos.

Isto posto, as camadas são variáveis, podendo ser apenas a massa única, responsável em cumprir a função do emboço e reboco, ou duas camadas, cada uma com seu papel (GROCHOT, 2012).

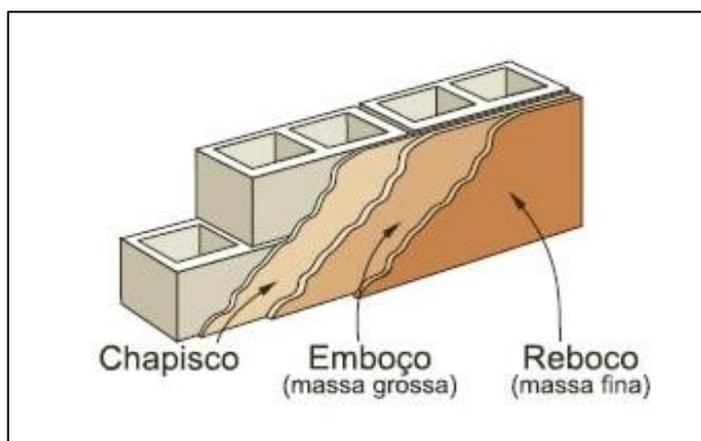
A NBR 13749 determina as espessuras admissíveis internas e externas relativas à cada camada, conforme Quadro 4 (ABNT, 2013).

Quadro 4 - Espessuras admissíveis de revestimento interno e externo para parede.

Camada de revestimento	Espessura (mm)	
	Interna	Externa
Emboço	5 a 20	15 a 25
Emboço e Reboco	10 a 30	20 a 30
Camada Única	5 a 30	15 a 30

Fonte: ABNT NBR 13749/2013 - Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas – Especificação

A primeira camada, o chapisco, é feita afim de proporcionar aderência do revestimento ao substrato. Já a segunda, o emboço, viabiliza a regularização, impermeabilização e verticalização, enquanto a última, o reboco, protege as anteriores, garantindo um bom acabamento (DIÓGENES, 2016). A Figura 2 ilustra essas camadas.

Figura 2 - Camadas de revestimento de argamassa.

Fonte: Pereira (2021)

2.5.1 Chapisco

Silva (2006) *apud* Tokarski (2017), defende que não se considera o chapisco como sendo uma camada de revestimento, e sim uma preparação do substrato, opcional, dependendo da natureza da base. Confirmando o exposto, a NBR 13529 define como uma camada de preparação para uniformizar a absorção ao longo da superfície e melhorar a aderência da primeira camada de revestimento (emboço) (ABNT, 2013).

Para Fiorito (2009) *apud* Dachery (2015), trata-se de um material constituído por argamassa de cimento e areia grossa, com ou sem aditivos. O mesmo afirma que deve ser executado de forma irregular, de modo a criar ancoragens, aumentando a aderência. Quanto à essa propriedade, é favorecida pelo alto teor do aglomerante na dosagem, fato que garante resistência e permite que as partículas finas penetrem nos poros do substrato, aumentando a ancoragem (Dubaj, 2000 *apud* DACHERY, 2015).

Segundo Santos e Dall’oglio (2017), o material pode ser aplicado manualmente com colher de pedreiro, rolo de textura ou desempenadeira dentada, ou mecanicamente por projetor de argamassas, e deve conter aproximadamente 5 mm. Além disso, o autor afirma que a base de aplicação deve ser umedecida previamente. Ademais, também pode ser empregado em acabamentos rústicos externamente (AMBROZEWICZ, 2015).

2.5.2 Emboço

O emboço, aplicado após o chapisco, ou diretamente na base, é uma das principais camadas no processo de revestimento, visto que é responsável por alinhar e vedar a parede, além de protegê-la contra agentes agressivos (SANTOS E DALL’OGLIO, 2017).

A NBR 13529 define como sendo uma camada aplicada afim de cobrir e regularizar a superfície, permitindo a aplicação da camada referente ao acabamento final desejado (ABNT, 2013). Segundo Santos e Dall’oglio (2017), para a aplicação, deve-se esperar 24 horas para a cura do chapisco e a superfície precisa estar molhada e áspera.

Quanto às propriedades esperadas, Dachery (2015) defende que o material deve apresentar boa trabalhabilidade, estanqueidade, tenção d’água, estabilidade volumétrica e aderência. Além disso, é necessário que a porosidade e a textura superficial sejam compatíveis com o acabamento final.

2.5.3 Reboco

A NBR 13529 define reboco como sendo a camada destinada a cobrir o emboço, gerando uma superfície apta a receber o revestimento decorativo ou o acabamento final especificado em projeto (ABNT, 2013). Em complemento, conforme Monteiro e Silva (2019), a camada possui espessura mínima necessária para formar uma película íntegra e contínua, possibilitando a textura final desejada, não admitindo a presença de fissuras, devendo acomodar deformações.

Quanto à aplicação, deve ser realizada após as instalações hidroelétricas, com a superfície limpa e umedecida (AMBROZEWICZ, 2015). Após executado, o reboco deve ser protegido do sol, evitando a secagem rápida. O mesmo deve ter aspecto liso, regular e pouco poroso (SANTOS E DALL’OGLIO, 2017).

2.5.4 Massa única

A massa única, técnica mais utilizada no Brasil, conhecida popularmente como reboco paulista, consiste em apenas uma camada de argamassa aplicada no substrato. Dessa forma, o revestimento decorativo é aplicado diretamente sobre ela, requisitando que a mesma cumpra as especificações necessárias para o acabamento adotado (TOKARSKI, 2017).

Dado o exposto, essa camada precisa cumprir o papel do emboço e do reboco, apresentando regularização da base e acabamento (TOKARSKI, 2017).

2.6 DOSAGEM DA ARGAMASSA

Como descrito na NBR 7200 (ABNT, 1998), a dosagem de argamassa consiste em analisar e determinar, a partir da finalidade, o traço ou a proporção dos constituintes da mistura, que deve ser definido pelo engenheiro ou construtor. Em complemento, Santos (2014),

estabelece que uma dosagem satisfatória deve basear-se em conceitos e propriedades técnico-científicas, diminuindo falhas, apresentando mais qualidade e durabilidade.

No entanto, enquanto existem diversos métodos racionais para dosar o concreto, para a argamassa ainda não se tem registros de um em específico, apenas pesquisas a fim de suprir a deficiência (COSTA, M., 2016). Por esta razão, frequentemente, as argamassas de revestimento são dosadas no canteiro, sob responsabilidade do mestre de obras, a partir de situações empíricas, com sua experiência prática, sendo raro a presença do engenheiro. Conseqüentemente, é comum o surgimento de fissuras e pulverulência e outras patologias, impactando negativamente a qualidade e segurança da edificação, sendo necessário reparos e retrabalho (GOMES e NEVES, 2001 *apud* SILVA e MELO, 2018).

Como descrito por Costa, M. (2016), a importância do material não é reconhecida, considerando a função estrutural do concreto como sendo de maior relevância, não destinando investimentos em pesquisas a fim de definir um padrão advindo de um estudo em laboratório. No entanto, vale ressaltar que o traço do revestimento argamassado depende tanto da finalidade, quanto das condições de exposição e local onde será aplicado, influenciando na escolha da proporção de cada material empregado.

Lara *et al* (1995) *apud* Heemann (2014) alegam que a mistura requer uma boa trabalhabilidade, resistência adequada e durabilidade para suprir o desempenho esperado. Tal fato depende diretamente da proporção dos materiais, sendo de suma importância a elaboração do traço, conforme a finalidade desejada. Entretanto, ainda não se tem um padrão de um método laboratorial e a NBR 7200 (ABNT, 1998) foi atualizada e suprimiu a recomendação de traços pré-determinados empiricamente, dando total autonomia para os responsáveis da obra.

Ademais, a dosagem é feita, geralmente, em proporções volumétricas entre aglomerantes e agregado, ajustando a areia para atingir a coesão e a plasticidade planejada. Por isso, é de suma importância que a umidade da mesma seja analisada, que, segundo a NBR 7200 (1998), deve estar entre 2 e 5%, para que não seja necessário corrigir o traço (DAFICO, 2012).

Silva (2006) *apud* Monteiro e Silva (2019) afirma que entre os traços mais usuais, pode-se citar a relação 1:1:6 ou 1:2:9 (cimento:cal:areia) para argamassas mistas, e 1:3 ou 1:4 para argamassas de cimento. Em contrapartida, é comum a adoção de traços mais econômicos, de 1:4 a 1:9, diminuindo a qualidade do revestimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para atingir os objetivos propostos, foi feita uma pesquisa experimental e comparativa, manipulando algumas variáveis, a fim de testar as hipóteses, denominadas “tratamentos”.

Foram executadas amostras de mesmo traço, com a substituição total e parcial da areia natural pelo pó de brita, as quais foram submetidas à ensaios para que os resultados fossem comparados e as análises quanto a viabilidade fossem feitas. Tal substituição foi feita de forma gradual, substituindo-se 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da massa do agregado miúdo convencional pelo material alternativo.

Sendo assim, a pesquisa se dividiu em cinco etapas:

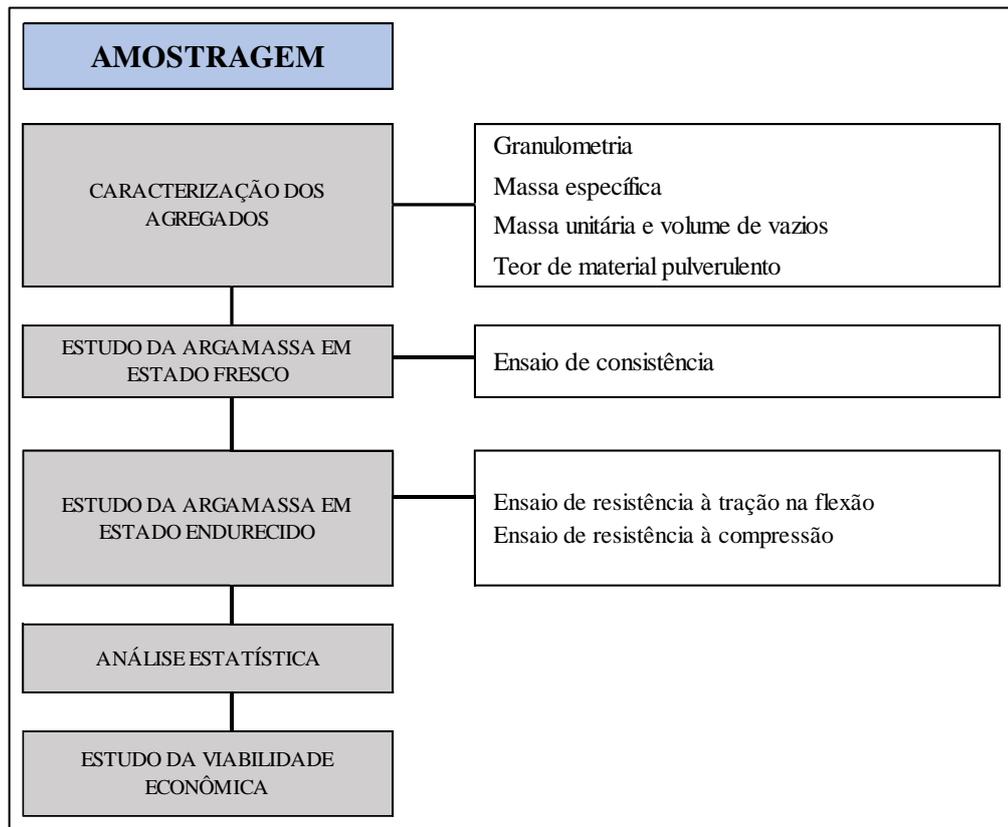
- Etapa 1: Definir e caracterizar os agregados que serão utilizados;
- Etapa 2: Determinar o teor de material pulverulento, a massa específica, massa unitária e volume de vazios das areias.
- Etapa 3: Analisar a argamassa no estado fresco;
- Etapa 4: Analisar a argamassa no estado endurecido;
- Etapa 5: Analisar a viabilidade econômica.

Vale ressaltar que todas as etapas foram executadas conforme orientado nas normas específicas para cada uma.

Todos os ensaios laboratoriais foram realizados no laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, utilizando os equipamentos disponíveis.

A Figura 3 apresenta o fluxograma das etapas metodológicas realizadas.

Figura 3 - Fluxograma das etapas metodológicas.



Fonte: Autores (2021)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado no ensaio foi o CP II-F 32, da marca Tocantins, por ser o mais usual em obras que não exigem cimentos especiais, ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Cimento para uso geral.



Fonte: Votorantim Cimentos (2017).

3.2.2 Agregados Miúdos

A areia natural empregada nesta pesquisa experimental foi fornecida pela Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, ilustrada na Figura 5.

Figura 5 - Areia natural no pátio da FACEG.



Fonte: Autores (2021).

Já a areia artificial utilizada foi disponibilizada pela indústria de calcário Pirecal, localizada no município da Vila Propício. O pó de brita é proveniente de rochas calcárias que passaram por um processo de britagem e foi coletado diretamente no pátio da indústria, em uma visita técnica, ilustrada nas Figuras 6(a) e 6(b).

Figura 6 - Britagem na indústria Pirecal (a) e resíduo do processo de britagem (pó de brita) (b).



(a)

(b)

Fonte: Autores (2021)

O agregado miúdo utilizado foi uma mistura, em proporção, das duas areias citadas e ilustradas nas Figuras 7 e 8, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Proporções de areia natural e areia artificial por traços.

Traço	Areia Natural	Areia Artificial
T1	100%	0%
T2	75%	25%
T3	50%	50%
T4	25%	75%
T5	0%	100%

Fonte: Autores (2021).

Figura 7 - Areia natural armazenada.



Fonte: Autores (2021)

Figura 8 - Areia artificial armazenada.



