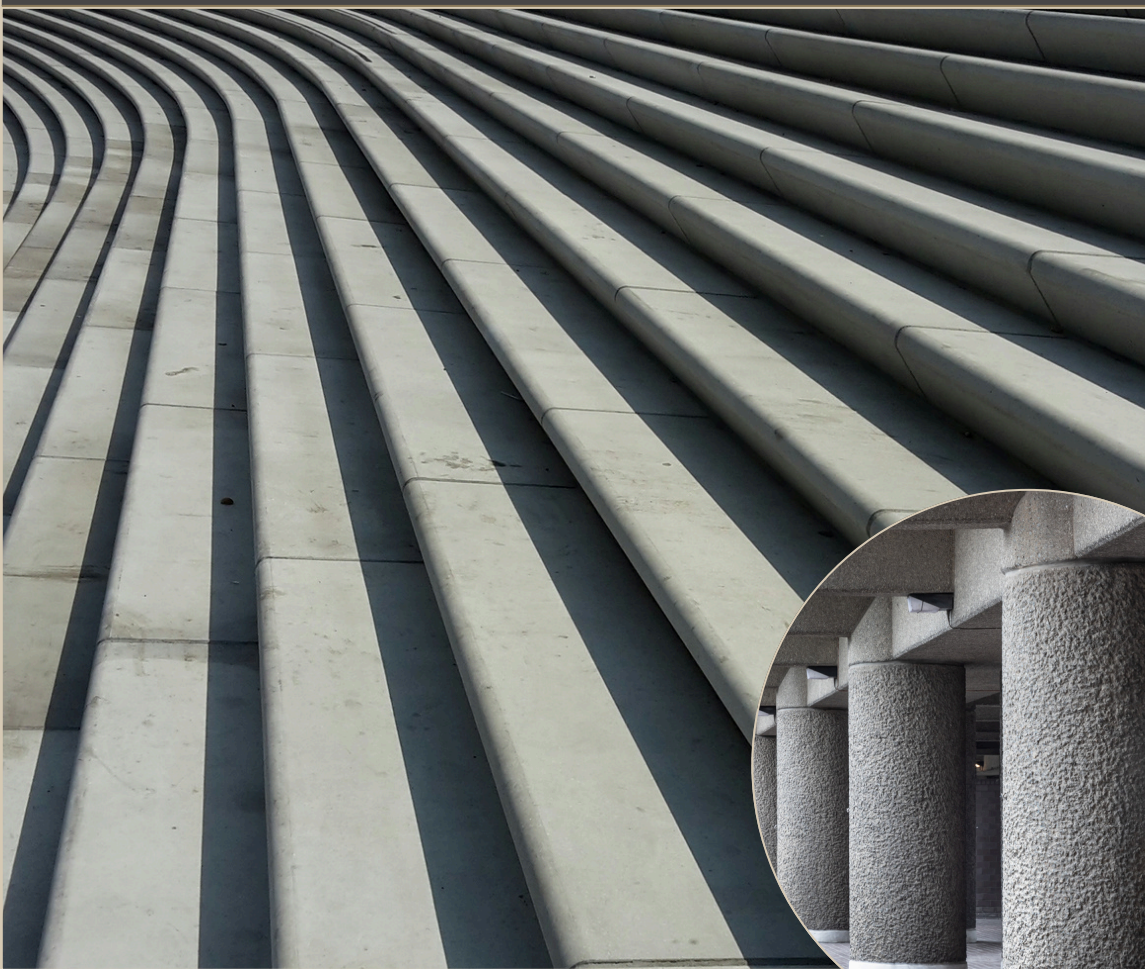


Aurum
EDITORA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO
USO DO MASSARÁ LAVADO
EM SUBSTITUIÇÃO À AREIA
NA CONFECÇÃO DE
CONCRETO NA REGIÃO DE
TERESINA-PI**



FRANCISCO ARLON DE OLIVEIRA CHAVES

Aurum
EDITORA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO
USO DO MASSARÁ LAVADO
EM SUBSTITUIÇÃO À AREIA
NA CONFECÇÃO DE
CONCRETO NA REGIÃO DE
TERESINA-PI**



FRANCISCO ARLON DE OLIVEIRA CHAVES

AURUM EDITORA LTDA – 2026

Curitiba – Paraná - Brasil

EDITOR CHEFE

Lucas Gabriel Vieira Ewers

AUTOR DO LIVRO

Francisco Arlon de Oliveira Chaves

COAUTORES

Francisca das Chagas Oliveira
Andreson de França Almeida
Evandro de Carvalho Ribeiro
Eugênia Maria dos Santos Cordeiro
Roberto Arruda Lima Soares

Copyright © Aurum Editora Ltda
Texto Copyright © 2025 Os Autores
Edição Copyright © 2025 Aurum Editora
Ltda

EDIÇÃO DE TEXTO

Stefanie Vitoria Garcia de Bastos



Este trabalho está licenciado sob uma
licença Creative Commons Attribution-
NonCommercial-NoDerivatives
4.0 International License.

EDIÇÃO DE ARTE

Aurum Editora Ltda

IMAGENS DA CAPA

Freepik, Canva.

BIBLIOTECÁRIA

Aline Grazielle Benitez

ÁREA DE CONHECIMENTO

Engenharias

A responsabilidade pelo conteúdo, precisão e veracidade dos dados apresentados neste texto é inteiramente do autor, não refletindo necessariamente a posição oficial da Editora. O trabalho pode ser baixado e compartilhado, desde que o crédito seja dado ao autor, mas não é permitida a modificação do conteúdo de qualquer forma ou seu uso para fins comerciais.

A Aurum Editora se compromete a manter a integridade editorial em todas as fases do processo de publicação, prevenindo plágio, dados ou resultados fraudulentos, e assegurando que interesses financeiros não afetem os padrões éticos da publicação. Qualquer suspeita de má conduta científica será verificada com atenção aos princípios éticos e acadêmicos. Todos os manuscritos passaram por uma avaliação duplo-cega, realizada pelos membros do Conselho Editorial, e foram aprovados para publicação com base em critérios de imparcialidade e objetividade acadêmica.

CORPO EDITORIAL

- Adriano Rosa da Silva - Mestre em História Social pela Universidade Federal Fluminense
- Alessandro Sathler Leal da Silva - Doutor em Educação pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro
- Alex Lourenço dos Santos - Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Catalão
- Ayla de Jesus Moura - Mestra em Educação Física pela Universidade Federal do Vale do São Francisco
- Camila Aparecida da Silva Albach - Doutoranda em Ciências Sociais Aplicadas pela Universidade Estadual de Ponta Grossa
- Carina Mandler Schmidmeier - Mestranda em Direito pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná
- Carolline Nunes Lopes - Mestra em Psicologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Daniel da Rocha Silva - Mestre em Letras pela Universidade Federal de Sergipe
- Daniel Rodrigues de Lima - Mestre em História pela Universidade Federal do Amazonas.
- Fabio José Antonio da Silva - Doutor em Educação Física pela Universidade Estadual de Londrina.
- Fabricio do Nascimento Moreira - Doutorando em Administração pela Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Felipe Antônio da Silva - Graduado em Direito pelo Centro Universitário Unihorizontes
- Francisco Welton Machado - Editor Independente - Graduado em Geografia pela Universidade Estadual do Piauí
- Gabriella de Moraes - Doutora em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais
- Gleyson Martins Magalhães Reymão - Mestre Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação pelo Instituto Federal do Pará
- Gustavo Boni Minetto - Mestrando em Educação, Linguagens e Tecnologia pela Universidade Estadual de Goiás
- João Vitor Silva Almeida - Graduado em Gestão de Cooperativas pela Universidade Federal do Tocantins
- José Bruno Martins Leão - Doutor em Sistema Constitucional de Garantia de Direitos pela Instituição Toledo de Ensino
- José Cláudio da Silva Júnior - Mestrando em Ciências da Saúde pela Universidade de Pernambuco
- José Leonardo Diniz de Melo Santos - Mestre em Educação, Culturas e Identidades pela Universidade Federal Rural de Pernambuco



José Marciel Araújo Porcino - Graduado em Pedagogia pela Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Brasil.

José Neto de Oliveira Felipe - Doutorando em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade de Passo Fundo.

Luan Brenner da Costa - Editor Independente - Graduado em Enfermagem pela Fundação Herminio Ometto

Lucas Matheus Araujo Bicalho - Mestrando em Historia pela Universidade Estadual de Montes Claros, UNIMONTES, Brasil.

Luciano Victor da Silva Santos - Mestrando em Hotelaria e Turismo pela Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil.