Fonte: Autores (2021)

As amostras ensaiadas foram misturadas por meio do quarteamento, conforme especifica a NBR 16915 (ABNT, 2021) e armazenadas individualmente. Posteriormente, foram feitos ensaios para determinar algumas propriedades relativas ao material, como a composição granulométrica, teor de material pulverulento, massa unitária, volume de vazios e massa específica.

3.2.2.1 Composição granulométrica

A composição granulométrica foi determinada para cada tratamento, com o objetivo de observar se a granulometria do agregado 100% natural seria afetada após a substituição.

A execução do ensaio se baseou na NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003). Conforme recomendado pela norma, foram formadas duas amostras de 1000g cada, para cada caso, obtendo a composição do agregado quanto ao tamanho dos grãos constituintes.

A partir desses resultados, possibilitou-se a determinação do módulo de finura e o diâmetro máximo para cada curva.

Para a execução, foram utilizados os seguintes equipamentos, disponibilizados no laboratório da FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia: balança, estufa, peneiras e bandejas. Primeiramente, as amostras foram secadas em estufa com temperatura de 105 °C durante 24 horas, conforme ilustrado na Figura 9, e resfriadas em temperatura ambiente, para determinação das massas m_1 e m_2 .

Figura 9 - Amostras na estufa à 105°C.



Fonte: Autores (2021)

Com as peneiras limpas e encaixadas com abertura da malha em ordem crescente da base para o topo, e com o fundo encaixado na base, a amostra de massa m_1 foi colocada na peneira superior e agitada. A Figura 10 mostra as peneiras montadas, prontas para a execução do ensaio. O material retido foi reservado, e o procedimento se repetiu para as demais malhas.

Figura 10 - Peneiras granulométricas.



Fonte: Autores (2021)

Feito isso, a massa de material retido em cada peneira e no fundo foram determinadas, bem como a porcentagem média, retida e acumulada. Também foi calculado o módulo de finura, a partir da Equação 1:

$$M_f = \frac{\sum \% \text{ Retida Acumulada}}{100} \quad (1)$$

Onde:

M_f = Módulo de Finura;

Σ Retida Acumulado (%) = Somatório do agregado retido acumulado em porcentagem.

Ademais, a dimensão máxima característica do agregado, uma grandeza correspondente a abertura nominal, em milímetros, da malha em que o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou menos que 5%, também foi determinada.

3.2.2.2 Teor de material pulverulento

A fim de determinar a porcentagem de material fino, menor que 0,075 mm que contém no agregado, esse ensaio foi executado, de acordo com a NBR 16973 - Agregado – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm por lavagem (ABNT, 2021).

Primeiramente, a amostra, contendo 500 g de agregado, passou pelo processo de secagem em estufa até massa constante, à temperatura de 105 °C e, após isso, sua massa foi determinada. Logo após, colocou-se a amostra em um recipiente, no qual a mesma foi coberta com água e agitada vigorosamente até que as partículas menores que 0,075 mm se separassem das maiores, e o material fino ficasse em suspensão. Em seguida, a água de lavagem com as partículas suspensas e dissolvidas foi vertida sobre a peneira. O procedimento foi repetido até que a água da lavagem ficasse límpida. A Figura 11 mostra amostras da água de lavagem da areia natural, enquanto a Figura 12 diz respeito à areia de britagem.

Figura 11 - Amostras da água de lavagem da areia natural.



Fonte: Autores (2021)

Figura 12 - Amostras da água de lavagem da areia de britagem.



Fonte: Autores (2021)

Posteriormente, o material retido nas peneiras foi retomado com um fluxo contínuo de água, sobre a amostra lavada, e então, voltou para a estufa à 105 °C, para passar novamente pelo processo de secagem por 24 horas, até que sua massa permanecesse constante.

A quantidade de material pulverulento foi obtida através da Equação 2:

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

m é a porcentagem de material mais fino que passa na peneira de 75 µm por lavagem;

m_i é a massa original da amostra seca, em g;

m_f é a massa da amostra seca após a lavagem, em g.

O ensaio foi realizado com amostras de 100% de areia natural e com 100% de areia de britagem.

3.2.2.3 Massa específica

Para conhecer o valor referente à massa específica, foi utilizado o frasco Chapman, possibilitando determinar a relação entre a massa seca do agregado e seu volume.

O procedimento consistiu em colocar 200 cm³ de água no frasco e, em seguida, colocar 500 g do agregado seco. Feito isso, o frasco foi agitado, com movimentos circulares, para eliminar as bolhas de ar, e verificado a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco, o qual indica o volume, em cm³, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo.

A Figura 13 mostra o frasco Chapman após realizado o procedimento com a areia natural.

Figura 13 - Amostra de areia natural do frasco Chapman.



Fonte: Autores (2021)

Feito isso, a massa específica foi calculada mediante a Equação 3:

$$\mu = \frac{500}{L - 200} \quad (3)$$

Onde:

μ = massa específica do agregado miúdo, em g/cm³

L = leitura final do frasco

O ensaio foi realizado com amostras de 100% de areia natural e com 100% de areia de britagem.

3.2.2.4 Massa unitária e volume de vazios

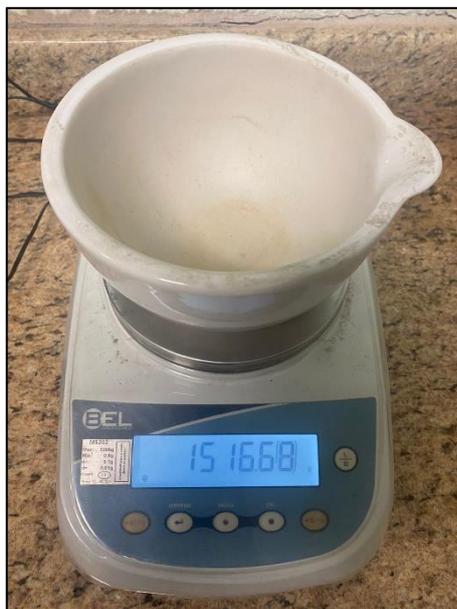
Para determinar a massa unitária e o volume de vazios, o ensaio foi executado conforme descrito na NBR 16972 - Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios (ABNT, 2021).

Para a execução, foi utilizado os seguintes materiais, prescritos na norma: balança, com resolução de 50 g; haste de adensamento; recipiente; concha; estufa.

O material utilizado estava no estado solto, portanto, empregou-se o método C da norma, a fim de converter a unidade de massa para unidade de volume e determinar o índice de vazios. Sendo assim, após secar a amostra até que ficasse com a massa constante, em uma estufa mantida a 105 °C, foi determinado a massa do recipiente vazio, e preenchido seu interior com a amostra até transbordar, evitando que os agregados se segreguem. Após nivelar a camada superficial, deixando-a rente à borda superior do recipiente, o conteúdo foi pesado a fim de se determinar a massa do recipiente e amostra.

O recipiente utilizado, ilustrado na Figura 14, possui 1 dm³ de volume. As Figuras 15 e 16 mostram o peso total das duas amostras ensaiadas (100% natural e 100% natural).

Figura 14 - Recipiente com 1dm³ de volume.



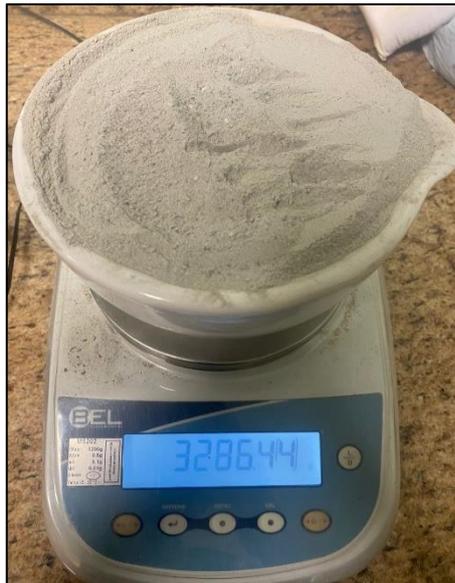
Fonte: Autores (2021)

Figura 15 - Ensaio de massa unitária em areia natural.



Fonte: Autores (2021)

Figura 16 - Ensaio de massa unitária em areia artificial.



Fonte: Autores (2021)

Feito isso, determinou-se a massa unitária a partir da Equação 4:

$$\rho_{ap} = \frac{(m_{ar} - m_r)}{V} \quad (4)$$

Onde:

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado, em kg/m³;

m_{ar} é a massa do recipiente com o agregado, em kg;

m_r é a massa do recipiente vazio, em kg;

V é o volume do recipiente, em m³.

O índice de vazios foi determinado utilizando a massa unitária, a partir da Equação 5:

$$E_v = \frac{100[(d_1\rho_w) - \rho_{ap}]}{d_1\rho_w} \quad (5)$$

Onde:

E_v é o índice de volume de vazios nos agregados, em porcentagem;

d_1 é a massa específica do agregado;

ρ_w é a massa específica de água, em kgm⁻³;

ρ_{ap} é a massa unitária média do agregado, em kgm⁻³;

3.2.3 Água

É recomendado que seja empregada a água destilada com pH neutro nos ensaios de argamassa, a fim de evitar que as reações do cimento sejam influenciadas. No entanto, nas obras, a água utilizada é a água comum. Sendo assim, neste trabalho, foi utilizada a água comum, objetivando aproximar-se da realidade dos canteiros.

3.2.4 Aditivo

Para essa pesquisa optou-se por adicionar o aditivo plastificante Vedalit da marca Vedacit, ilustrado na Figura 17, o qual confere uma boa trabalhabilidade na argamassa, além de aumentar a aderência e a coesão, e evitar fissuras e exsudação, conforme especificações do fabricante.

Figura 17 – Vedalit.



Fonte: Autores (2021)

Por tratar-se de um aditivo líquido, facilita sua aplicabilidade e garante economia de material e um bom acabamento.

3.3 DEFINIÇÃO DO TRAÇO

Para o desenvolvimento deste trabalho, adotou-se o traço 1:6 em volume, sendo cimento, agregado miúdo, e o aditivo, na proporção de 100 ml para cada 50 kg de cimento, conforme especificações do fabricante.

A pesquisa se baseou em dez tratamentos, em um sistema fatorial 5x2, sendo cinco proporções diferentes de areia natural e artificial para duas relações água/cimento distintas.

A substituição gradual da areia natural pela areia artificial está descrita na Tabela 2, com a combinação com as duas relações água/cimento definidas, sendo o traço 100% natural o tratamento de referência (T0-1).

Tabela 2 - Tratamentos para a produção das argamassas.

Tratamento	Componentes	a/c
T0-1	100% Areia Natural + 0% Areia Artificial	1,0
T0-2	100% Areia Natural + 0% Areia Artificial	1,3
T25-1	75% Areia Natural + 25% Areia Artificial	1,0
T25-2	75% Areia Natural + 25% Areia Artificial	1,3
T50-1	50% Areia Natural + 50% Areia Artificial	1,0
T50-2	50% Areia Natural + 50% Areia Artificial	1,3
T75-1	25% Areia Natural + 75% Areia Artificial	1,0
T75-2	25% Areia Natural + 75% Areia Artificial	1,3
T100-1	0% Areia Natural + 100% Areia Artificial	1,0
T100-2	0% Areia Natural + 100% Areia Artificial	1,3

Fonte: Autores (2021).

3.4 PREPARO DA ARGAMASSA

A massa foi preparada conforme a NBR 16541 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Preparo da mistura para a realização de ensaios (ABNT, 2016). Sendo assim, após os materiais serem devidamente pesados, a massa seca (cimento e agregado miúdo) foi depositada na cuba do misturador (Argamassadeira eletromecânica), representado na Figura 18. Feito isso, o mesmo foi acionado em velocidade baixa, adicionou-se 75% do volume total de água durante os 10 segundos iniciais e permaneceu misturando até

completar 30 segundos. Feito isso, acionou-se a velocidade alta por um minuto e depois, com a velocidade baixa durante mais 30 segundos, o restante da água foi adicionado.

Figura 18 - Argamassadeira eletro-mecânica (a) e preparo da argamassa (b).



(a)

(b)

Fonte: Autores (2021)

3.5 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

Foram realizados três ensaios, um no estado fresco, relativo à consistência, e dois no estado endurecido, relativos à resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial.

3.4.1 Ensaio de consistência

Analisou-se a consistência por meio do ensaio com a *flow table*, executado conforme recomendado na NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da Mistura e Determinação do Índice de Consistência (ABNT, 2016), a fim de verificar a diferença do comportamento de cada tratamento. Para a execução, foi utilizado uma mesa para índice de consistência, um molde troncônico, um soquete metálico, ambos em conformidade com a NBR 7215 (ABNT, 2019), além de uma régua metálica e um paquímetro.

Com o tampo da mesa e a parede do molde troncônico limpos e umedecidos com um pano úmido, o molde foi preenchido com a argamassa preparada conforme a NBR 16541 (ABNT, 2016) e colocado no centro da mesa.

O molde foi preenchido com três camadas sucessivas e idênticas, e aplicou-se 15, 10 e 5 golpes, em cada uma delas, respectivamente, com o soquete. Feito isso, a argamassa foi

rasada com a régua metálica e o molde retirado verticalmente, permanecendo conforme ilustrado na Figura 19. A manivela da mesa foi acionada para que subisse e caísse 30 vezes em 30 segundos, uniformemente. Após a última queda, com o paquímetro, o diâmetro do espalhamento da massa foi medido com o paquímetro, imediatamente, em três pontos diferentes.

O índice de consistência é a média das três medidas, em milímetros, arredondada pro número inteiro mais próximo.

Figura 19 - Molde retirado e pronto para execução dos golpes (a) e espalhamento da massa sobre a mesa (b).



(a)

(b)

Fonte: Autores (2021)

3.4.2 Ensaio de resistência à tração na flexão

Para determinar a resistência à tração na flexão, foram confeccionados moldes prismáticos, nas dimensões 4 cm x 4 cm x 16 cm, conforme especificado na NBR 13279 (ABNT, 2005).

Em conformidade com a norma, foram feitos quatro moldes para cada tratamento. Sendo dez tratamentos, com um rompimento, totalizando em 40 corpos-de-prova.

Após realizado o ensaio de consistência, com os moldes confeccionados em madeira, ilustrado na Figura 20, foram moldados os corpos-de-prova. Este procedimento foi repetido para cada amostra, até que todos os corpos-de-prova fossem moldados.

Figura 20 - Moldes de madeira.



Fonte: Autores (2021)

Conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), após passar uma camada de óleo queimado no molde a fim de facilitar o desmolde, a argamassa foi depositada e adensada nos compartimentos do molde, onde permaneceram por 48 horas. A Figura 21 mostra um corpo-de-prova moldado e adensado, enquanto na Figura 22 os corpos-de-prova já estão desmoldados, passando pelo processo de cura.

Figura 21 - Corpo-de-prova sendo moldado



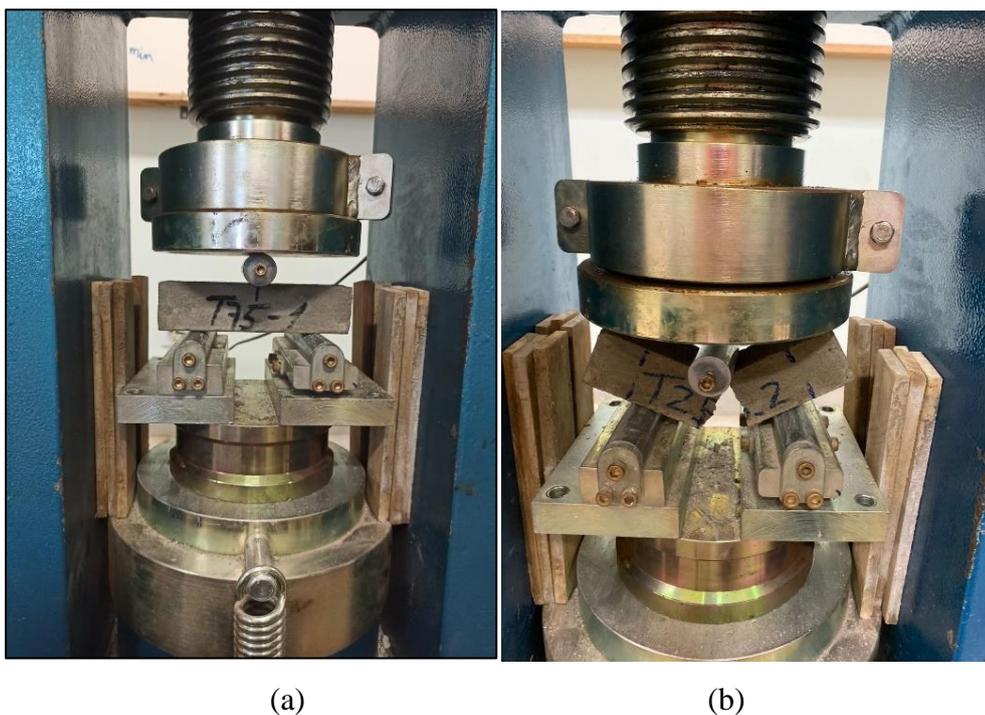
Fonte: Autores (2021)

Figura 22 - Corpos-de-prova desmoldados

Fonte: Autores (2021)

Ao alcançar a idade de 28 dias, os corpos-de-prova foram destinados à ruptura, para posterior cálculo da resistência alcançada, em MPa.

Para a ruptura, o corpo-de-prova foi posicionado no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio, uma prensa hidráulica com algumas adaptações, de modo que a face rasada não entre em contato com os dispositivos de apoio e de carga, conforme a Figura 23(a). Em seguida foi aplicada uma carga até que ocorresse a ruptura, mostrada na Figura 23(b).

Figura 23 - Corpo-de-prova submetido ao ensaio de resistência à tração na flexão (a) e depois de rompido (b).

(a)

(b)

Fonte: Autores (2021)

A resistência à tração na flexão é calculada segundo a Equação 6:

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad (6)$$

Onde:

R_f é a resistência à tração na flexão, em megapascals;

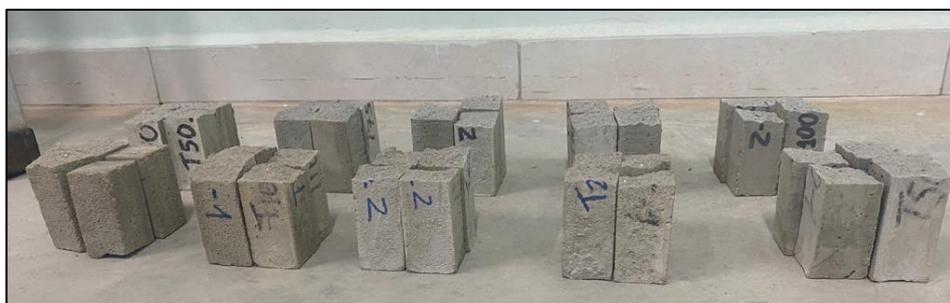
F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

L é a distância entre os suportes, em milímetros.

3.4.3 Ensaio de resistência à compressão

Após passar pelo ensaio de tração na flexão, o ensaio de compressão foi realizado, utilizando-se a metade dos corpos-de-prova já rompidos, conforme a norma de referência, NBR 13279 (ABNT, 2005), para os mesmos 30 corpos-de-prova. Para tanto, os corpos-de-prova passaram por um processo de regularização da base, a fim de evitar que o ensaio seja afetado. A Figura 24 mostra as metades dos corpos-de-prova já regularizadas, prontas para serem submetidas ao ensaio.

Figura 24 - Corpos-de-prova para ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autores (2021)

O corpo-de-prova foi posicionado no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio, e a carga foi aplicada até que ocorresse a ruptura, conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 - Corpo-de-prova submetido ao ensaio de resistência à compressão (a) e depois de rompido (b).



(a)

(b)

Fonte: Autores (2021)

A resistência à compressão foi determinada a partir da Equação 7:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (7)$$

Onde:

R_c é a resistência à compressão, em megapascals;

F_c é a carga máxima aplicada, em newtons;

A é a área transversal, equivalente à 3200 cm²

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os tratamentos foram dispostos em um arranjo fatorial 5x2, sendo cinco doses de areia artificial (0, 25, 50, 75 e 100%) e duas relações água/cimento ($A=1,0$ e $B=1,3$), totalizando 10 tratamentos com quatro repetições.

Os tratamentos foram denominados:

- T0-A - 0% de areia artificial e 100% de areia natural, com A/C de 1,0;
- T0-B - 0% de areia artificial e 100% de areia natural, com A/C de 1,3;
- T25-A - 25% de areia artificial e 75% de areia natural, com A/C de 1,0;
- T25-B - 25% de areia artificial e 75% de areia natural, com A/C de 1,3;
- T50-A - 50% de areia artificial e 50% de areia natural, com A/C de 1,0;
- T50-B - 50% de areia artificial e 50% de areia natural, com A/C de 1,3;
- T75-A - 75% de areia artificial e 25% de areia natural, com A/C de 1,0;

- T75-B - 75% de areia artificial e 25% de areia natural, com A/C de 1,3;
- T100-A - 100% de areia artificial e 0% de areia natural, com A/C de 1,0;
- T100-B - 100% de areia artificial e 0% de areia natural, com A/C de 1,3;

Os dados foram submetidos à análise de variância, comparativo de média pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e à análise de regressão quando significativo, utilizando o software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014), para as variáveis resistência à compressão e resistência a tração na flexão, em desdobramento da soma dos quadrados da interação (doses de areia x relação A/C), para verificação de significância.

Os dados atendem aos pressupostos básicos de normalidade e homogeneidade, logo não foi necessária transformação de dados.

3.6 ANÁLISE DE CUSTO

Para verificar se a utilização da areia de britagem é viável financeiramente, realizou-se uma cotação do metro cúbico de cada agregado, sendo a areia britada com a indústria Pirecal Calcário, no município da Vila Propício - GO e a areia natural com alguns fornecedores da região.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta sessão apresenta os resultados da pesquisa, a partir da realização das etapas do projeto especificadas no capítulo 3. Inicia-se pela caracterização dos agregados miúdos utilizados; seguido das avaliações das propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, bem como das análises estáticas, e por fim, a análise de custo obtida.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS

4.1.1 Granulometria

No Apêndice A encontram-se os resultados tabelados e as curvas granulométricas individuais referentes às areias natural e artificial, bem como das composições utilizadas, enquanto a Tabela 3 sintetiza os dados necessários para a elaboração das curvas granulométricas e a Tabela 4 resume informações sobre os limites utilizáveis recomendados pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

A partir desses dados, foram elaboradas as curvas granulométricas, expostas na Figura 26. Além dos resultados das composições de cada tratamento, o gráfico conta com o limite inferior e superior utilizáveis para os agregados miúdos.

Tabela 3 - Porcentagem de massa retida acumulada.

Traço	Porcentagem retida acumulada (%)						
	Peneira com abertura de malha						
	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	Fundo
T0	0,00	0,96	5,20	22,92	78,15	96,81	100
T25	0,00	1,02	9,00	29,20	75,54	89,66	100
T50	0,00	0,66	13,21	29,86	61,47	76,01	100
T75	0,00	0,54	17,74	34,73	53,62	68,31	100
T100	0,00	0,46	25,59	40,49	48,98	57,81	100

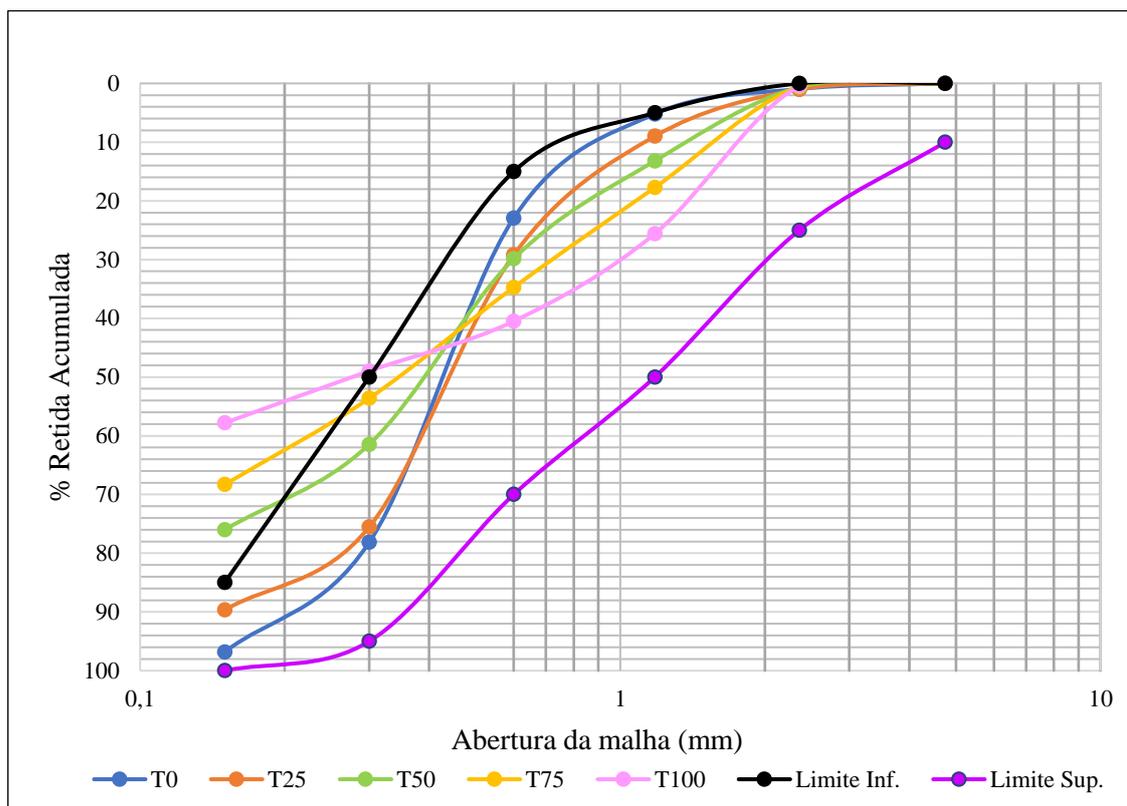
Fonte: Autores (2021)

Tabela 4 – Limites Recomendados segundo a NBR 7211/2009

Limites	Porcentagem retida acumulada (%)						
	Peneira com abertura de malha						
	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	Fundo
Limite inferior	0,00	0,00	5	15	50	85	100
Limite superior	10,00	25,00	50	70	95	100	100

Fonte: Autores (2021)

Figura 26 - Curva granulométrica



Fonte: Autores (2021)

Na análise da Figura 26, em conjunto com a Tabela 3 e 4, observa-se que a curva referente à areia de britagem de rocha calcária do ponto 0,15 a 0,3 no eixo dos diâmetros está fora das zonas aceitáveis de utilização recomendadas, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009). Tal fato também foi observado por outros autores, como Macedo (2021), Silva e Bao (2014), Heemann (2014), Leite (2021) e Tokarski (2017). Isso mostra que este agregado apresenta uma granulometria um pouco acima da zona utilizável superior, que, segundo Tokarski (2017), indica um maior consumo de água ao dosar argamassa.

Outro ponto observado é que a areia natural está completamente dentro dos limites estabelecidos, porém, apresenta uma grande variação, indo do limite superior ao limite inferior, enquanto a areia artificial possui mais constância, confirmando o exposto por Macedo (2021), que também observou a graduação contínua na distribuição granulométrica do pó de brita. Sendo assim, conforme aumenta a presença do pó de brita na composição, a variação tende a diminuir.

Percebe-se que conforme aumenta a presença da areia artificial na composição, o agregado apresenta maior número de finos, conforme esperado, reafirmando os resultados dos autores já citados neste item. Enquanto a areia natural obteve aproximadamente 97% de massa retida acumulada na peneira de 150 μm , a areia artificial obteve apenas cerca de 57%.