Luzia Eleonora Rohr Balaj - Doutoranda em Música pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Magno Fernando Almeida Nazaré - Mestre em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão

Maickon Willian de Freitas - Mestre em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Maikon Luiz Mirkoski - Mestre Profissional em Matemática em Rede Nacional pela Universidade Estadual de Ponta Grossa

Mailson Moreira dos Santos Gama - Doutorando em História pela Universidade Federal de Minas Gerais

Marcela da Silva Melo - Mestre em Avaliação de Políticas Públicas pela Universidade Federal do Ceará

Marcos Scarpioni - Doutorando em Ciência da Religião pela Universidade Federal de Juiz de Fora

Marilha da Silva Bastos - Mestranda em Educação Brasileira pela Universidade Federal do Ceará

Mario Marcos Lopes - Doutorando em Educação pela Universidade Federal de São Carlos

Mirna Liz da Cruz - Editora Independente - Graduada em Odontologia pela Universidade Federal de Goiás

Newton Ataíde Meira - Mestrando em Desenvolvimento Social pela Universidade Estadual de Montes Claros

Plinio da Silva Andrade - Mestrando em Ciências da Educação pela Universidade Leonardo Da Vinci

Priscila da Silva de Souza Bertotti - Editora Independente - Graduada em Biomedicina pelo Centro Universitário UniOpet

Rafael José Kraisch - Doutorando em Neurociências pela Universidade Federal de Santa Catarina

Ryan Dutra Rodrigues - Editor Independente - Graduado em Psicologia pelo Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas



Salatiel Elias de Oliveira - Doutor em Apostilamento de Reconhecimento de Título pela Universidade do Oeste Paulista

Sebastião Lacerda de Lima Filho - Doutorando em Medicina Translacional pela Universidade Federal do Ceará

Silvio de Almeida Junior - Doutor em Promoção de Saúde pela Universidade de Franca

Swelen Freitas Gabarron Peralta - Doutoranda em Educação pela Universidade Tuiuti do Paraná

Talita Benedcta Santos Künast - Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal de Mato Grosso

Tályta Carine da Silva Saraiva - Mestra em Agronomia pela Universidade Federal do Piauí

Thiago Giordano de Souza Siqueira - Doutor em Ciência da Informação pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Thiago Silva Prado - Doutor em Educação pela Universidade Estadual de Maringá

Vinicius Valim Pereira - Doutor em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá, UEM, Brasil.

Wilson Moura - Doutor em Psicologia pela Christian Business School

Yohans de Oliveira Esteves - Doutor em Psicologia pela Universidade Salgado de Oliveira



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Estudo da viabilidade do uso do massará lavado em substituição à areia na confecção de concreto na região de Teresina-PI [livro eletrônico] / Francisco Arlon de Oliveira Chaves...[et al.]. -- 1. ed. -- Curitiba, PR : Aurum Editora, 2026. PDF

Outros autores: Francisca das Chagas Oliveira, Andreson de França Almeida, Evandro de Carvalho Ribeiro, Eugênia Maria dos Santos Cordeiro.

Bibliografia.

ISBN 978-65-83849-82-3

1. Concreto - Manutenção e reparos 2. Construção civil 3. Engenharia 4. Teresina (PI) - Descrição I. Chaves, Francisco Arlon de Oliveira. II. Oliveira, Francisca das Chagas. III. Almeida, Andreson de França. IV. Ribeiro, Evandro de Carvalho. V. Cordeiro, Eugênia Maria dos Santos.

26-349576.1

CDD-620.1370212

Índices para catálogo sistemático:

1. Concreto : Engenharia 620.1370212

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

DOI: 10.63330/livroautoral432026-

Aurum Editora Ltda
CNPJ: 589029480001-12
contato@aurumeditora.com
(41) 98792-9544
Curitiba - Paraná



AUTOR

Francisco Arlon de Oliveira Chaves

Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais pelo Instituto Federal do Piauí (IFPI), licenciado em Matemática pela FAFIBE (2020), graduado em Engenharia Civil pela Faculdade Santo Agostinho (2018) e especialista em Docência do Ensino Superior pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI), além de especialista em Metodologia do Ensino da Matemática e da Física. Atualmente, atua como professor de Matemática no Colégio Gláucia Costa e como técnico em edificações na Prefeitura Municipal de Teresina. Possui experiência nas áreas de Engenharia Civil e Matemática, com ênfase em processos construtivos, materiais alternativos para a construção civil e ensino de Matemática no nível médio.

COAUTORES

Francisca das Chagas Oliveira

Possui graduação em Matemática pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) e é especialista em Ensino de Matemática para o Ensino Médio. Graduação em Engenharia Civil na UNINASSAU, com especialização em Pavimentação Asfáltica pela Faculdade Única. É mestre em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal do Piauí (IFPI) e, atualmente, doutoranda na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). No âmbito profissional, atua como professora na Secretaria de Educação do Piauí (SEDUC-PI) e na Secretaria de Educação do Maranhão (SEDUC-MA). Tem experiência consolidada na área de Matemática, com ênfase em Análise Numérica, e desenvolve pesquisas voltadas ao reaproveitamento de resíduos.

Andreson de França Almeida

Especialista em Administração Pública pela (UNIBF) e especialista em Educação Especial pela Faculdade Iguçu. Possui graduação em Administração pela Universidade Estadual do Piauí (2019) e graduação em Letras Português e Inglês pela (UNICV). Atualmente, exerce a função de Técnico em Edificações no Instituto Federal do Piauí (IFPI), Campus Parnaíba. Também atua como professor da rede estadual de ensino do Piauí, no eixo tecnológico de Gestão e Negócios. Além disso, desempenha atividades como tutor no curso superior de Tecnologia em Gestão de Recursos Humanos do IFPI, contribuindo para a formação acadêmica e profissional de estudantes na área de gestão.

Evandro de Carvalho Ribeiro

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (2000) e mestrado em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (2006). Atualmente é engenheiro civil da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos atuante na área de orçamento e projeto estrutural de agências, professor das disciplinas de Estruturas Metálicas, Estruturas de Madeira e Mecânica dos Solos 2 no Centro Universitário Santo Agostinho. Experiência na área de Engenharia Civil com ênfase em Análise Estrutural. Professor mestre nas áreas de estruturas de aço, madeira e concreto armado.

Eugênia Maria dos Santos Cordeiro

Possui graduação em Letras – Espanhol pela Universidade Estadual do Piauí (2006), bem como graduação em Letras – Português e Inglês. É especialista na área de Letras. Atualmente, atua como professora das redes estaduais de ensino do Maranhão e do Piauí, além de tutora a distância da Universidade Estadual do Piauí. Foi professora da U. E. Cenequista Popular de Teresina. Possui experiência na área de Letras.



Roberto Arruda Lima Soares

Possui graduação e especialização em matemática pela Universidade Federal do Piauí. Mestrado e doutorado em ciência e engenharia de materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atualmente é professor titular do Instituto Federal do Piauí. Trabalha com pesquisas nas áreas de materiais cerâmicos, educação e modelagem matemática.



AGRADECIMENTOS

A conclusão desta etapa tão significativa da minha vida só foi possível graças ao apoio, incentivo, dedicação e compreensão de muitas pessoas especiais. Sem elas, essa jornada teria sido muito mais desafiadora. Com o coração repleto de gratidão, expresso aqui meu sincero agradecimento a todos que, de alguma forma, contribuíram para que esse momento se tornasse realidade.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por estar presente em cada passo da minha trajetória, fortalecendo minha fé, ensinando-me a ser resiliente e me guiando nos momentos de incerteza. Sua presença constante me mostrou o que realmente importa nesta caminhada.

Aos meus pais Teresa e Valdir Chaves (in memoriam), minha eterna gratidão pelo amor incondicional, pelos ensinamentos, pela força e pelo exemplo de vida. Vocês foram minha base, meu refúgio e meu impulso. Tudo o que conquistei até aqui carrega a marca do amor, do cuidado e da dedicação de vocês. Obrigado por sempre acreditarem em mim e por me inspirarem a perseguir meus sonhos.

À minha esposa Eugênia, minha companheira de vida, minha fortaleza e meu alicerce. Agradeço por dividir comigo não apenas os sonhos, mas também os desafios e renúncias dessa jornada. Obrigado pelo amor, paciência, companheirismo e, sobretudo, por compreender os momentos de ausência e estresse. Seu apoio emocional e físico foi essencial para que eu pudesse seguir firme até o fim.

À minha irmã Arline por ser uma presença constante de carinho, leveza e alegria. Agradeço por todo o apoio, incentivo e pelas risadas que tornaram os dias difíceis mais suportáveis.

À minha filha Maria Alice que é, sem dúvida, o maior presente que a vida me deu. Sua existência me deu forças nos momentos mais difíceis e seu sorriso sempre foi meu maior combustível. Filha, você é minha inspiração diária, a razão de tantas lutas e conquistas. Sonho um futuro melhor para você, e cada esforço que faço tem como objetivo mostrar a você que, com dedicação e amor, tudo é possível.

Ao meu orientador, Dr. Roberto Arruda, deixo meu profundo agradecimento pela oportunidade, pela orientação cuidadosa, pela confiança e pela amizade sincera. Sua generosidade em compartilhar conhecimento e sua paciência durante todo o processo foram fundamentais para a construção deste trabalho. A todos vocês, meu muito obrigado!



RESUMO

O crescimento populacional e o avanço do desenvolvimento urbano aumentam a demanda por minerais, especialmente nos terraços fluviais da capital e áreas adjacentes. Em Teresina-PI, onde a maior parte da cidade está situada entre os rios Poti e Parnaíba, o uso de areia na produção de concreto tornou-se uma prática comum. No entanto, em algumas capitais brasileiras, a escassez de areia está levando ao uso de materiais alternativos como agregados miúdos na fabricação de concreto. Na região de Teresina, a qualidade da areia usada para dosagem de concreto é frequentemente insatisfatória, com um módulo de finura abaixo do padrão estabelecido pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Isso tem levado a preocupações na indústria da construção civil local, uma vez que o concreto composto, que utiliza areia como agregado miúdo, muitas vezes não atende aos padrões desejados de resistência mecânica. A escassez de estudos específicos, a ausência de beneficiamento adequado, a falta de conhecimento técnico na área e o uso incorreto levaram a uma rejeição do "massará" por parte dos profissionais da construção civil e de grande parte da população teresinense. Essa situação levou à obsolescência do material, resultando em sua desvalorização no mercado regional. Este estudo visa caracterizar mecanicamente o concreto utilizando o "massará" lavado como agregado miúdo em substituição à areia, mantendo as mesmas proporções de agregados, água e cimento do concreto convencional. O cimento utilizado é o CP IV-F 40, o mesmo adotado pelas grandes usinas de concreto de Teresina. Foram conduzidos ensaios de granulometria, abatimento do tronco de cone e compressão axial de corpos de prova cilíndricos. Os resultados dos ensaios mostraram que o "massará" lavado apresenta uma resistência à compressão semelhante à do concreto convencional, demonstrando sua viabilidade como alternativa de agregado miúdo na produção de concreto. Este estudo sugere uma nova alternativa para a dosagem do concreto, especialmente considerando a crescente escassez de jazidas de agregados devido à alta demanda do mercado consumidor.

Palavras-chave: Agregado miúdo; Massará; Concreto.



ABSTRACT

Population growth and urban development advances increase the demand for minerals, especially in the fluvial terraces of the capital and adjacent areas. In Teresina-PI, where most of the city is located between the Poti and Parnaíba rivers, the use of sand in concrete production has become a common practice. However, in some Brazilian capitals, sand scarcity is leading to the use of alternative materials as fine aggregates in concrete manufacturing. In the Teresina region, the quality of sand used for concrete mixing is often unsatisfactory, with a fineness modulus below the standard established by ABNT (Brazilian Association of Technical Standards). This has raised concerns in the local construction industry, as concrete composed of sand as a fine aggregate often fails to meet the desired standards of mechanical strength. The lack of specific studies, the absence of proper processing, insufficient technical knowledge in the field, and improper use have led to the rejection of "massará" by construction professionals and a large part of Teresina's population. This situation has resulted in the obsolescence of the material, leading to its devaluation in the regional market. This study aims to mechanically characterize concrete using washed "massará" as a fine aggregate replacement for sand while maintaining the same proportions of aggregates, water, and cement as conventional concrete. The cement used is CP IV-F 40, the same type employed in major concrete plants in Teresina. Granulometry tests, slump tests, and axial compression tests on cylindrical specimens were conducted. The test results showed that washed "massará" has a compressive strength similar to that of conventional concrete, demonstrating its viability as an alternative fine aggregate in concrete production. This study suggests a new alternative for concrete mixing, especially considering the increasing scarcity of aggregate deposits due to the high demand in the consumer market.

Keywords: Fine aggregate; Massará; Concrete.



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.1.1 Objetivo geral	20
1.1.2 Específicos	20
2 REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 TIPOS DE AGREGADOS.....	21
2.1.1 Areia	21
2.1.2 Brita	22
2.1.3 Cascalho	23
2.2 AGREGADO MIÚDO.....	24
2.3 AGREGADOS ALTERNATIVOS PARA CONCRETO.....	27
2.3.1 Massará	29
3 METODOLOGIA	31
3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	32
3.1.1 População e amostra	32
3.1.2 Procedimentos de coleta de dados	32
3.1.3 Procedimentos de análise de dados	33
3.1.4 Coleta de materiais	33
3.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS UTILIZADOS NO ESTUDO.....	35
3.2.1 Dosagem do concreto	39
3.2.2 Preparação dos materiais	42
3.2.3 Ensaio de Slump Test	47
3.2.4 Moldagem dos corpos de prova	50
3.2.5 Cura dos corpos de prova	52
3.2.6 Ensaio de compressão	53
3.2.7 Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1 COMPARATIVO DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO AOS 3, 7, 28 E 91 DIAS.....	63
4.1.1 Resultados dos ensaios	63
4.1.2 Ensaio com 3 dias de idade	63
4.1.3 Ensaio com 7 dias de idade	66
4.1.4 Ensaio com 28 dias de idade	69



4.1.5 Ensaio com 91 dias de idade	72
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA DIFERENTES CLASSES DE CONCRETO (FCK 25 MPa, 30 MPa E 35 MPa)	77
4.2.1 Concreto com fck 25 MPa	77
4.2.2 Análise da evolução de resistência	78
4.2.3 Discussão técnica	80
4.2.4 Concreto com fck 30 MPa	80
4.2.5 Análise da evolução de resistência	81
4.2.6 Discussão técnica	83
4.2.7 Concreto com fck 35 MPa	83
4.2.8 Análise da evolução de resistência	84
4.2.9 Discussão técnica	86
4.2.10 Conclusão	86
4.3 INFLUÊNCIA DO AGREGADO	86
4.4 EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA	86
4.5 APLICAÇÃO PRÁTICA	87
4.6 CONFORMIDADE COM AS NORMAS	88
4.7 COMPARATIVO ENTRE OS PERÍODOS DE ENSAIO	89
5 CONCLUSÕES	92
5.1 CONSISTÊNCIA SUPERIOR DO MASSARÁ	92
5.1.1 Desempenho inicial e a longo prazo	92
5.1.2 Aplicabilidade	92
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
REFERÊNCIAS	95



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matéria bruta para retirar o seixo e o massará.....	33
Figura 2 - Massará puro.....	33
Figura 3 - Massará após o processo de lavagem.....	33
Figura 4 - Análise granulométrica do massará e da areia.....	35
Figura 5 - Jogo de peneiras usado para a análise granulométrica.....	36
Figura 6 - Betoneira utilizada nas dosagens do concreto.....	42
Figura 7 - Tara do balde utilizado na pesagem do concreto.....	43
Figura 8 - Cimento utilizado na dosagem do concreto.....	43
Figura 9 - Brita 19 mm utilizado na dosagem do concreto.....	44
Figura 10 - Brita 12 mm utilizado na dosagem do concreto.....	44
Figura 11 - Areia utilizada na dosagem do concreto.....	45
Figura 12 - Massará lavado utilizado na dosagem do concreto.....	45
Figura 13 - Água utilizada na dosagem do concreto.....	46
Figura 14 – Aditivo utilizado na dosagem do concreto.....	46
Figura 15 - Material usado no ensaio do abatimento do tronco de cone na realização do Slump Test.....	47
Figura 16 - Material usado no ensaio do abatimento do tronco de cone.....	48
Figura 17 – Ensaio do abatimento do tronco de cone-Slump Test.....	48
Figura 18 – Ensaio do abatimento do tronco de cone-Slump Test.....	49
Figura 19 – Ensaio do abatimento do tronco de cone Slump Test.....	49
Figura 20 – Ensaio do abatimento do tronco de cone Slump Test.....	50
Figura 21 – Forma cilíndrica para moldagem dos corpos de prova.....	51
Figura 22 – Corpos de prova após moldagem.....	51
Figura 23 – Corpos de prova após moldagem.....	52
Figura 24 – Cura dos corpos de prova.....	53
Figura 25 – Início do ensaio de compressão.....	55
Figura 26 – Mesa niveladora dos corpos de prova.....	55
Figura 27 – Corpos de prova com bases niveladas.....	56
Figura 28 – Prensa para ruptura dos corpos de prova.....	57
Figura 29 – Corpo de prova submetido à compressão axial na prensa.....	58
Figura 30 – Medidor da prensa.....	58
Figura 31 – Corpos de provas após ruptura.....	59
Figura 32 – Corpos de provas após ensaio de compressão axial.....	59
Figura 33 – Corpos de prova prontos para ensaio de compressão.....	62
Figura 34 – Corpos de prova de 25MPa antes do ensaio à compressão.....	77
Figura 35 – Corpos de provas de 25MPa depois do ensaio à compressão.....	78
Figura 36 – Corpos de provas de 30MPa antes do ensaio à compressão.....	81
Figura 37 – Corpos de provas de 30MPa depois do ensaio à compressão.....	81
Figura 38 – Corpos de provas de 35MPa antes do ensaio à compressão.....	84
Figura 39 – Corpos de provas de 35MPa depois do ensaio à compressão.....	84
Figura 40 – Corpo de prova de 35MPa após o ensaio à compressão.....	90
Figura 41 – Tipo A – Cônica e cônica afastada em 25 mm do mapeamento.....	90