No entanto, apesar da diferença granulométrica entre as duas areias ensaiadas, ambas estão, em maioria, dentro dos limites recomendados. Portanto, podem ser utilizadas para argamassas, no que diz respeito a composição granulométrica, porém, demanda maior quantidade de água para uma consistência ideal. Constata-se que as composições mais indicadas são as compostas pelos dois tipos de areia, visto que, dessa forma, o agregado final não apresenta a grande variação da areia natural, ao passo que também não apresenta quantidade de finos superior ao recomendado, como no caso da areia artificial, reafirmando o exposto por Tokarski (2017) que, em seus resultados, também chegou a esta conclusão.

Quanto ao módulo de finura (MF) e à dimensão máxima característica dos grãos (DMC), os ensaios apresentaram os seguintes resultados, organizados na Tabela 5:

Tabela 5 - Módulo de finura

Tratamento	DMC	MF
T0	2,36	2,04
T25	2,36	2,04
T50	2,36	1,81
T75	2,36	1,75
T100	2,36	1,73

Fonte: Autores (2021)

Ao compará-los com os valores recomendados pela NBR 7211 (ABNT, 2009), todas as composições são viáveis para uso como areia fina, visto que estão compreendidas entre 1,55 e 2,20.

Vale lembrar que quanto maior o módulo de finura de um agregado, maior as partículas constituintes, portanto, observa-se que a areia de britagem apresenta grãos mais finos, visto que o módulo de finura foi abaixando conforme aumentou a porcentagem de substituição.

A dimensão característica dos grãos não sofreu alteração, permanecendo com o valor constante de 2,36 mm.

4.1.2 Teor de material pulverulento

Após a execução do ensaio, as areias, natural e artificial, apresentaram um peso seco de 486,8 g e 248,4 g, respectivamente. Substituindo tais valores na Equação 2, têm-se que:

$$m_{AN} = \frac{500 - 486,8}{500} \times 100$$

$$m_{AN} = 2,64\%$$

$$m_{AB} = \frac{500 - 248,4}{500} \times 100$$

$$m_{AB} = 50,32\%$$

Ao comparar estes valores com o valor recomendado pela NBR 7211 (ABNT, 2009), constata-se que o teor de material pulverulento na areia de britagem de rocha calcária é maior que o permitido (10% a 12%) e a areia natural está abaixo dos parâmetros recomendados (3% a 5%). Nessas perspectivas, Tokarski (2017) e Silva e Bao (2014) afirmaram que ao misturá-las, o teor do material fica dentro do intervalo estipulado, propiciando melhores resultados.

Nota-se que quanto maior o teor de material pulverulento dos agregados miúdos, maior será a massa específica e unitária das mesmas, e menor o índice de vazios dos agregados, pois ocorre o empacotamento dos grãos. Em suma, quanto à caracterização das areias, conclui-se que as composições possuem as características granulométricas necessárias para argamassas de revestimento.

4.1.3 Massa específica

O ensaio com o frasco de Chapman foi executado com uma amostra 100% natural e outra 100% artificial. A leitura final do frasco foi de 390 para a natural, e 370 para a artificial. Substituindo tais valores na Equação 3, têm-se:

$$\mu_{AN} = \frac{500}{390 - 200}$$

$$\mu_{AN} = 2,63 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu_{AB} = \frac{500}{370 - 200}$$

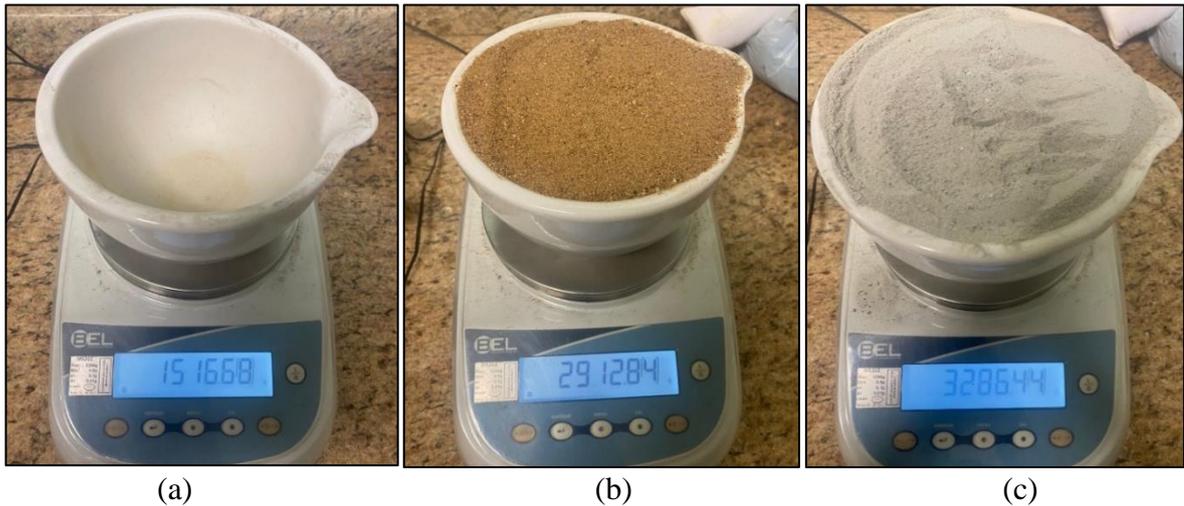
$$\mu_{AB} = 2,94 \text{ g/cm}^3$$

Logo, observa-se que a areia britada apresenta uma maior massa específica em relação à areia natural. Sendo assim, quando maior a porcentagem de substituição da amostra, maior sua massa específica. Com isso, caso o traço fosse dosado em massa, o volume do pó de brita seria menor em relação ao de areia natural.

4.1.4 Massa unitária e volume de vazios

Para este ensaio, o peso do recipiente com volume de 1 dm³ foi de 1516,68 g, enquanto o peso total (recipiente + areia) foi de 2912,84 g com areia natural e 3286,44 g com o pó de brita, conforme ilustrado na Figura 27(a), 27(b) e 27(c) respectivamente.

Figura 27 - Recipiente de 1 dm³(a), e preenchido com agregado natural (b) e artificial (c) soltos.



Fonte: Autores (2021)

Substituindo os valores resultantes do ensaio na Equação 4, têm-se que, para a massa unitária:

$$\rho_{ap_{AN}} = \frac{(2,913 - 1,517)}{0,001}$$

$$\rho_{ap_{AN}} = 1396 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ap_{AB}} = \frac{(3,286 - 1,517)}{0,001}$$

$$\rho_{ap_{AB}} = 1769 \text{ kg/m}^3$$

Para o volume de vazios, substituindo os valores de massa específica encontrados, na Equação 5, têm-se que:

$$E_{v_{AN}} = \frac{100[(2,63 * 1000) - 1396]}{2,63 * 1000}$$

$$E_{v_{AN}} = 46,92\%$$

$$E_{v_{AB}} = \frac{100[(2,94 * 1000) - 1769]}{2,94 * 1000}$$

$$E_{v_{AB}} = 39,83\%$$

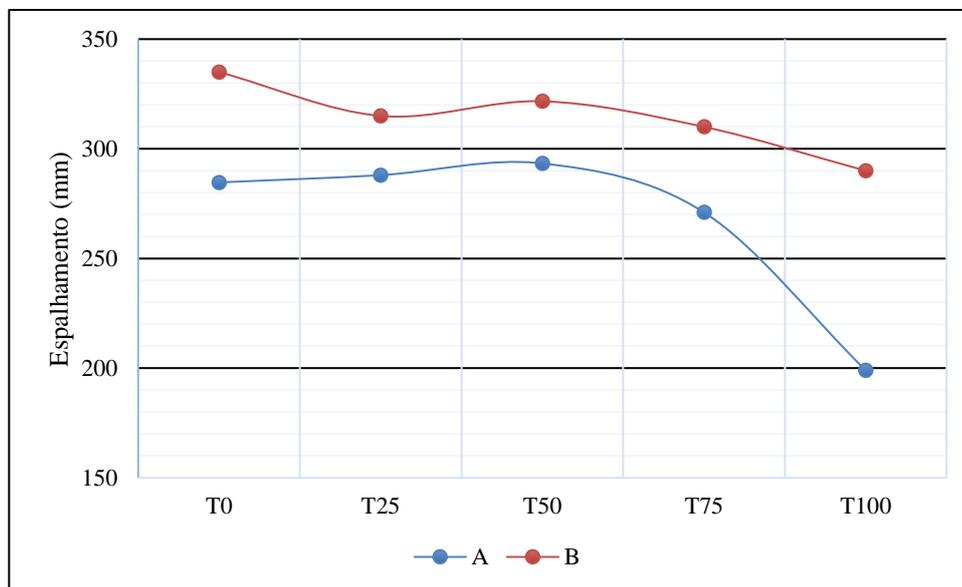
Tendo em vista tais resultados, constata-se que o teor de material pulverulento é diretamente proporcional à massa específica e unitária, e ambos são inversamente proporcionais ao índice de vazios. Diógenes (2016) justifica o fato devido ao preenchimento de vazios referente ao maior teor de finos, ocorrendo o empacotamento dos grãos.

4.2 ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

4.2.1 Índice de Consistência

A Figura 28 apresenta os dados apurados no ensaio *Flow Table*. Ao analisar, observa-se que o índice de consistência, em relação ao aumento da quantidade de areia britada utilizada, se comporta semelhante a uma parábola. Consta-se que, para relação $a/c = 1,0$ (A), o agregado 100% natural apresentou uma consistência adequada, com espalhamento de 285 mm, já o 100% britado não se enquadrou, com apenas 199 mm, diminuindo cerca de 30%, impedindo o seu manuseio com a falta de trabalhabilidade. Quanto as composições intermediárias, os agregados com 25 e 50 % de substituição poderiam ser utilizados sem aumentar a dosagem de água, e o com 75% já não seria tão indicado.

Figura 28 - Índice de Consistência



Fonte: Autores (2021)

O comportamento dos dados por ser explicado pelo fato da areia britada possuir uma maior massa unitária em relação a areia natural, o que, segundo Carasek et. al. (2016) provoca um aumento substancial da fluidez das misturas; no entanto, o alto teor de finos implica em maior consumo de água. Sendo assim, ao misturá-las, encontra-se as situações mais favoráveis,

tendo um agregado com valores intermediários de massa unitária e de teor de finos, não necessitando de mais água para alcançar a trabalhabilidade recomendada, indo de acordo com o afirmado por Freitas e Costa (2010) e Tokarski (2017).

Aumentando a relação a/c para 1,3 (B), o índice aumentou para todas as composições, melhorando a trabalhabilidade do traço feito apenas com areia artificial, permitindo a sua utilização no que diz respeito a consistência apresentada.

4.3 ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

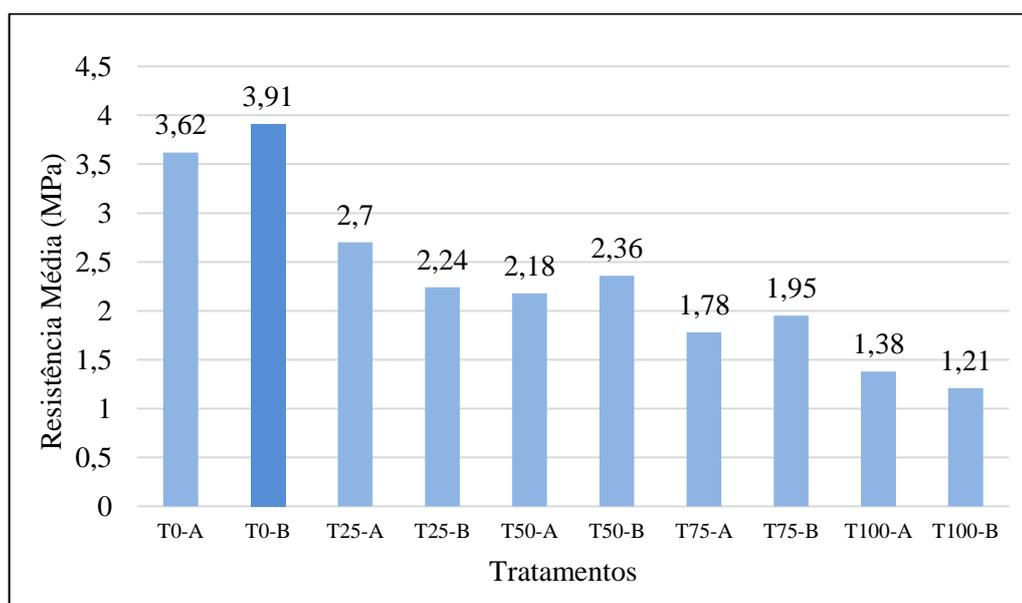
4.3.1 Resistência à tração na flexão

Os resultados médios obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão estão apresentados na Tabela 6, que conta com a média de quatro rompimentos em cada tratamento, sendo 3,91 MPa a maior resistência alcançada, no tratamento T0-B, traço composto por 100% de areia natural e relação a/c = 1,3. A Figura 29 representa graficamente as médias resistência à tração na flexão obtidas.

Tabela 6 - Resistência à tração na flexão.

Tratamento	Resistência média - 28 dias (MPa)
T0-A	3,62
T0-B	3,91
T25-A	2,70
T25-B	2,24
T50-A	2,18
T50-B	2,36
T75-A	1,78
T75-B	1,95
T100-A	1,38
T100-B	1,21

Fonte: Autores (2021).

Figura 29 - Resistência média à Tração na Flexão - 28 dias (MPa).

Fonte: Autores (2021).

Tais dados foram submetidos à análise estatística, a fim de compará-los de forma mais assertiva.

4.3.1.1 Análise Estatística

Como premissa para realização da análise, considerou-se a hipótese alternativa H1 como sendo a existência de diferença entre os tratamentos, e H0 como a hipótese nula, afirmando o oposto. A aceitação de uma implica na rejeição da outra.

A análise de variância para esquema fatorial de 5 doses de areia e 2 relações a/c está representada na Tabela 7.