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da análise granulométrica do massará lavado.....	37
Tabela 2 – Análise granulométrica da areia.....	38
Tabela 3 – Classificação do módulo de finura da areia.....	39
Tabela 4 – Traço 25MPa utilizando-se areia como agregado miúdo.....	39
Tabela 5 – Traço 30MPa utilizando areia como agregado miúdo.....	40
Tabela 6 – Traço 35MPa utilizando areia como agregado miúdo.....	40
Tabela 7 – Traço 25MPa utilizando massará como agregado miúdo.....	40
Tabela 8 – Traço 30MPa utilizando massará como agregado miúdo.....	41
Tabela 9 – Traço 35MPa utilizando massará como agregado miúdo.....	41
Tabela 10 – Tolerância para a idade de ensaio.....	60
Tabela 11 - Resultados da resistência à compressão aos 3 dias para concretos com resistência característica de 25 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	64
Tabela 12 - Resultados da resistência à compressão aos 3 dias para concretos com resistência característica de 30 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	65
Tabela 13 - Resultados da resistência à compressão aos 3 dias para concretos com resistência característica de 35 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	66
Tabela 14 - Resultados da resistência à compressão aos 7 dias para concretos com resistência característica de 25 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	67
Tabela 15 - Resultados da resistência à compressão aos 7 dias para concretos com resistência característica de 30 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	68
Tabela 16 - Resultados da resistência à compressão aos 7 dias para concretos com resistência característica de 35 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	69
Tabela 17 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias para concretos com resistência característica de 25 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	70
Tabela 18 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias para concretos com resistência característica de 30 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	71
Tabela 19 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias para concretos com resistência característica de 35 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	72
Tabela 20 - Resultados da resistência à compressão aos 91 dias para concretos com resistência característica de 25 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	73
Tabela 21 - Resultados da resistência à compressão aos 91 dias para concretos com resistência característica de 30 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	74
Tabela 22 - Resultados da resistência à compressão aos 91 dias para concretos com resistência característica de 35 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.....	75
Tabela 23 - Análise da evolução da resistência do concreto de 25 MPa.....	78
Tabela 24 - Análise da evolução da resistência do concreto de 30 MPa.....	81
Tabela 25 - Análise da evolução da resistência do concreto de 35 MPa.....	85



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Corpos de prova com idade de 3 dias (25 MPa)	64
Gráfico 2 – Corpos de prova com idade de 3 dias (30 MPa)	65
Gráfico 3 – Corpos de prova com idade de 3 dias (35 MPa)	66
Gráfico 4 – Corpos de prova com idade de 7 dias (25 MPa)	67
Gráfico 5 – Corpos de prova com idade de 7 dias (30 MPa)	68
Gráfico 6 – Corpos de prova com idade de 7 dias (35 MPa)	69
Gráfico 7 – Corpos de prova com idade de 28 dias (25 MPa)	70
Gráfico 8 – Corpos de prova com idade de 28 dias (30 MPa)	71
Gráfico 9 – Corpos de prova com idade de 28 dias (35 MPa)	72
Gráfico 10 – Corpos de prova com idade de 91 dias (25 MPa)	73
Gráfico 11 – Corpos de prova com idade de 91 dias (30 MPa)	74
Gráfico 12 – Corpos de prova com idade de 91 dias (35 MPa)	75
Gráfico 13 – Comparativo da resistência média à compressão (massará lavado vs areia) para para fck's de 25, 30 e 35 MPa nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias.....	76
Gráfico 14 – Comparativo da resistência média à compressão para para fck's de 25, 30 e 35 Mpa nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias.....	77
Gráfico 15 – Evolução da resistência à compressão do concreto 25 MPa.....	79
Gráfico 16 – Ajuste logarítmico da resistência à compressão do concreto 30 MPa.....	83
Gráfico 17 - Evolução da resistência à compressão do concreto 35 MPa.....	85
Gráfico 18 - Comparativo da resistência à compressão do concreto 25, 30 e 35 MPa.....	88



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP IV-40 - Cimento Portland com adições pozolânicas

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente

Mpa - Megapascal (unidade de pressão/resistência)

NBR - Norma Brasileira

PPGEM - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais

Tf - Tonelada-força

N - Newton (unidade de força)



1 INTRODUÇÃO

Por questões de sobrevivência — como a proteção contra o frio, o calor, ataques de animais, necessidade de mobilidade e expansão territorial — o homem sentiu a necessidade crescente de buscar recursos mais resistentes para a construção de moradias e grandes edificações. Como destacam Pereira e Lima (2015), ao longo do tempo, ele soube tirar proveito dos recursos naturais disponíveis para aprimorar o material utilizado nas bases de suas construções.

Segundo Bastos (2019), o cimento Portland foi criado na Inglaterra em 1824, tornando-se um insumo industrial de larga escala a partir de 1850. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, que endurece e ganha resistência ao entrar em contato com a água.

Entre os séculos XVIII e XIX, surgiu o concreto, um material essencial para a construção civil, composto por agregados como a areia, que contribui significativamente para sua durabilidade e resistência. Quando endurecido, o concreto se transforma em uma espécie de pedra artificial, moldável conforme as necessidades de cada obra. Devido a essas características, ele se tornou o segundo material mais consumido no mundo, ficando atrás apenas da água (Silva, 2020).

O concreto é, indiscutivelmente, o material de construção mais utilizado no mundo, sendo a areia responsável por aproximadamente 30% de seu volume. Diante disso, torna-se essencial a busca por novas abordagens e alternativas para a obtenção desse agregado, garantindo a eficiência e a qualidade das estruturas construídas (Silva & Santos, 2023).

Consumidores e empresários estão cada vez mais conscientes da necessidade de mudança e buscam desenvolver alternativas sustentáveis, eficientes e economicamente viáveis. Embora os estudos ainda sejam limitados, as regulamentações ambientais em vigor estão pressionando a busca por soluções menos agressivas e mais acessíveis.

A utilização de materiais alternativos que tragam benefícios ambientais e maior lucratividade para as empresas é crucial. O reaproveitamento de materiais retirados das jazidas reduz as perdas no processo e oferece uma alternativa de custo mais baixo para o mercado.

Nesse contexto, surgem questões fundamentais: o massará lavado pode ser uma alternativa viável para substituir a areia como agregado miúdo na composição do concreto? Além disso, seu emprego contribuiria para tornar o material resultante mais resistente e economicamente viável? Essas indagações abrem caminho para uma investigação promissora, possibilitando novas abordagens na produção do concreto e impulsionando soluções inovadoras para a construção civil.

O desenvolvimento de novos métodos de composição do concreto é fundamental para as usinas de produção e para os profissionais da engenharia civil, visando otimizar a eficiência e reduzir custos. Nesse contexto, o massará surge como uma alternativa viável ao agregado miúdo, destacando-se por seu custo significativamente mais baixo em comparação com a areia grossa tradicionalmente extraída dos rios Poti e

Parnaíba, sem comprometer a qualidade do concreto (Chaves *et al.*, 2025; Oliveira *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que o massará é obtido por meio da lavagem do material proveniente das jazidas, sendo parte do processo de obtenção do seixo rolado, um agregado graúdo utilizado na fabricação do concreto. Essa substituição potencial da areia pelo massará não apenas oferece vantagens econômicas, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental da indústria da construção civil.

O massará é um subproduto do processo de extração do seixo rolado. Caso não seja aproveitado, torna-se subutilizável e sem função na construção civil, servindo apenas para aterro. O objetivo é encontrar novas aplicações para o massará na construção civil, permitindo seu aproveitamento de forma mais eficiente e sustentável (Correia Filho, 1997; Oliveira *et al.*, 2020; Andrade *et al.*, 2020).

Sempre que há referência ao massará lavado, considera-se o massará sem os finos, que correspondem à parte argilosa do material, de coloração avermelhada. Nas antigas construções de Teresina, o uso do massará puro para assentamento de alvenaria causava o fenômeno do salitre devido à presença desses finos. O massará lavado passa por um processo de remoção completa dos finos, resultando em um material de cor semelhante à da areia e com granulometria próxima à da areia grossa (Fernandes, 2010; Chaves *et al.*, 2025; Bartira; Iracilde, 2015).

Diante do crescimento populacional e do acelerado desenvolvimento urbano, a demanda por concreto tem crescido exponencialmente. O concreto é de suma importância nas obras e no mercado da engenharia civil. Para promover a economia e mitigar os impactos sobre os rios da capital piauiense, bem como manter os padrões de qualidade estabelecidos, surgiu a proposta de utilizar o massará lavado como alternativa. Assim, a utilização do massará lavado representa uma medida estratégica para atender a essa crescente demanda, ao mesmo tempo em que se busca preservar os recursos hídricos locais e manter a eficiência e os padrões de qualidade do concreto utilizados atualmente (Chaves *et al.*, 2025; Oliveira *et al.*, 2020; Bartira; Iracilde, 2015).

O esgotamento das jazidas de agregados miúdos, como a areia, especialmente nas proximidades de grandes centros consumidores, tem sido um fator preponderante. Isso, combinado ao aumento da competição entre as empresas de produção de concreto usinado e ao crescente movimento de conscientização ambiental da sociedade em geral, tem impulsionado significativamente as pesquisas para encontrar alternativas ao agregado miúdo, tanto para o concreto quanto para as argamassas. Este cenário reflete a urgência e a importância de encontrar soluções sustentáveis e viáveis para atender à demanda da construção civil, sem comprometer os recursos naturais e o meio ambiente (Bauer, 2014; Moravia *et al.*, 2006; Andrade *et al.*, 2020).

A crescente escassez do agregado miúdo — agravada pela dificuldade em obter materiais que atendam às especificações técnicas, pela complexidade da extração em rios e pelo aumento dos custos — tem motivado estudos para identificar novas alternativas. Além disso, as cheias dos rios impõem limitações

sazonais à obtenção da areia (Correia Filho, 1997; Bartira; Iracilde, 2015; Chaves *et al.*, 2025).

O objetivo é encontrar soluções que facilitem e tornem mais prática a obtenção do agregado miúdo, para que seja possível utilizá-lo de forma mais eficiente nas dosagens de concreto e argamassas. Esses estudos são essenciais para garantir o suprimento contínuo desse componente crucial na construção, ao mesmo tempo em que se busca reduzir os impactos ambientais e os custos associados à sua obtenção (Andrade *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2020; Bauer, 2014).

A utilização de um produto já disponível nas usinas de extração de seixo rolado apresenta uma vantagem significativa na redução dos custos de frete. Isso ocorre porque as minas de extração do agregado miúdo natural nem sempre estão localizadas próximas dos centros consumidores, o que resulta em um aumento substancial nos custos de transporte. Além disso, devido ao seu baixo custo, o massará muitas vezes é desperdiçado em outras aplicações menos relevantes, quando poderia ser utilizado de forma mais eficiente na produção de concreto. Essa consideração ressalta a importância de explorar alternativas acessíveis e economicamente viáveis para atender às demandas da indústria da construção civil (Correia Filho, 1997; Chaves *et al.*, 2025; Oliveira *et al.*, 2020).

A crescente preocupação global com o desenvolvimento sustentável tem levado a restrições no uso de matérias-primas não renováveis. Esse cenário é especialmente relevante para as estruturas de concreto, uma vez que o cimento, um de seus principais componentes, é composto por materiais não renováveis e sua produção requer níveis significativos de energia. Além disso, os agregados utilizados no concreto também são recursos não renováveis (Mehta; Monteiro, 2014; John, 2000; Chaves *et al.*, 2025).

De acordo com estudos recentes, a escassez de agregado miúdo tem se tornado um desafio em alguns estados brasileiros, como São Paulo, impulsionando a busca por alternativas viáveis para a produção de concreto. Esse cenário reforça a importância de materiais como o massará lavado, que, após a remoção dos finos, apresenta características granulométricas semelhantes às da areia grossa, podendo ser uma solução sustentável para a construção civil (John, 2000; Chaves *et al.*, 2025; Andrade *et al.*, 2020; Helene; Andrade, 2011).

Diante dessa realidade, há uma tendência mundial em direção à produção e ao uso mais racional do concreto. Isso envolve a incorporação de materiais alternativos na fabricação do cimento e do concreto, além do aumento da durabilidade das estruturas de concreto. Essas medidas são fundamentais para promover a sustentabilidade na indústria da construção e para reduzir o impacto ambiental associado à produção e ao uso do concreto (Mehta; Monteiro, 2014; John, 2000; Helene; Andrade, 2011; Isaia, 2005).

Espera-se, com este estudo, viabilizar a utilização em larga escala do massará lavado como agregado miúdo. Atualmente, a areia utilizada na produção de concreto é extraída exclusivamente dos rios Poti e Parnaíba, resultando em uma padronização dos preços impostos pelos proprietários das jazidas e em sérios danos ambientais para essas fontes hídricas.

A utilização do massará lavado como substituto da areia oferece uma alternativa promissora, pois, além de reduzir os custos de produção do concreto em comparação com o uso de areia, essa mudança pode impactar positivamente a economia do mercado da construção civil, possibilitando a realização de obras com custos finais mais baixos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

- Investigar o impacto do uso de massará lavado como agregado miúdo na resistência do concreto.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Realizar a análise granulométrica dos agregados miúdos e comparar sua influência nas diferentes dosagens de concreto;
2. Avaliar se a utilização do massará lavado como agregado miúdo contribui para a redução da quantidade de água no traço do concreto, mantendo a trabalhabilidade adequada da mistura;
3. Verificar se o concreto produzido com massará lavado apresenta resistência à compressão equivalente ou superior àquela do concreto elaborado com areia convencional.

2 REVISÃO DA LITERATURA

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil, sendo composto essencialmente por cimento, água e agregados que podem ser classificados em miúdos e graúdos. Os agregados miúdos, como a areia, desempenham um papel fundamental na trabalhabilidade e resistência do concreto, enquanto os agregados graúdos, como a brita e o cascalho, conferem estrutura e durabilidade à mistura. No entanto, a escassez de areia natural tem levado à busca por alternativas viáveis, como o sedimento massará, um material de origem fluvial encontrado na região de Teresina-PI. Após passar por um processo de lavagem para remoção dos finos e impurezas, o massará apresenta características granulométricas similares às da areia grossa, tornando-se uma opção promissora para sua substituição no traço do concreto.

2.1 TIPOS DE AGREGADOS

Os agregados são materiais essenciais na construção civil, presentes em diversas etapas e processos, como na fabricação de concreto, argamassa e pavimentação. Eles podem ser classificados em naturais ou artificiais, dependendo de sua origem, e em miúdos ou graúdos, conforme sua granulometria. A escolha do tipo adequado de agregado desempenha um papel crucial na qualidade, durabilidade e resistência das estruturas, além de influenciar diretamente aspectos como custo e sustentabilidade dos projetos. Assim, compreender as características e aplicabilidades dos diferentes tipos de agregados é indispensável para otimizar os resultados na construção civil.

2.1.1 Areia

Os agregados são materiais que, no início do desenvolvimento do concreto, eram adicionados à mistura de cimento e água com o objetivo principal de aumentar o volume e reduzir os custos. Atualmente, eles representam cerca de 80% do peso do concreto e desempenham um papel fundamental não apenas na redução da retração e no aumento da resistência, mas também na definição das propriedades do material. O tamanho, a densidade e a forma dos grãos influenciam diretamente diversas características desejáveis no concreto (Smarzewski; Stolarski, 2022).

É importante destacar que um bom concreto não é necessariamente o mais resistente, mas sim aquele que atende às exigências específicas da obra e da peça a ser moldada. Assim, fatores como consistência e método de aplicação são tão relevantes quanto a resistência na escolha dos materiais. A composição da mistura deve equilibrar a trabalhabilidade com uma dosagem economicamente viável, garantindo um desempenho adequado sem desperdícios (Czarnecki; *et al.*, 2024).

Os agregados são matérias granulares de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia civil. Podem ser classificados levando-se em conta a origem, a densidade e o tamanho dos fragmentos. A areia pode ser usada em concreto, argamassa de assentamento e revestimento, pavimentação asfáltica, em filtros, lastro e permeabilização de vias e pátios (Metha; Monteiro, 2014).

A areia é um material de origem mineral finamente dividido em grânulos, composta basicamente de dióxido de silício, com 0,063 a 2 mm. A areia é uma substância que tem uma idade incalculável, haja vista que as rochas ígneas das quais a areia é proveniente só podem ter sido formadas, sob uma enorme pressão e a uma profundidade de 9 a 24 quilômetros da crosta terrestre, onde foram convertidas em granito. Areia é uma substância natural, proveniente da desagregação de rochas, e possui granulometria variando entre 0,05 e 5 milímetros pela norma da NBR 7214:2015. A areia é formada, principalmente por quartzo, mas dependendo da composição da rocha da qual é originária, pode agregar outros minerais como o feldspato, mica, zircão, magnetita, ilmenita, mônazita, cassiterita, entre outros (Ribeiro; Silva; Schons, 2023).

Os grãos de areia são de maioria constituídos por quartzo, podendo também, ser constituídos por outros minerais, dependendo da rocha que lhes deu origem e da quantidade de transporte e alteração a que foram submetidos. A areia é classificada em três categorias de granularidade: areia fina, média e grossa, com diâmetros a variar, respectivamente, entre 1/16mm e 1/4mm; 1/4mm e 1mm; e 1mm e 2mm (Silva, 2023).

Conforme Silva (2023), a composição mineralógica das areias pode variar amplamente, uma vez que qualquer tipo de rocha presente na superfície da crosta terrestre pode dar origem a esses sedimentos. As areias mais comuns são as quartzíticas, de cor clara, predominantemente compostas por quartzo, devido à alta resistência desse mineral à ação dos agentes externos.

Além do quartzo, algumas areias podem conter outros minerais, como feldspatos, que podem apresentar diferentes níveis de alteração, além de micas e outros constituintes minerais. No entanto, também existem areias predominantemente compostas por minerais ferro- magnesianos, como olivinas, piroxenas e anfíbolos, ou por fragmentos líticos, incluindo calcário, basalto e outras rochas.

2.1.2 Brita

A brita, ou pedra britada, é um material amplamente utilizado na construção civil, resultante do processo de cominuição de diferentes tipos de rochas. O termo "brita" refere-se a fragmentos de rochas duras obtidos por meio do beneficiamento de blocos maiores, extraídos de maciços rochosos como granito, gnaisse, basalto e calcário, geralmente com o auxílio de explosivos.

Os principais produtos de pedreira incluem: rachão, gabião, brita graduada, brita corrida, brita 0 (pedrisco), brita 1, brita 2, brita 3, brita 4, brita 5, pó de pedra e areia de brita. Cada uma dessas classificações é determinada pelo tamanho dos fragmentos e sua aplicação específica na construção civil.

As rochas utilizadas para a produção de brita são amplamente encontradas na natureza, sendo consideradas recursos minerais abundantes e de grande importância para a infraestrutura e a engenharia civil.