Tabela 7 - Análise de Variância.

FV	GL	SQ	QM	F	P-Value
Doses de Areia	4	26,956	6,739	5,452	0,0020*
A.C	1	0,000	0,000	0,000	0,9989
Doses de Areia * A.C	4	0,764	0,191	0,155	0,9594
Resíduo	30	37,079	1,236		
Total	39	878,610			
CV (%) =	47,63				
Média geral:	2,334	Número de observações: 40			

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. FV = Fontes de Variação, GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.

Fonte: Autores (2021)

A partir dos valores de *P-Value*, constata-se que apenas o tratamento “Doses de Areia” apresenta diferença significativa, por ser menor que 5%. Já o tratamento “A.C” e a interação (doses de areia x relação a/c) o valor foi superior a 90%, mostrando que não há diferença significativa entre as doses de água e a sua interação com a areia.

Para a fonte de variação “Doses de Areia”, o comparativo de média Teste de Tukey retornou os resultados expressos na Tabela 8.

Tabela 8 - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamentos	Média
0	3,765 a
25	2,472 ab
50	2,271 ab
75	1,869 b
100	1,294 b

Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autores (2021)

Considerando apenas o tratamento "doses de areia", o melhor resultado quanto a resistência à tração na flexão foram com as doses de 0, 25 e 50% de areia artificial, visto que são iguais estatisticamente.

A análise de regressão para a variável “Doses de Areia”, apresentada na Tabela 9, mostra que apenas a regressão linear é satisfatória, com *p-value* menor que 0,05.

Tabela 9 - Análise de Regressão para variável “Doses de areia”.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	P-Value
Linear	1	24,609	24,609	19,910	0,000*
Quadrática	1	0,869	0,869	0,704	0,408
Cúbica	1	1,277	1,277	1,034	0,317
Desvio	1	0,199	0,199	0,161	0,691
Erro	30	37,079	1,236		

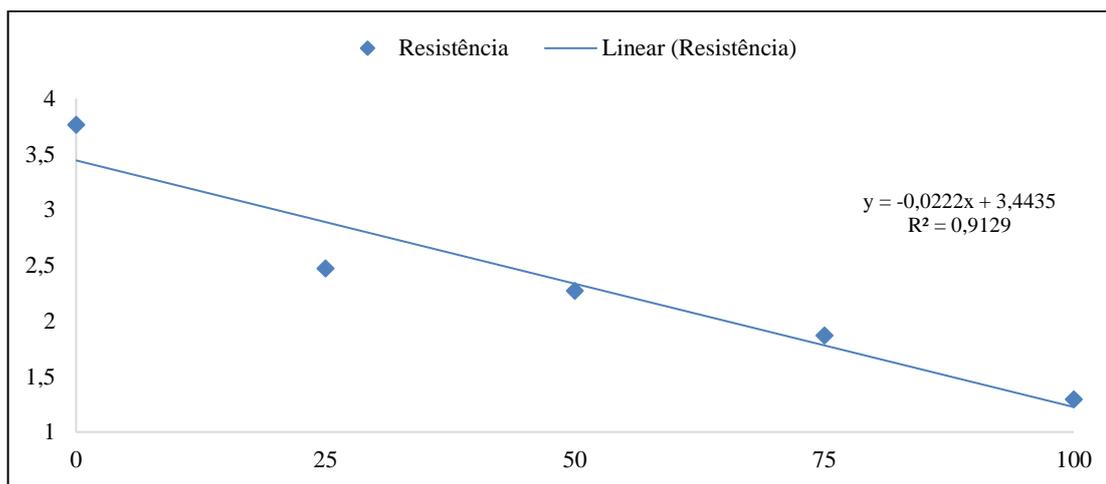
*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.

Fonte: Autores (2021)

Tendo em vista a Figura 30, nota-se por meio do gráfico que, por possuir um comportamento linear, a melhor resistência é com menores porcentagens de substituição do

agregado natural, visto que os valores tendem a diminuir conforme aumenta a incidência da areia britada, ou seja, obteve resultado contrário ao que se esperava, afetando de forma negativa na resistência alcançada. Nessas perspectivas, recomenda-se que esta propriedade seja analisada novamente, realizando os rompimentos em prensas devidamente calibradas, visto que a prensa disponibilizada pode não ter apresentados os resultados com total precisão.

Figura 30 - Regressão para doses de areia.



Fonte: Autores (2021)

4.3.2 Resistência à compressão

Os resultados médios obtidos no ensaio de resistência à compressão estão apresentados na Tabela 10, que mostra a média de quatro rompimentos em cada tratamento, sendo 15,45MPa a maior resistência alcançada, no tratamento T75-B, traço composto por 75% de substituição da areia natural pelo pó de brita e relação a/c = 1,3. A Figura 31 representa graficamente as médias obtidas por cada tratamento.

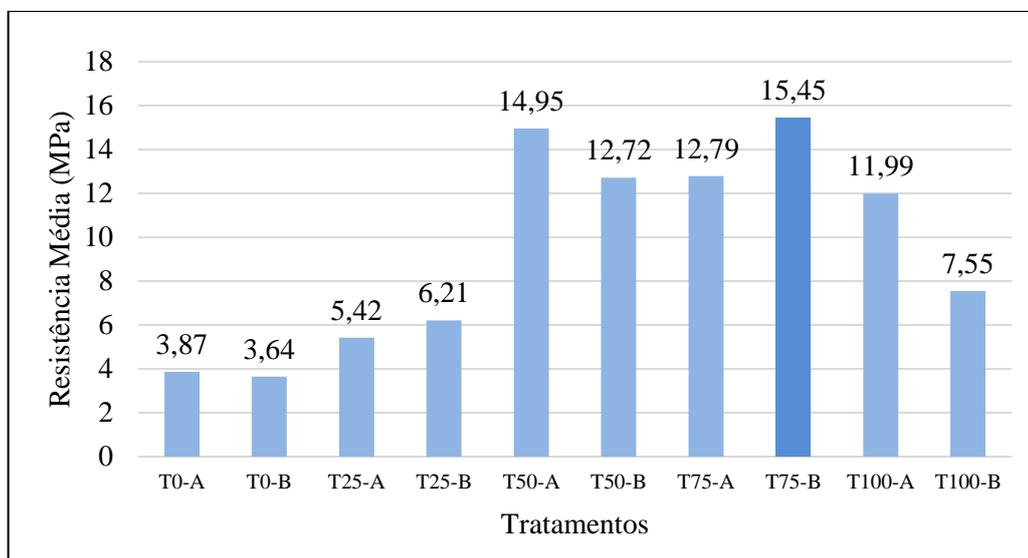
Tabela 10 - Resistência à compressão.

Tratamento	Resistência média - 28 dias (MPa)
T0-A	3,87
T0-B	3,64
T25-A	5,42
T25-B	6,21
T50-A	14,95
T50-B	12,72
T75-A	12,79
T75-B	15,45

T100-A	11,99
T100-B	7,55

Fonte: Autores (2021).

Figura 31 - Resistência média à compressão - 28 dias (MPa).



Fonte: Autores (2021).

Tais dados foram submetidos à análise estatística, a fim de compará-los de forma mais assertiva.

4.3.2.1 Análise Estatística

Como premissa para realização da análise, as hipóteses foram consideradas da mesma forma que a análise de resistência à tração na flexão, exposto no item 4.3.1.1.

A análise de variância para esquema fatorial de 5 doses de areia e 2 relações a/c está representada na Tabela 11.

Tabela 11 - Análise de Variância.

FV	GL	SQ	QM	F	P-Value
Doses de Areia	4	694,484	173,621	43,731	0,000*
A.C	1	4,788	4,788	1,206	0,280
Doses de Areia * A.C	4	60,230	15,057	3,793	0,013*
Desvio	30	119,107	3,970		
Total	39	878,610			
CV (%) =	21,07				
Média geral:	9,4575	Número de observações: 40			

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. FV = Fontes de Variação, GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.

Fonte: Autores (2021)

A partir dos valores de *P-Value*, constata-se que para os tratamentos (Doses de Areia) e a interação (doses x relação a/c) há diferença significativa entre as doses de areia, visto que o valor é menor que 5%.

Porém, como para A.C (relação a/c) o valor é maior que 5%, não há diferença significativa entre as doses de água. Tal fato era o esperado, visto que a adição de água tinha por objetivo melhorar a trabalhabilidade sem diminuir a resistência.

Para a fonte de variação “Doses de Areia”, o comparativo de média Teste de Tukey retornou os resultados expressos na Tabela 12.

Tabela 12 - Resumo do Teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamentos	Média
75	14,12 a
50	13,83 a
100	9,77 b
25	5,81 c
0	3,75 c

Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autores (2021)

O teste mostrou que as composições com 75% e 50% de areia artificial são iguais estatisticamente e são os tratamentos que apresentaram a maior média de resistência à compressão, indo de acordo com os resultados apresentados por outros autores como Tokarski (2017), Santos (2017), Macedo (2021), Lodi (2006) e Diógenes (2016).

Ademais, nota-se que todas as porcentagens de substituição da areia artificial apresentaram maior resistência que o tratamento de referência, 100% natural. Tal fato pode ser justificado pela maior concentração de finos presentes nas areias britadas em relação a areia natural, causando um empacotamento dos grãos, diminuindo o volume de vazios, também constatado pelos autores anteriormente citados.

A análise de regressão para a variável “Doses de Areia”, apresentada na Tabela 13, diz que as três regressões são satisfatórias, visto que em todas o *p-value* foi menor que 5%. No entanto, o resultado considerado na análise foi o quadrático pelo valor R^2 de 82,43%, já que o valor do R^2 da regressão linear não foi satisfatório (47,64%), com relação a essa variável.

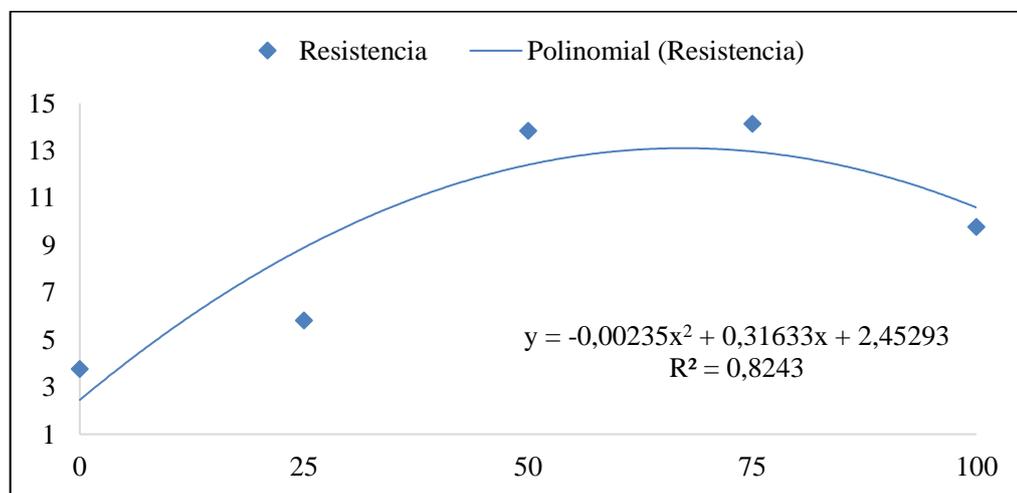
Tabela 13 - Análise de Regressão para variável “Doses de Areia”.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	P-Value
Linear	1	330,850	330,850	83,332	0,000*
Quadrática	1	241,580	241,580	60,848	0,000*
Cúbica	1	89,846	89,846	22,620	0,000*
Desvio	1	32,208	32,208	8,112	0,008
Erro	30	119,107	3,970		

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.

Fonte: Autores (2021)

Pelo o que foi apresentado, juntamente com a análise da Figura 32, observa-se que as composições intermediárias favorecem a resistência alcançada, visto que o gráfico se comporta como uma parábola, ou seja, os valores tendem a diminuir conforme distanciam-se do seu pico máximo, posicionado entre substituições com 50 e 75%. O ponto mais alto da curva quadrática, representado pelo x do vértice, é de 67,3%, ou seja, para os resultados analisados, a regressão indica um traço com 67% de areia artificial e 33% de areia natural como sendo a melhor dose com respeito a variável resistência a compressão.

Figura 32 - Regressão para “Doses de Areia”.

Fonte: Autores (2021)

Analisando o desdobramento das doses de areia para cada relação a/c, têm-se que ambas possuem diferença significativa entre si, visto que o p-value foi inferior a 5%, conforme exposto na Tabela 14.

Tabela 14 - Análise de Variância – Em cada relação a/c.

FV	GL	SQ	QM	F	P-Value
Doses de Areia / A	4	378,403	94,600	23,827	0,000*

Doses de Areia / B	4	376,311	94,077	23,696	0,000*
Erro	30	119,107	3,970		

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. FV = Fontes de Variação, GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.

Fonte: Autores (2021)

A partir do teste de Tukey, entre os traços moldados com a relação A ($a/c = 1,0$), os tratamentos T50, T75 e T100 foram os melhores, apresentando resistência mais elevada em relação aos outros. O resultado do teste está exposto na Tabela 15.

Tabela 15 - Resumo do Teste Tukey para relação A ($a/c = 1,0$).

Tratamentos	Média
50	14,95 a
75	12,79 a
100	11,99 a
25	5,42 b
0	3,87 b

Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autores (2021)

Para os traços moldados com a relação B ($a/c = 1,3$), os tratamentos T75 e T50 apresentaram melhores resultados, conforme analisado na Tabela 16.

Tabela 16 - Resumo do Teste Tukey para relação B ($a/c = 1,3$).