Apesar da relativa abundância das rochas utilizadas na produção de brita, é fundamental considerar

os desafios logísticos envolvidos em sua distribuição. O custo do transporte, desde a pedreira até os centros de distribuição ou ao consumidor final, pode elevar significativamente o preço do material. Como a maior parte desse transporte é realizada por via rodoviária, a proximidade entre a unidade de produção e os centros de consumo é um fator determinante para a viabilidade econômica da brita. Dessa forma, embora os recursos minerais sejam amplamente disponíveis, muitos deles acabam sendo antieconômicos para exploração devido aos altos custos logísticos (Figueiredo, 2011).

A brita tem ampla aplicação no setor da construção civil, sendo utilizada na fabricação de concreto, no revestimento de leitos de estradas de terra e ferrovias, em barramentos, entre outras finalidades estruturais.

2.1.3 Cascalho

Segundo Tepordei (2011), o cascalho tem uma origem geológica marcante e pode ser observado em vestígios históricos, como o desgaste de blocos de pedra e colunas que, no passado, compunham templos estáveis na Grécia Antiga, bem como nas fendas e aberturas de túmulos e monumentos do Antigo Egito. Esses processos de degradação são, essencialmente, o resultado da meteorização física, também conhecida como alteração mecânica, que fragmenta as rochas ao longo do tempo devido a variações térmicas, erosão e ação da água e do vento.

O cascalho é um termo genérico para seixos e fragmentos de rochas preexistentes, classificando-se dentro de uma faixa granulométrica variável de 2 a 256 mm de diâmetro, conforme a escala de Wentworth. Dependendo de sua composição e granulometria, ele pode apresentar diferentes características físicas, influenciando suas aplicações na engenharia e na construção civil.

Na indústria da construção, o cascalho desempenha um papel fundamental, sendo amplamente utilizado na fabricação de concreto, no revestimento de leitos de estradas de terra, na composição do concreto ciclópico e na ornamentação de jardins e paisagismo. Além disso, sua resistência e permeabilidade fazem com que seja um material valioso para drenagem e estabilização de terrenos em projetos de infraestrutura.

O cascalho é composto por pedras de origem neutra, desgastadas naturalmente pela ação dos rios ao longo do tempo. Trata-se de uma rocha sedimentar com variação de tamanho, sendo classificada, na geologia, como qualquer fragmento rochoso cuja maior dimensão esteja entre 2 e 75 milímetros.

Por sua abundância na natureza, o cascalho é de fácil obtenção, podendo ser encontrado em leitos de rios, onde a correnteza lapida as pedras ao longo dos anos. Além disso, está disponível comercialmente em lojas especializadas, como aquelas voltadas para aquarismo e paisagismo. Sua versatilidade faz com que seja amplamente utilizado em diversas aplicações, desde a construção civil até a decoração de ambientes.

2.2 AGREGADO MIÚDO

De acordo com a NBR 9935/2024, os agregados são materiais granulares sem forma e volume definidos, geralmente inertes, com dimensões e propriedades adequadas para aplicação na construção civil. Para garantir seu uso eficiente, os agregados devem apresentar boa resistência mecânica à compressão e à abrasão, além de possuir alta durabilidade, resistindo a agentes agressivos do meio ambiente.

Outro requisito essencial para a qualidade dos agregados é a ausência de substâncias deletérias, que podem comprometer o desempenho das misturas cimentícias. Essas substâncias incluem impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento, partículas que recobrem a superfície do agregado, dificultando sua aderência à pasta de cimento, e fragmentos frágeis ou friáveis que podem comprometer a resistência e a durabilidade do concreto e das argamassas (Isaia, 2005).

A ausência de um manejo tecnológico adequado leva à interpretação equivocada de que os agregados são materiais totalmente inertes e não influenciam as propriedades do concreto. No entanto, sua participação é fundamental, exercendo influência significativa na resistência, trabalhabilidade e durabilidade do material. Por essa razão, a seleção criteriosa dos agregados é essencial para garantir a qualidade das estruturas construídas (Helene, 2011).

Na construção civil da região de Teresina, destacam-se, entre os principais tipos de agregados utilizados, as areias e os seixos rolados, amplamente encontrados nas planícies e terraços fluviais da capital. As maiores reservas desses minerais estão localizadas ao longo dos vales dos rios Parnaíba e Poti, bem como em seu interflúvio. Essas áreas representam as principais fontes de materiais para a construção civil na região, fornecendo insumos essenciais para diversas aplicações estruturais. Como a areia compõe, em média, 40% do volume total do concreto e 70% do volume da argamassa, a utilização de agregados que atendam às especificações técnicas adequadas é de extrema importância para garantir a qualidade e o desempenho das misturas (Tavares, 2016).

Além da presença de materiais deletérios na areia, outro fator que pode comprometer o concreto e a argamassa é o teor de material pulverulento, cuja quantidade é limitada a no máximo 5% da massa total do agregado miúdo, conforme estabelecido pela NBR 7211:2022. O excesso desse material pode aumentar a demanda de água para manter a mesma consistência da mistura, prejudicando a trabalhabilidade e a resistência mecânica (Figueiredo, 2020).

Além disso, os finos presentes em certas argilas podem provocar variações volumétricas significativas, intensificando a retração do concreto e reduzindo sua resistência estrutural. Por isso, a seleção e o controle da qualidade da areia são essenciais para assegurar a durabilidade e o desempenho das estruturas construídas (Cintra, 2014).

A argila pode estar presente no agregado miúdo na forma de películas superficiais, comprometendo a aderência entre a pasta de cimento e o agregado. Como essa aderência é essencial para garantir a

resistência do concreto, a presença dessas impurezas é altamente indesejável (Pilar, 2017).

Além disso, impurezas orgânicas encontradas no agregado miúdo também podem prejudicar o desempenho do concreto, pois interferem nas reações químicas de hidratação do cimento, resultando em perda de resistência mecânica. A matéria orgânica presente nesses agregados geralmente se origina da decomposição de vegetais, manifestando-se sob a forma de húmus e argila orgânica, ambos capazes de comprometer a qualidade da mistura cimentícia (Tang, 2018).

Esse material pode ser obtido a partir de fontes naturais, como leitos de rios, ou produzido de forma industrial, por meio do processo de britagem. Além dessas opções, existe a areia reciclada, proveniente da demolição de estruturas. No entanto, seu uso ainda é pouco difundido, pois exige um rigoroso controle de qualidade para evitar a presença de contaminantes, como metais, madeira, cerâmica e outras impurezas que possam comprometer o desempenho do concreto (Paliulionis, 2019).

Os torrões de argila e materiais friáveis comprometem tanto a resistência quanto a aparência do concreto. No caso de concreto aparente, a presença de argila na mistura pode gerar manchas na superfície, afetando a estética e levantando dúvidas sobre a resistência e a durabilidade do material (Lima, 2015).

Por esse motivo, é fundamental realizar uma seleção criteriosa dos agregados utilizados na produção do concreto, garantindo que estejam isentos de impurezas que possam comprometer sua qualidade e desempenho estrutural.

Falcão Bauer (2022) destaca que as impurezas orgânicas presentes na areia, geralmente compostas por partículas de húmus, exercem um impacto negativo na pega e no endurecimento das argamassas e concretos. O húmus, por ser ácido, neutraliza a alcalinidade da água da mistura, comprometendo a aderência entre o cimento e as partículas dos agregados.

De maneira geral, as impurezas orgânicas são prejudiciais tanto para o concreto quanto para as argamassas, podendo afetar sua resistência e durabilidade. Por isso, é essencial garantir que os agregados utilizados estejam livres dessas substâncias, assegurando a qualidade das estruturas construídas.

A composição granulométrica refere-se à distribuição dos tamanhos dos grãos que compõem a areia. A partir dessa análise, é possível determinar sua dimensão máxima característica, que corresponde à abertura nominal da malha da peneira da série normal ou intermediária onde o agregado fica retido em um percentual igual ou inferior a 5%, conforme a NBR 7211:2022. Além disso, a composição granulométrica permite calcular o módulo de finura, que é a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal.

O conhecimento da quantidade de material pulverulento presente na areia é essencial, pois seu excesso compromete a aderência entre a pasta de cimento e os agregados, além de aumentar o consumo de água devido à maior superfície de contato. Esse fator pode resultar na redução da resistência tanto do concreto quanto das argamassas (Andrade, 2016).

A natureza disponibiliza uma vasta gama de materiais essenciais para o uso humano. Os processos geológicos, ao longo de um tempo geológico extremamente longo e de forma amplamente distribuída, deram origem às principais matérias-primas utilizadas na construção e na indústria. Entre elas, destacam-se os materiais cerâmicos, resultantes da decomposição de rochas por meio de intemperismo físico e químico (Gouveia, 1999).

Antigamente, acreditava-se que os agregados não influenciavam o comportamento do concreto. Essa concepção prevaleceu até o início dos anos 1940, quando estudos demonstraram que esses materiais exercem impactos tanto químicos quanto físicos na composição do concreto.