Tratamentos	Média
75	15,45 a
50	12,72 a
100	7,54 b
25	6,20 b
0	3,64 b

Resultados seguidos de mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autores (2021)

A Tabela 17 mostra a análise de regressão para desdobramento de “doses de areia” dentro dos dois tipos de a/c testados, denominados A e B. Para a relação “A”, as regressões analisadas deram resultados satisfatórios quanto ao valor p -value (menor que 5%), porém o resultado considerado o melhor foi o quadrático pelo valor R^2 de 79,22%, já que o valor do R^2 da regressão linear não foi satisfatório (58,92%), com relação a variável “resistência à compressão”. O mesmo ocorreu para a relação “B”, o resultado considerado o melhor também

foi o quadrático pelo valor R^2 de 77,37%, já que o valor do R^2 da regressão linear não foi satisfatório (30,95%), com relação a variável "resistência à compressão".

Tabela 17 -Análise de Regressão para o desdobramento de “Doses de Areia” em a/c.

Relação A.C.	Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	P-Value
A	Linear	1	222,973	222,973	56,161	0,000*
	Quadrática	1	76,799	76,799	19,344	0,000*
	Cúbica	1	17,464	17,464	4,399	0,044*
	Desvio	1	61,168	61,168	15,407	0,000
	Erro	30	119,107	3,970		
B	Linear	1	116,451	116,451	29,331	0,000*
	Quadrática	1	174,699	174,699	44,002	0,000*
	Cúbica	1	85,118	85,118	21,439	0,000*
	Desvio	1	0,042	0,042	0,011	0,919
	Erro	30	119,107	3,970		

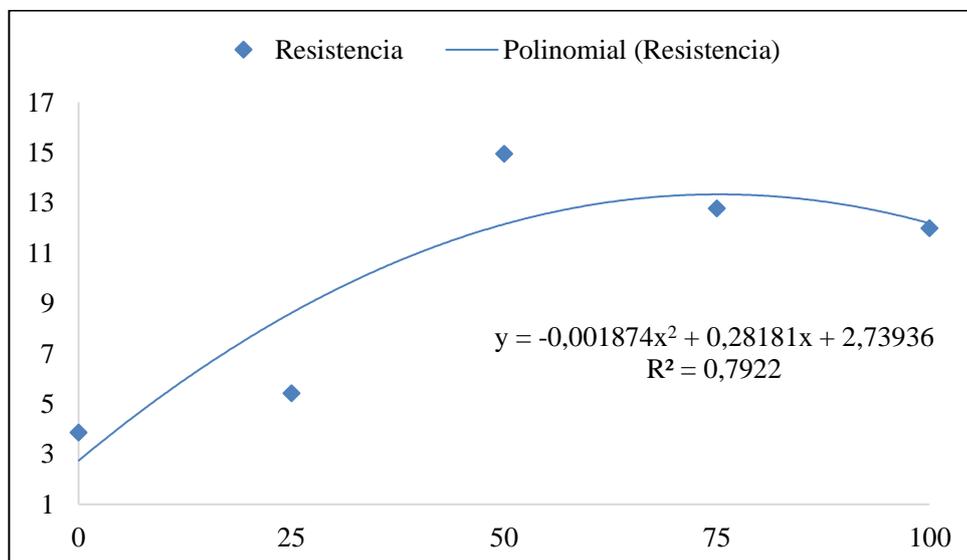
Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. FV = Fontes de Variação, GL = Graus de Liberdade, SQ = Soma dos Quadrados, QM = Quadrado Médio, CV = Coeficiente de Variação em %.

Fonte: Autores (2021)

As Figuras 33 e 34 ilustram as regressões quadráticas para os desdobramentos dentro das duas relações a/c, A e B, respectivamente. Constata-se que os melhores resultados estão compreendidos nas composições intermediárias, mostrando que a junção das propriedades das duas areias é a melhor opção, considerando o aumento de resistência apresentado

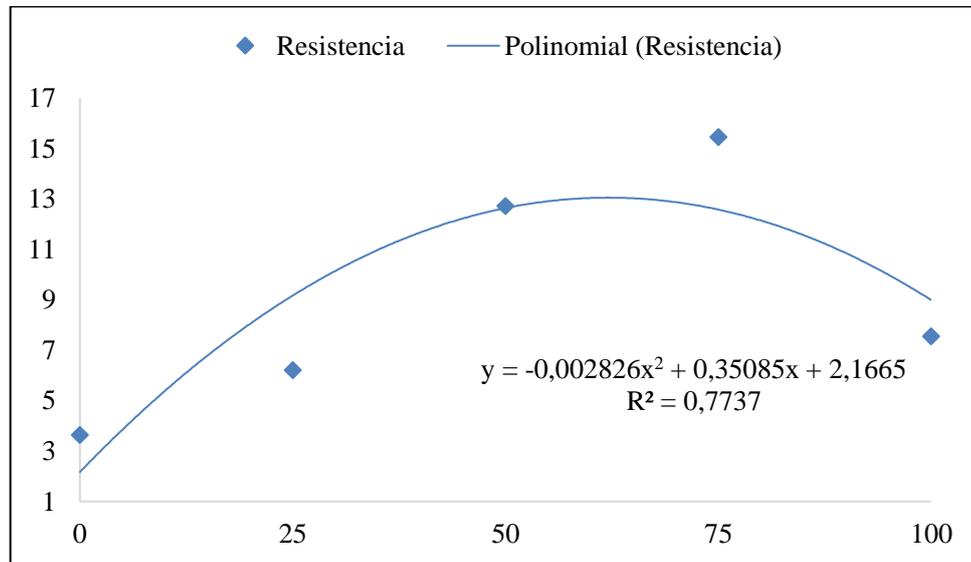
O ponto máximo das curvas apresentadas para as relações a/c A e B, ilustrando o x do vértice são respectivamente, 75% e 62%, confirmando a dose de areia artificial entre 50 e 75%

Figura 33 - Regressão para desdobramento de doses de areia em a/c A.



Fonte: Autores (2021)

Figura 34 - Regressão para desdobramento de doses de areia em a/c B.



Fonte: Autores (2021)

4.4 ANÁLISE DE CUSTO

A utilização da areia oriunda do processo de britagem do agregado graúdo visa obter benefícios econômicos e ambientais, pois o material, antes descartado, passaria a ser comercializado e a extração da areia natural, um recurso finito e não renovável, diminuiria.

Os valores expostos na Tabela 18 correspondem ao preço orçado com fornecedores dos materiais. Para a areia natural, foi feita uma média com vários fornecedores da região, e para a areia de britagem de rocha calcária, foi feito um orçamento com a indústria PIRECAL Calcário Agrícola, localizada no município da Vila Propicio – GO, em 26 de outubro de 2021, considerando-se o valor à vista.

Tabela 18 - Valor unitário médio de agregado miúdo.

Material	Unidade	Valor unitário médio* (R\$)
Areia Natural	m ³	99,80
Areia de Britagem de Rocha Calcária	m ³	37,00

* - Valores pesquisados em outubro de 2021

Fonte: Autores (2021)

Mediante aos dados apresentados, nota-se que o custo da areia de britagem de rocha calcária é aproximadamente 63% inferior ao da areia natural.

Nessas perspectivas, desconsiderando o frete, o valor necessário para adquirir 1 m³ de areia natural, seria equivalente a adquirir aproximadamente 2,7 m³ da areia britada, sendo assim, o resíduo apresenta grande viabilidade econômica, reduzindo os custos de forma significativa.

No entanto, por não possuir fornecedores desta areia artificial em algumas regiões, caso a edificação esteja localizada em um local que não tenha o material disponível, a inclusão do frete pode tornar a aquisição mais cara.

5 CONCLUSÕES

No que diz respeito à composição granulométrica, constatou-se que as composições mais indicadas são as compostas pelos dois tipos de areia, pois, ao misturá-las, o agregado final não apresenta a graduação não uniforme da areia natural, ao passo que também não apresenta quantidade de finos superior ao recomendado como a areia artificial.

Quanto aos aspectos técnicos, a partir dos resultados referentes à consistência e às resistências mecânicas analisadas, conclui-se que as composições intermediárias, com agregados compostos por 25 e 50 % de substituição apresentaram consistência recomendada e poderiam ser utilizados sem aumentar a dosagem de água, já o tratamento feito com 75% de areia de britagem não seria tão indicado, mas, aumentando a relação a/c para 1,3, o índice aumentou para todas as composições, melhorando a trabalhabilidade. Vale ressaltar que esta alteração da dosagem da água não alterou de forma significativa as resistências mecânicas alcançadas.

Ao que se refere os resultados de resistência à tração na flexão das argamassas testadas, considerando apenas o tratamento "doses de areia", os melhores resultados foram com 0, 25 e 50% de substituição do agregado natural. Sendo assim, recomenda-se que os ensaios sejam refeitos, a fim de confirmar os dados obtidos, visto que o comportamento foi oposto ao esperado, tornando a argamassa menos resistente conforme o aumento da substituição.

Mediante aos resultados de resistência à compressão axial das argamassas testadas, constatou-se que as composições com 75% e 50% de areia artificial com relação a/c = 1,3 alcançaram maior resistência.

No que diz respeito a viabilidade econômica, o custo da areia de britagem de rocha calcária é aproximadamente 63% inferior ao da areia natural, diminuindo significativamente o custo final da obra, a depender da região em que está localizada.

De modo geral, a partir dos resultados, conclui-se que a substituição da areia natural pela areia de britagem é técnica e economicamente, a depender da região adquirida, viável.

Entre as vantagens, aponta-se a sustentabilidade como sendo uma das principais vantagens da substituição da areia natural, uma vez que sua utilização causa diminuição dos danos causados pela exploração da areia e pelos resíduos das rochas ornamentais.

Ao passo que a areia de britagem apresentou resultados superiores aos da areia natural em vários aspectos, um preço competitivo e inúmeras vantagens sustentáveis, é provável sua aceitação no setor civil, a partir da divulgação dos conhecimentos acerca do material.

5.6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar ensaios para testar a aderência da argamassa de areia de britagem;
- Utilizar o Método do Cachimbo para avaliar como a temperatura e a umidade relativa do ar influenciam na absorção de água e na permeabilidade do revestimento;
- Estudar a substituição dos aditivos plastificantes por cal, incorporadores de ar e/ou retentores de água na produção de argamassa com areia de britagem de rocha, para uma comparação de qualidade e vantagem econômica na produção destas argamassas;
- Aprofundar os estudos para verificar a correlação entre o módulo de elasticidade com as resistências de compressão e de tração na flexão no controle de fissuração em revestimentos de argamassa;
- Testar porcentagens de areia de britagem de rocha calcária, no traço diferente das usadas nesta pesquisa, para obtenção de mais alternativas de uso desta areia;
- Estudar o desempenho das argamassas compostas por areia de britagem de rocha calcária em função de seu envelhecimento com exposição as intempéries para o uso em argamassas de revestimento externas;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. L. M. S. L. **Argamassas tradicionais e industriais de alvenaria em edifícios.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57494/1/000141371.pdf>. Acesso em: 06 abril 2021.

ALMEIDA, S. L. M.; BISPO, L.H.O. **Obtenção de areia artificial a partir de finos de pedreiras – análises de ensaios.** Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2003. Boletim Técnico.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Construção de edifícios do início ao fim da obra – São Paulo/SP:** Editora PINI Ltda., 2015.

ARANHA, R. P. **Viabilidade econômica na construção de edificações residenciais sustentáveis em São Luís–MA através do Selo Casa Azul da CAIXA.** 149 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

ARAÚJO, N. N. **Desempenho de argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados oriundos do resíduo de construção e demolição da grande Natal-RN.** 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE (2020), “**Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018-2019**”. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 01 mar. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

_____ NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2016.

_____ NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

_____ NBR 13529: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia.** Rio de Janeiro, 1995.

_____ NBR 13529: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia.** Rio de Janeiro, 2013.

_____ NBR 13530: **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.** Rio de Janeiro, 1995.

_____ NBR 13749: **Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas – Especificação.** Rio de Janeiro. 2013.

_____ NBR 16541: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios.** Rio de Janeiro, 2016.

- _____ NBR 16697: **Cimento Portland — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.
- _____ NBR 16915: **Agregados – Amostragem**. Rio de Janeiro, 2021.
- _____ NBR 16972: **Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. Rio de Janeiro, 2021.
- _____ NBR 16973: **Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem**. Rio de Janeiro, 2021.
- _____ NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- _____ NBR 7200: **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.
- _____ NBR 7211: **Agregados: para concreto- Especificação**, Rio de Janeiro, 2009.
- _____ NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2019.
- _____ NBR 9935: **Agregados Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.
- _____ NBR NM 248: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro. 2003.
- BACARJI, E.; TOLEDO FILHO, R. D. **Concretos auto adensáveis com incorporação de resíduos de britagem de rochas: desempenho no estado fresco**. In: 3º Congresso Ibero-americano sobre betão auto-compactável. Madrid. 2012.
- BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. 88p. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Bauru, São Pulo, 2011.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**, 1; Revisão técnica João Fernando Dias. V 5. Ed. Revisada. – [Reimp.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2012.488p.
- BESEN, D. W.; DA SILVA, R. L. M. **Tecnologias inovadoras e sustentabilidade na construção civil: um estudo de caso em Santa Catarina, SC**. Engenharia Civil-Pedra Branca, 2017.
- BEZERRA, L. S. **Análise da substituição parcial da areia por pó de rocha calcária no concreto**. 2019. Centro de Engenharias – CE. Universidade Federal Rural do Semiárido.
- BORTOLUZZI, A. C. **Principais desafios para a implantação de métodos sustentáveis na construção civil no Brasil e a importância do planejamento para a sua manutenção**. MBA Gestão de Obras e Projetos-Florianópolis, 2017.
- BRITO, A. C. **Gestão e controle de qualidade nos procedimentos referentes a revestimento argamassado**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte – MG. 2016.

CARASEK, H. **Argamassas**. Cap. 26. In: ISAIA, G.C. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2010.

CARASEK, H., ARAUJO, R.C., CASCUDO, O., et al., **Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento**, *Revista Matéria*, v. 21, n. 3, pp. 714-732, 2016.

CARVALHO JUNIOR, A. N. **Notas de aula - Técnicas de Revestimento - Módulo 1 – Argamassas**. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia de Materiais e Construção. Belo Horizonte – MG. 2017.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **PIB Brasil e Construção Civil**. Brasília: CBIC, 2020.

CECHIN, L.; TOKARSHI, R. B.; TRENTO, T. P. W.; MATOSKI, A. **Utilização da areia industrial em argamassas de revestimento**. *Principia*, João Pessoa, n. 29, p.77-87, jun. 2016.

CINTRA, C. L. D. **Argamassa para revestimento com propriedades termoacústicas, pronta a partir de vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus**. 2013. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

COSTA, I. **Estudo comparativo entre as argamassas de revestimento externo: preparada em obra, industrializada fornecida em sacos, e estabilizada dosada em central**. 2016a. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates. Lajeado, 2016.

COSTA, J. M.; REZENDE, J. F. D. **Aprendizagem organizacional e sustentabilidade ambiental: um estudo com as empresas associadas à Redepetro-RN**. *Gestão e Sociedade*, v. 9, n. 24, p. 1098-1127, 2015.

COSTA, M. R. M. M. **Tecnologia das argamassas**. Notas de Aula. Universidade Federal do Paraná. 2016.

COSTA, M. R. M. M. **Tecnologia de argamassa**. Universidade Federal do Paraná, 2014. Disponível em:

http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/9/9a/TC034_Aula_Argamassas_Gradua%C3%A7%C3%A3o_2014_parte_IIa.pdf. Acessado em: 21 abr. de 2021.

DACHERY, M. **Avaliação das propriedades da argamassa estabilizada para revestimento externo: aplicação em diferentes substratos, durante diferentes períodos de utilização**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 04 dez. 2015. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/handle/10737/951>>. Acesso em: 05 mar. 2021.

DAFICO, D. A. **Básico da química do cimento Portland**. 1 ed. [S.l.]: [s.n.], 2012.

DAMO, G. F. **Avaliação do desempenho de diferentes agregados miúdos de britagem em concreto de cimento Portland**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

DIÓGENES, A. G. **Estudo do comportamento de argamassas de revestimento com areia de britagem da região metropolitana de Fortaleza.** Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza- CE. 2016.

DUARTE, J. B. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto em cimento Portland.** 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

FARIA, P. **Argamassas sustentáveis.** Em 2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono (p. 1–12) 2010.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.38, n.2, p.109-112, 2014.

FERREIRA, L. M. **Possíveis causas e soluções para fissuras em fachadas com revestimento argamassado em edifícios de formosa-go – estudo de caso.** Centro Universitário de Brasília, 2014.

FONTES, W.C. **Utilização do rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado para argamassas de revestimento e assentamento.** Dissertação de Mestrado – Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 112 p., 2013.

FREITAS, C.; COSTA, M. R. M. M. **Estudo da influência da distribuição granulométrica no desempenho de argamassas com areia britada.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 13., 2010, Canela - RS. Anais. Canela - RS: ANTAC, 2010.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA QUALIDADE: **Desenvolvimento Sustentável e o Modelo de Excelência da Gestão.** São Paulo, 2017.

GASPERIN, J. **Aderência de revestimentos de argamassa em substrato de concreto: influência da forma de aplicação e composição do chapisco.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GROCHOT, B. M. **Avaliação dos métodos de ensaio preconizados na NBR 15575-4/2010 quanto à estanqueidade à água aplicados em revestimentos de argamassa.** Trabalho de Diplomação em Engenharia Civil apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da 2021.

GUACELLI, P. A. G. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassa de revestimento.** 2010. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2010.

HEEMANN, F. W. **Substituição de agregado natural em argamassa por areia artificial.** Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ - 2014.

HERMANN, A.; ROCHA, J. P. **Pesquisa de viabilidade da utilização da argamassa estabilizada modificada para revestimento sem a necessidade de aplicação do chapisco.** Pato Branco. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. 2013.

HONÓRIO, T.; CARASEK, H. **Influência da absorção de água do substrato na resistência superficial de revestimentos de argamassa.** In: 3ro Congresso Portugues de Argamassas de Construção, Lisboa, Portugal. 2010.

ISAIA, G.C. **Água no Concreto.** Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), v.1, p.311-346. 2011.

ISHIKAWA, Paulo H. **Propriedades de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural.** 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

JACQUES, J.R. **Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Concreto de Cimento Portland.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

JOCHEM, L. F. **Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD: características físicas e propriedades da microestrutura.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

LARUCCIA, M. M. **Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil.** ENIAC Pesquisa, Guarulhos (SP), v. 3, n. 1, p. 69-84, 2014.

LEAL, M. M. R. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado.** 215f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – EST Barreiro/ IPS. 2012.

LEITE, A. P. M. **Utilização do pó de granito como substituição parcial do agregado miúdo, na fabricação de argamassas.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil – Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB, São Luís, 2021.

LODI, V. H. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó - SC.** In: Workshop Desempenho de Sistemas Construtivos, Unochapecó, Chapecó, SC, nov. de 2006.

LONGHI, M. A. **Revestimentos de argamassa industrializada sobre substrato de concreto estrutural: análise do desempenho quando submetidos a envelhecimento acelerado.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012.

MACEDO, J. W. Nogueira de. **Argamassa de revestimento produzida a partir da substituição do agregado natural por resíduo de scheelita e pó de pedra.** 2021. (Dissertação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Natal, 2021.

MARGALHA, M. G. **Argamassas. Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património.** 2011. Universidade de Évora. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4969/1/Argamassas.pdf>. Acesso 06 de abril de 2021.

MATOS, L. F.; ALLEM, P. M.; PIVA, J. H. **Avaliação da substituição do agregado miúdo natural (areia) pelo agregado miúdo de britagem (pó de pedra) quanto às características mecânicas do concreto.** UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense. 2017.

MELLO, A. **Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental urbana, Universidade Federal da Bahia.

MELO, F. C. A. C. **Análise de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinza residual de lenha de algaroba.** 2012. 104 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

MILAGRES, A. N. *et al.* **Fabricação de argamassa mista utilizando areia contaminada com resíduos de rejeito da barragem de Fundão–Mariana/MG.** Revista Científica UniScientiae, v. 1, n. 2, 2018.

MONTEIRO, T. J. P.; SILVA, I. B. **Aplicação e produção de revestimentos argamassados em alvenarias nas construções de pequeno porte: estudo de caso.** 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário CESMAC, Maceió-AL, 2019.

MORAIS, P. P.; SPERANDIO, K. P. **Análise da substituição parcial de agregados por resíduos de pneus em blocos sextavados.** Pensar Acadêmico, v. 18, n. 1, p. 30-53, 2020.

MORAND, F. G. **Estudo das principais aplicações de resíduos de obra como materiais de construção.** 2016. Monografia – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017420.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2021.

MORONI, A. Y. **A sustentabilidade da extração de areia: um estudo de caso sobre a cooperativa catareia – Dom Pedrito/RS.** Revista Geografia em questão, 2015. Disponível em: <<http://revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/10224/8378>> Acesso em 13 de abr. 2021.

NANTHAGOPALAN, P.; SANTHANAM, M. **Fresh and hardened properties of self compacting concrete produced with manufactured sand.** Cement and Concrete Composites. 33(2010), 353-358.

NASCIMENTO, A. S. S.. **Estudo para desenvolvimento de argamassa de revestimento com reaproveitamento de resíduos de corte de granito.** 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Estância, 2019.

NETO, P. G. S.; ALCÂNTARA, R. L. **Ferramentas de Sustentabilidade em Edificações.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Rio Grande do Sul, v.19, 2015.

OLIVEIRA, K. A.; WBATUBA, B. B. R.; NETO, E. R.. **Desenvolvimento Sustentável na Construção Civil: O Caso de uma Construtora do Noroeste do Estado do RS.** X Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional, 2019.

OLIVEIRA, V. C. **Estudo comportamental da formulação, dos requisitos, e das propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento**. 2017. 245 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) — Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ORGANIZAÇÃO NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL (ONUBR): **Banco de Dados**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 02 de abril de 2021.

PAGOTO, L. M. **Estudo do comportamento à água em argamassas de revestimento incorporadas com borracha de pneus**. 165f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho. 2018.

PAIXÃO, S. D. O. **Estudo do uso de resíduo cerâmico de obras como agregado miúdo para a fabricação de argamassas para revestimento de alvenarias**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013.

PEDRO, D. A. G. **Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus**. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado em Construção) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

PEREIRA, C. **Qual a diferença entre reboco, emboço e chapisco?**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/diferenca-reboco-emboco-e-chapisco/>. Acesso em 08 nov. 2021.

PERETTO, A. K. **Argamassa projetada: avaliação das propriedades no estado fresco e endurecido**. 2017. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

PINHEIRO, C. D. S. D. S. **Extração de areia e seixo: Desenvolvimento ou degradação? O caso de Porto Grande/AP**. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará. Macapá. 2016.

PIRECAL CALCÁRIO. **Pó de Brita**. 2021. Disponível em: <<http://pirecal.com.br/pagina/po-de-brita>>. Acesso em 20 jun. 2021.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo a argamassa**. 1º edição Editoração Eletrônica Visual Produções. EDIPURS. Porto Alegre. 2012.

REICHERT, L. S., BARTH, A. A., KIST, K. J., & LIMANA, L. **Construção Civil e Sustentabilidade: Metodologias Construtivas**. XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2017 Ijuí – RS – 2017.

RIBEIRO, K. F. A., BRANCO, M. P. V., VALIN JUNIOR, M. O., & DE ALMEIDA, E. S. **Estudo da substituição da areia pelo pó de pedra como agregado miúdo em argamassa**. Anais do 4º Encontro em Engenharia de Edificação e Ambiental, 23-24.

RODRIGUES FILHO, H. E. **Avaliação dos Requisitos Normativos das Argamassas Industrializadas Associados a Critérios de Emprego e Utilização**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

RODRIGUES, B. L. S. **Verificação da aderência de uma argamassa aplicada em blocos estruturais de concreto**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG. 2018.

- SALVI, C. R. **Avaliação da resistência de aderência á tração de argamassas de revestimento sobre diferentes substratos na cidade de Guaporé/RS.** 2017. Monografia Graduação em Engenharia Civil – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 06 dez. 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/1920>>.
- SANKH, AKSHAY C., *et al.* "**Recent trends in replacement of Natural sand with different alternatives.**" Proceedings of the International Conference on Advances in Engineering and Technology. 2014.
- SANTOS, L. P.; DALL'OGGIO, V.; **Análise comparativa entre argamassas estabilizada e preparada em obra.** Engenharia Civil. Universidade do Sul de Santa Catarina. Pedra Branca, SC. 2017.
- SANTOS, W. J. D. **Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento.** 2014. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2014.
- SILVA, A. C. **Impactos ambientais causados pela extração de areia no Rio Paraíba, no trecho da cidade de Pilar – PB.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2016. Disponível em: <<http://www.ccen.ufpb.br/ccblg/contents/documentos/bacharelado/trabalhos-de-conclusao-de-curso-2016.2/adriano-cavalcanti-da-silva.pdf/view>>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- SILVA, A. M.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars.** Construction and Building Materials, v. 71, p. 226-236, set. 2014.
- SILVA, D. G.; MELO, L. A.; **Aplicação de bactérias biocimentantes no tratamento de patologias de revestimentos de argamassa.** Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - IFG. Aparecida de Goiânia, 2018.
- SILVA, J. R. D.; BAO, M. **Análise técnica e econômica da utilização de areia de britagem com granulometria otimizada em argamassa de chapisco e emboço.** 2014. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.
- SILVA, N. G. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária.** Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SILVA, N. G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.
- SILVA, T. W A. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento adicionadas com cinzas de casca de briquetes de coco de babaçu.** Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste Núcleo de Tecnologia - Curso de Graduação em Engenharia Civil. Caruaru-PE. 2013.
- SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Guia de Sustentabilidade na Construção Civil no Rio Grande do Sul.** SINDUSCON. 2013. Disponível em: <http://abesc.org.br/wp>

content/uploads/2016/08/Cartilha_Sustentabilidade_WEB.pdf. Acesso em 06 de abril de 2021.

SINGH, S. K.; KIRTHIKAS. K.; E SURYA, M. **Agenda for use of alternative sands in India**. Indian Concrete Institute Journal. 2018.

SOUZA, C. H. B. D. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com adição do resíduo do polimento de porcelanato**. 65f. Monografia – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

TEODORO, S. B. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. Universidade Federal de Juiz de Fora - Faculdade De Engenharia Civil. 2013.

TIGGEMANN, T. G. **Argamassas industrializadas para revestimento utilizadas na cidade de Lajeado/RS: comportamento em diferentes substratos**. 2016. Monografia de Graduação em Engenharia Civil – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 29 jun. 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/1285>>.

TOKARSKI, R. B. **Comportamento da areia de britagem de rocha calcária na argamassa de revestimento**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Curitiba, 2017.

TOKUDOME, N. **Influência da distribuição morfológica das areias nas propriedades reológicas e estado endurecido de argamassa de revestimento aditivada**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TREVISOL JUNIOR., L. A. **Estudo Comparativo entre as Argamassas: Estabilizada Dosada em Central, Industrializada e Produzida em Obra por meio de Ensaio Físicos nos Estados Fresco e Endurecido**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia para Desenvolvimento (Institutos Lactec), Curitiba, 2015.

TUSSET, C. **Avaliação de desempenho de revestimento externo de argamassa quanto à permeabilidade e resistência à aderência – Estudo de caso**. Trabalho de Diplomação em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

VAZ, C. E. **Avaliação de desempenho de argamassa modificada: com areia de pet**. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Alegrete, 2016.

VIACELLI, L. **Estudo da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado em concreto convencional**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2012.

VIEIRA, E. G.; REZENDE, E. N. **Mineração de areia e meio ambiente: é possível harmonizar?** Revista do Direito Público, v. 10, n. 3, p. 181-212, 2015.

VIEIRA, R. S. **Estudo de argamassas industrializadas para assentamento de alvenaria estrutural de bloco de concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC. Florianópolis – SC. 2019.