Os agregados desempenham um papel fundamental nas propriedades dos compostos cimentícios, sendo os constituintes predominantes da mistura, com uma variação de dosagem entre 60% e 80%. Dessa forma, é essencial avaliar cuidadosamente sua classificação e caracterização para evitar impactos negativos no desempenho final do material (Mehta & Monteiro, 2014).

Dentro da perspectiva de custo-benefício, os agregados devem apresentar uma curva granulométrica bem distribuída e ser obtidos de jazidas próximas ao local de dosagem. Essa necessidade implica em uma regionalização dos tipos de pedras britadas, areias e seixos utilizados na composição do traço.

Quanto à granulometria, os agregados são classificados em grãos e miúdos. Considera-se agregado grão aquele que fica retido na peneira de número 4, com malha quadrada de 4,8 mm de lado, enquanto os agregados miúdos são aqueles que passam por essa peneira (Caputo, 2022).

Os agregados também podem ser classificados como naturais ou artificiais. São considerados artificiais aqueles que resultam do britamento de rochas, como as areias e pedras britadas, pois requerem a intervenção humana para a redução do tamanho de seus grãos. Já os agregados naturais incluem materiais como as areias extraídas de rios ou barrancos e os seixos rolados, que não passam por processos industriais de fragmentação.

Outra forma de classificação dos agregados baseia-se em sua massa específica aparente, dividindo-os em três categorias:

- **Leves:** como a argila expandida, pedra-pomes e vermiculita;
- **Normais:** como pedras britadas, areias e seixos;
- **Pesados:** compostos por minerais como hematita, magnetita e barita.

Dada a importância dos agregados na composição do concreto, diversos ensaios são necessários para avaliar sua adequação ao uso. Entre os principais parâmetros analisados, destacam-se a granulometria, a massa específica real e aparente, o módulo de finura, a presença de torrões de argila, impurezas orgânicas e materiais pulverulentos (Bauer, 2022).

Embora o uso de agregado miúdo reciclado não seja universalmente recomendado, suas possibilidades de aplicação devem ser estudadas, uma vez que representa cerca de 50% do total de resíduos

gerados na construção civil. Por outro lado, a extração excessiva de areia natural, na quantidade demandada pelo setor, contribui significativamente para a degradação ambiental. Diante desse cenário, torna-se essencial investigar a viabilidade do uso de resíduos de concreto como agregado miúdo para a produção de concretos estruturais convencionais. Um primeiro passo dentro do escopo de uma pesquisa científica é minimizar as interferências entre os diversos materiais que compõem o concreto. Isso pode ser feito por meio da análise do uso do resíduo de concreto como agregado miúdo em argamassas, que funcionam como matrizes para concretos estruturais, eliminando, assim, a influência do agregado graúdo sobre as variáveis estudadas.

2.3 AGREGADOS ALTERNATIVOS PARA CONCRETO

Muitos avanços têm sido feitos na busca por agregados alternativos para o concreto. Um exemplo é o uso da argila expandida na produção de concreto leve, que não apenas reduz significativamente o peso da estrutura, mas também diminui os custos, tornando-se uma alternativa cada vez mais vantajosa em comparação ao concreto convencional.

O emprego da argila expandida permite obter concretos com densidades que variam entre 1200 e 1800 kg/m³, enquanto os concretos convencionais apresentam densidades que geralmente variam de 2000 a 3000 kg/m³. Esse tipo de agregado leve possui formato esférico, apresentando-se como pequenas bolinhas cerâmicas de baixa densidade. Sua estrutura interna é formada por uma espuma cerâmica porosa, o que contribui para sua leveza e eficiência no isolamento térmico e acústico.

De acordo com (Moravia ,2006), a argila expandida é um material cerâmico refratário submetido a temperaturas de até 1.250°C durante o processo de fabricação. Esse tratamento térmico elimina qualquer matéria orgânica em sua composição, garantindo que não haja emissão de gases tóxicos quando exposto a altas temperaturas. Além disso, a argila expandida apresenta baixos coeficientes de condutividade térmica, proporcionando alta resistência ao fogo e dificultando a propagação de chamas, o que a torna uma excelente opção para aplicações que exigem maior segurança contra incêndios.

Devido ao seu custo significativamente inferior ao do cimento, o estudo dos agregados é fundamental para a engenharia civil. A seleção adequada desses materiais deve ser baseada em ensaios de controle tecnológico, conforme estabelecido na NBR 12.654, garantindo a qualidade e o desempenho do concreto. Segundo (Donaire ,2023), a sustentabilidade tornou-se um fator essencial para a competitividade das empresas, influenciando diretamente sua permanência no mercado e suas oportunidades de negócio. Além disso, posturas não sustentáveis podem comprometer a credibilidade institucional, impulsionando mudanças nos conceitos e processos produtivos em diversos setores.

Com o objetivo de otimizar a utilização dos agregados reciclados na construção civil e ampliar as possibilidades de sua aplicação em produtos específicos, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para

avaliar sua viabilidade técnica. Um exemplo notável dessa aplicação é encontrado em grandes rodovias americanas, como a rodovia de Michigan, nos Estados Unidos. Seu histórico demonstra que, durante o processo construtivo, a utilização de agregados reciclados provenientes da própria seção da pista foi um fator essencial. Dessa forma, essa rodovia tornou-se a primeira, em larga escala, a empregar matéria-prima reciclável em sua construção (Mehta, 2014).

O pó de brita apresenta diversas vantagens, sendo uma alternativa econômica e ambientalmente sustentável. Sua utilização não apenas reduz os custos na produção do concreto, mas também contribui para a destinação adequada de um subproduto do processo de britagem, minimizando os impactos ambientais causados pela exploração indiscriminada da areia natural nos leitos dos rios. Além disso, o pó de brita oferece ao setor da construção civil uma alternativa viável à areia natural na composição de concretos simples. A vantagem econômica se evidencia no menor custo unitário por metro cúbico, possibilitando a elaboração de composições de preço unitárias mais acessíveis em comparação ao concreto produzido exclusivamente com areia natural de rio (Menossi, 2004).

Além da sustentabilidade e da economia, o setor da construção civil busca garantir a qualidade dos materiais utilizados, proporcionando maior segurança às edificações. Estudos já realizados demonstram que o pó de pedra atende a essas exigências, pois apresenta uniformidade em suas propriedades. A trabalhabilidade e, conseqüentemente, a resistência à compressão são influenciadas pelo formato dos grãos, e o pó de pedra contribui positivamente para ambas as características, uma vez que suas partículas possuem formato equidimensional, favorecendo uma melhor distribuição e compactação no concreto (Almeida; Sampaio, 2019).

O concreto reciclado vem demonstrando um desempenho satisfatório em diversas aplicações em obras urbanas, oferecendo uma alternativa economicamente viável. Sua utilização pode ser programada para concretos em bases de pavimentos, estruturas residenciais com fck inferior a 20 MPa e na produção de artefatos pré-moldados. No Japão, dois terços do resíduo de concreto demolido já são reaproveitados na pavimentação de rodovias, e há planos para incentivar seu uso na produção de novos concretos. Na Comunidade Europeia, desde 1988, um grande número de obras tem sido construído utilizando concreto obtido a partir de agregados reciclados, incluindo concreto, alvenaria e misturas de ambos (Vásquez, 2015).

No Brasil, algumas administrações municipais, como as de Belo Horizonte e de cidades do interior paulista, têm adotado a reciclagem de resíduos da construção e demolição como uma alternativa para mitigar os impactos causados pelo descarte inadequado de entulhos. Esse problema tem se agravado nas grandes metrópoles do país, tornando-se um desafio ambiental e logístico cada vez mais significativo.

2.3.1 Massará

O termo massará é uma designação regional utilizada nas áreas de Teresina e Timon para definir um sedimento conglomerático. Devido às suas propriedades, esse material possui diversas aplicações na construção civil. No passado, quando misturado ao cimento Portland, era amplamente empregado na produção de argamassas para assentamento e reboco. No entanto, seu uso foi gradualmente abandonado devido a problemas relacionados à durabilidade para essa finalidade nas obras.

Atualmente, o massará é utilizado principalmente como material de aterro e em outras aplicações de menor relevância na construção civil. Como consequência, seu valor comercial se tornou baixo, uma vez que os construtores não o consideram um insumo essencial para suas obras (Correia Filho; Moita, 1997).

O massará é um material coeso composto por camadas de seixos incorporados em uma matriz areno-argilosa. As camadas superiores, constituídas por materiais de granulometria mais fina, permanecem estratificadas ao longo do tempo, formando acamamentos que passaram por processos de litificação. Esses depósitos são continuamente afetados pela erosão, principalmente devido à ação das águas pluviais, o que contribui para sua dissecação e transformação ao longo dos anos (Pinheiro, 1989).

A matriz areno-argilosa do massará é composta por grãos que variam entre angulosos e arredondados, frequentemente associados a leitos conglomeráticos. De acordo com a literatura, a presença de caulinita confere ao material propriedades ligantes, resultando em um elevado grau de aglomeração. Essas características determinaram seu uso tradicional na construção civil, especialmente em argamassas para reboco, assentamento de tijolos em alvenaria, instalação de pisos cerâmicos e revestimentos (Azevedo; Kiperstok; Moraes, 2006).