VIERO, E. H. **Aplicação de areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento Portland**. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência

dos Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Tecnologia, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul-RS, 2010.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Cimento para uso geral: todas as obras.** c2017. Disponível em: <<https://www.votorantimcimentos.com.br/produtos/cimentos-tocantins/todas-as-obras-2/>>. Acesso em: 26 out. 2021.

APÊNDICE A

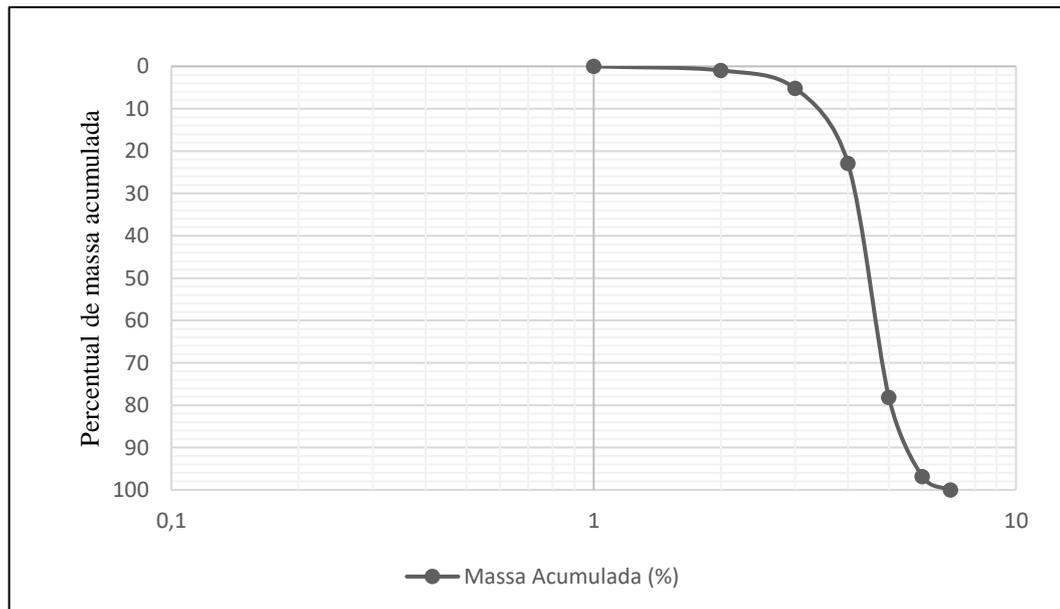
CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS AREIAS

Tabela 19 - Distribuição Granulométrica 100% Areia Natural.

Peneira (mm)	100% Areia Natural		
	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Acumulada (%)
4,75	0	0,00	0,00
2,36	9,55	0,96	0,96
1,18	42,45	4,25	5,20
600	177,05	17,72	22,92
300	551,76	55,22	78,15
150	186,52	18,67	96,81
Fundo	31,85	3,19	100,00
TOTAL	999,18		

Fonte: Autores (2021)

Figura 35 - Curva Granulométrica 100% Areia Natural.

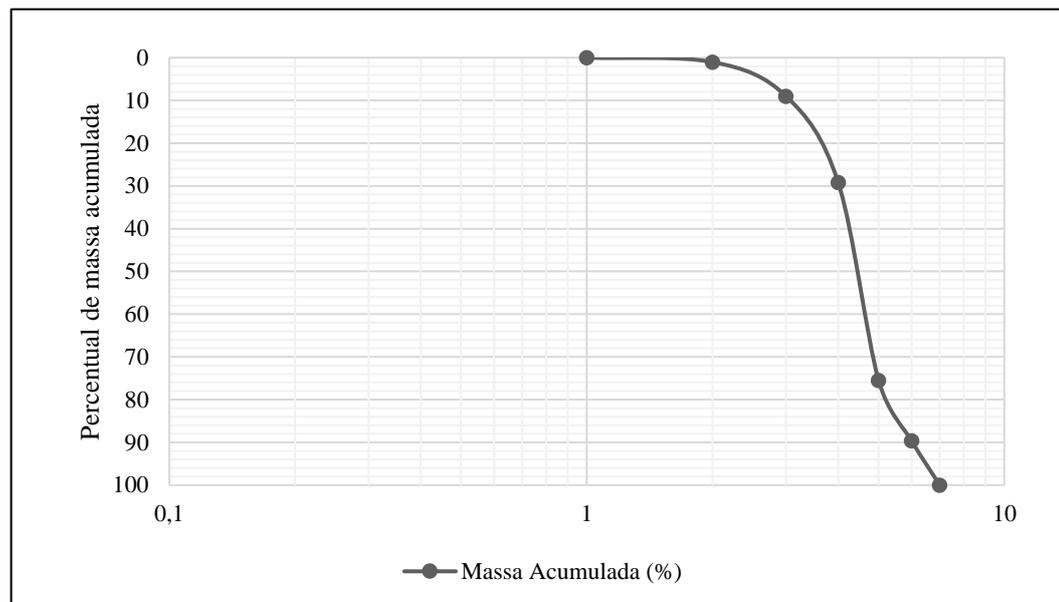


Fonte: Autores (2021)

Tabela 20 - Distribuição Granulométrica 25% Areia Artificial.

Peneira (mm)	75% Areia Natural + 25% Areia Artificial		
	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Acumulada (%)
4,75	0	0,00	0,00
2,36	10,22	1,02	1,02
1,18	79,6	7,98	9,00
600	201,52	20,20	29,20
300	462,2	46,33	75,54
150	140,9	14,12	89,66
Fundo	103,13	10,34	100,00
TOTAL	997,57		

Fonte: Autores (2021)

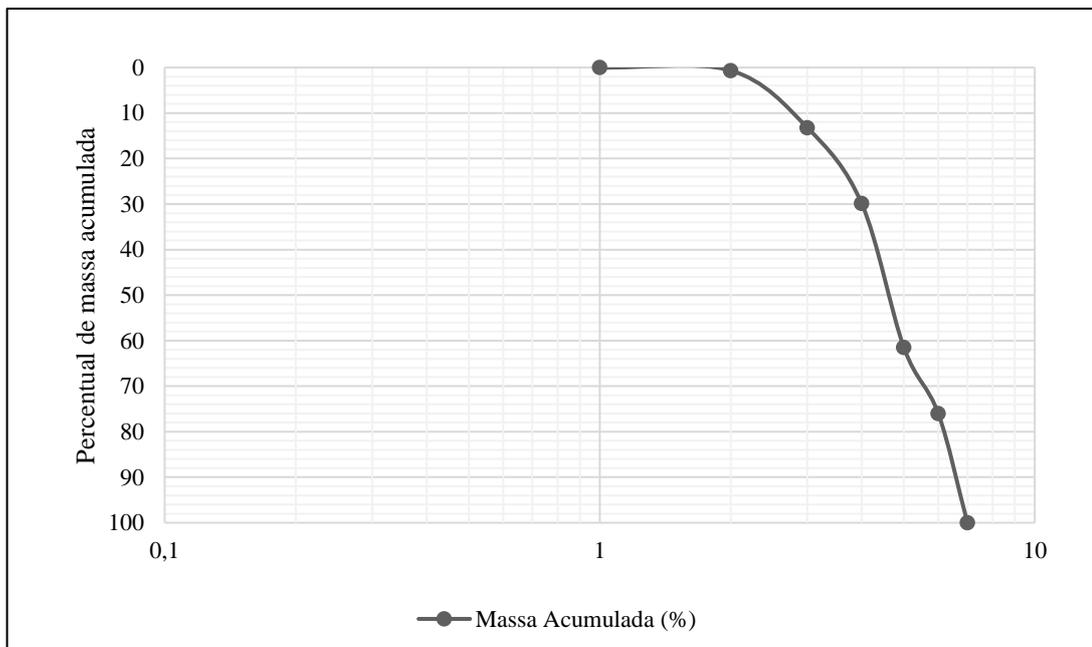
Figura 36 - Curva Granulométrica 25% Areia Artificial.

Fonte: Autores (2021)

Tabela 21 - Distribuição Granulométrica 50% Areia Artificial

Peneira (mm)	50% Areia Natural + 50% Areia Artificial		
	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Acumulada (%)
4,75	0	0,00	0,00
2,36	6,55	0,66	0,66
1,18	125,32	12,55	13,21
600	166,23	16,65	29,86
300	315,67	31,62	61,47
150	145,14	14,54	76,01
Fundo	239,53	23,99	100,00
TOTAL	998,44		

Fonte: Autores (2021)

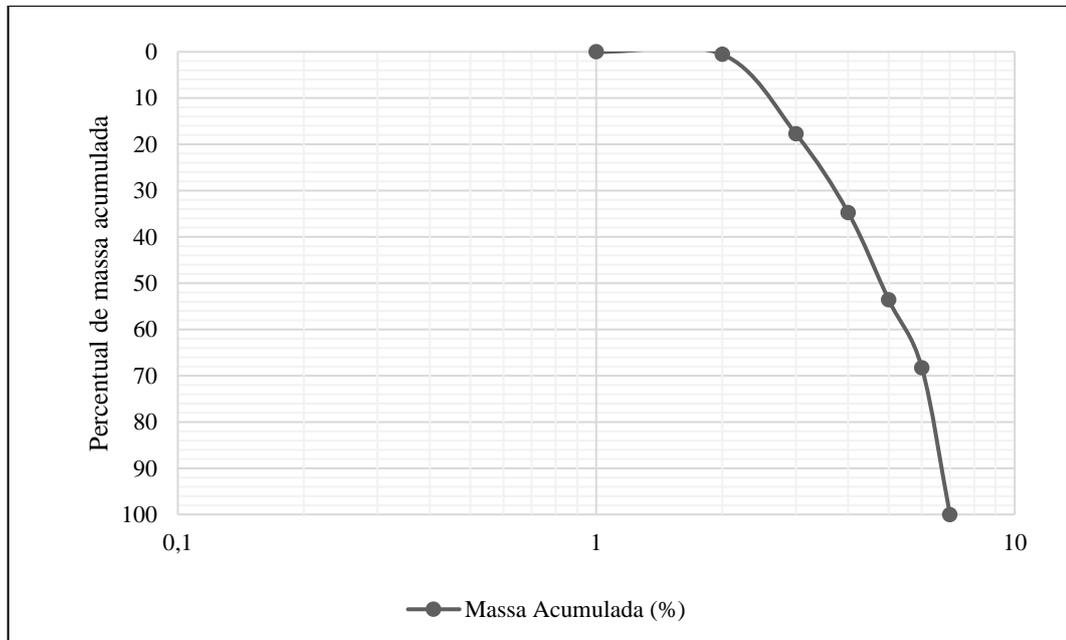
Figura 37 - Curva Granulométrica 50% Areia Artificial.

Fonte: Autores (2021)

Tabela 22 - Distribuição Granulométrica 75% Areia Artificial.

Peneira (mm)	25% Areia Natural + 75% Areia Artificial		
	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Acumulada (%)
4,75	0	0,00	0,00
2,36	5,4	0,54	0,54
1,18	171,66	17,20	17,74
600	169,62	16,99	34,73
300	188,56	18,89	53,62
150	146,64	14,69	68,31
Fundo	316,32	31,69	100,00
TOTAL	998,2		

Fonte: Autores (2021)

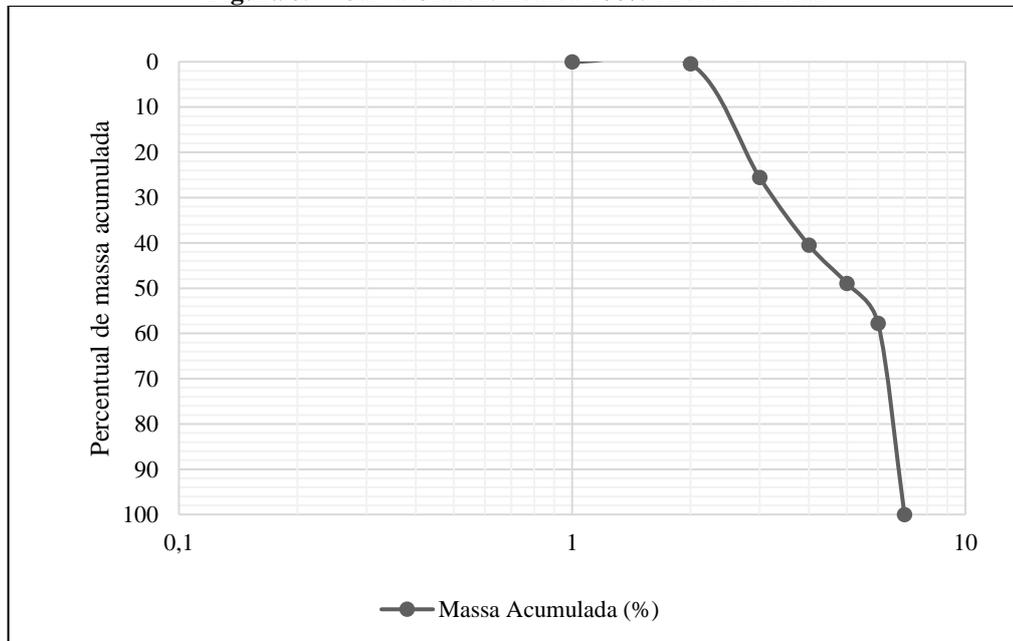
Figura 38 - Curva Granulométrica 75% Areia Artificial.

Fonte: Autores (2021)

Tabela 23 - Distribuição Granulométrica 100% Areia Artificial.

Peneira (mm)	100% Areia Artificial		
	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Acumulada (%)
4,75	0	0,00	0,00
2,36	4,58	0,46	0,46
1,18	250,96	25,14	25,59
600	148,77	14,90	40,49
300	84,7	8,48	48,98
150	88,21	8,83	57,81
Fundo	421,21	42,19	100,00
TOTAL	998,43		

Fonte: Autores (2021)

Figura 39 - Curva Granulométrica 100% Areia Artificial.

Fonte: Autores (2021)