Apesar de exigir um tratamento prévio simples, como o peneiramento para a remoção da fração granulométrica mais grossa (seixos), cujo aproveitamento pode ocorrer na composição do concreto, o massará é utilizado na fração mais fina, substituindo o barro e a areia. Essa substituição se justifica pelo fato de o massará possuir, naturalmente, a proporção ideal entre barro e areia, de forma semelhante aos calcários argilosos, que contêm carbonato de cálcio e argilominerais em dosagens adequadas para a fabricação de cimento, sendo, por isso, denominados cimentos naturais (Lima, 2009).

O processo de cimentação, semelhante ao que ocorre em rochas sedimentares clásticas, como o arenito, consiste na formação de uma matriz, ou seja, um material extremamente fino que preenche os espaços entre os grãos dos sedimentos. Esse material pode atuar como um cimento, resultante da precipitação de substâncias, sendo geralmente composto por sílica, sulfatos de cálcio, carbonato de cálcio, magnésio ou óxidos e hidróxidos de ferro, proporcionando maior coesão ao material (Viana, 2007).

O uso do massará foi tão difundido na região de Teresina que a prefeitura da capital implantou um programa denominado “Massará do Povo”, de cunho puramente social e político. O programa objetivava atender a população de baixa renda, na construção de casas populares. A prefeitura, por meio desse

programa, fornecia gratuitamente o massará e outros materiais, sendo que a própria população, em regime de mutirão ou isoladamente, construía suas casas. (Correia Filho; Moita, 1997).

Do final dos anos 80 até meados da década de 90, o massará comportou-se como o material para construção civil mais demandado, principalmente para a construção de moradias de parcela da população de menor poder aquisitivo. Segundo informações dos produtores e comerciantes de bens minerais para a construção civil na Região de Teresina, nas últimas duas décadas, ocorreu uma nova configuração do uso de materiais na construção civil da capital, com o crescimento da demanda por massará. Tal fato decorreu das inadequações tecnológicas que o barro revelou ao exibir bolhas que estouravam quando a argamassa se encontrava seca. Por isso, o barro foi paulatinamente sendo substituído pelo massará na argamassa, principalmente na aplicação de reboco de paredes (Evangelista, 2009).

3 METODOLOGIA

Para a elaboração de um estudo, o pesquisador tem à disposição diversos métodos ou ferramentas para auxiliar na apresentação e coleta dos dados visando atingir o seu objetivo.

Para a realização deste trabalho, adotou-se a abordagem qualitativa de pesquisa de campo aplicada em materiais de natureza exploratória, que consiste na verificação das amostras em laboratório, observação e registro fotográfico. Este estudo tem por base a NBR 7214:2015, que estabelece os padrões para determinar se um material pode ser utilizado como agregado miúdo.

Na pesquisa qualitativa, devem ser apontadas as seguintes características: analisar o material retirado do meio ambiente como princípio direto dos dados e o investigador como instrumento-chave; utilizar técnicas já padronizadas e métodos estatísticos bem definidos; ter como maior preocupação a análise de fenômenos e a concessão de resultados; ser o produto deve ser a finalidade primordial do questionamento e não o resultado ou o processo; ser o estudo dos dados pelo investigador exercido de forma a seguir um padrão estabelecido (Godoy, 1995).

O estudo de natureza qualitativa empenha-se em compreender e esclarecer a dinâmica das convivências sociais, abordando o universo de definições, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes. Isso se relaciona a um espaço mais profundo das relações, processos e fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis (Minayo, 2001).

Os procedimentos metodológicos para este estudo consistem na análise em laboratório, pesquisa documental, registro fotográfico e observação. Na pesquisa documental, serão utilizados materiais produzidos por outros pesquisadores, como livros e artigos científicos.

A pesquisa de campo refere-se à observação de acontecimentos e fenômenos conforme ocorrem na realidade, à coleta de dados, ao estudo e análise desses dados, embasados em uma fundamentação teórica consistente, com o intuito de compreender e explicar o problema pesquisado (Fuzzi, 2010).

Na observação, o pesquisador direciona sua atenção aos detalhes dentro do campo de estudo, visando compreender a complexidade do mesmo e promover um diálogo mais eficaz (Zanelli, 2002). Além disso, um aspecto favorável da observação é sua capacidade de refletir a realidade das circunstâncias estudadas, fornecendo um indicativo do estágio em que os questionamentos se encontram. Esse método permite a estruturação e a complementação de novos métodos obtidos por meio de entrevistas. Outra função importante da observação é permitir que o pesquisador se familiarize com o ambiente e analise os potenciais participantes, possibilitando que os questionamentos em futuras entrevistas sejam formulados com base nos tipos de participantes da comunicação e em sua interação entre si (Shah, 2006).

O registro fotográfico pode ser considerado como uma forma de evidência, sendo ao mesmo tempo necessário e suficiente para confirmar de forma segura a existência do que está retratado. É a melhor forma que há para comprovar que algo aconteceu, onde aconteceu, com quem e em qual período. Uma das vantagens da fotografia é que ela proporciona uma compreensão diferenciada quando comparada a outros

métodos; ela oferece informações que poderiam ser apresentadas de forma incompleta ou equivocada (Guran, 2000).

As análises de laboratório confirmam a composição do material coletado, verificam se o mesmo atende às exigências estabelecidas pela norma e se sua composição é adequada ao objetivo principal da pesquisa, garantindo a veracidade do material em análise. Essas análises fortalecem os trabalhos acadêmicos, conferindo total credibilidade aos pesquisadores (Dubois, 1993).

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1.1 População e amostra

A população desta pesquisa consiste no agregado miúdo utilizado na composição do concreto proveniente das jazidas localizadas na cidade de Teresina-PI.

A amostra consiste no massará, obtido como agregado miúdo pelo processo de beneficiamento do seixo, e na areia proveniente dos rios Poti e Parnaíba, todos adquiridos na empresa fictícia Alfa. Para preservar a imagem do estabelecimento, optou-se por utilizar nomes fictícios. É importante ressaltar que a empresa mencionada possui uma boa reputação na região da capital do estado do Piauí, e segue as normas vigentes em relação ao impacto ambiental, conforme a resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONEMA.

A amostra será utilizada em um estudo comparativo para verificar a viabilidade da substituição da areia como agregado miúdo para o concreto, visando reduzir o impacto ambiental causado pelo desgaste dos rios que cortam a cidade de Teresina-PI.

A justificativa para a seleção desta amostra reside no fato de que os dois materiais a serem utilizados nesta pesquisa possuem características físicas bastante semelhantes. A principal diferença entre eles está no local de extração: a areia é obtida por meio de dragagem realizada no rio Poti, enquanto o massará é retirado de jazidas localizadas nas proximidades da capital do médio Parnaíba.

3.1.2 Procedimentos de coleta de dados

Por meio da pesquisa de campo, foi realizada uma visita a uma beneficiadora de seixo e areia localizada na cidade de Teresina-PI, com o objetivo de obter o material necessário para iniciar o estudo de comparação dos agregados miúdos na composição do concreto. Além da areia e do massará lavado como agregados miúdos, foi utilizada também brita como agregado graúdo, cimento Portland e água para realizar as dosagens de concreto, visando obter o material para iniciar as comparações conforme a NBR 7211:2022.

A partir de fotografias, registramos o processo de beneficiamento dos agregados, representando como eles chegam à usina e como o material fica pronto para ser vendido no mercado da construção civil. No laboratório, foi realizada a dosagem dos concretos utilizando os dois tipos de agregado miúdo em

estudo, a fim de obter resultados e compará-los com os parâmetros estabelecidos pela NBR 7212:2021.

Os dados foram coletados a partir dos resultados obtidos nos ensaios de compressão dos corpos de prova. Isso possibilitou a comparação das vantagens e desvantagens decorrentes da utilização do massará lavado em substituição à areia no traço do concreto, verificando sempre que a amostra de concreto deve apresentar resistência, trabalhabilidade e um custo-benefício dentro dos parâmetros estabelecidos para tornar-se utilizável em obras.

3.1.3 Procedimentos de análise de dados

Ao fim de todos os ensaios, os resultados obtidos foram comparados com a NBR 7214:2015 para verificar se as características obtidas nas duas composições de concreto atendiam aos requisitos estabelecidos. O cumprimento das exigências estabelecidas na norma visa garantir que o material tenha condições de ser aplicado no mercado da engenharia civil sem provocar danos às construções ou às pessoas que venham a utilizar esse material em suas obras.

Após a obtenção de todos os resultados com a dosagem do concreto utilizando-se a areia e o massará lavado como agregado miúdo, iniciou-se o processo de comparação entre os resultados obtidos, verificando a resistência à compressão, a plasticidade e a quantidade de água utilizada na fabricação dos traços de concreto. Todas as verificações foram comparadas com os resultados já disponíveis nas normas, a fim de manter o padrão exigido para a utilização desse material em obras.

Isso comprova que o material em estudo apresenta os requisitos necessários para ser utilizado como componente do traço para concreto, tornando-se assim uma alternativa viável e econômica para reduzir a exploração dos rios que banham a cidade de Teresina-PI.

3.1.4 Coleta dos materiais

O processo de extração de matéria-prima para a produção de agregados envolve a retirada de seixo lavado e massará. Esta etapa é fundamental para garantir a qualidade dos materiais utilizados na construção civil. Durante a operação, o seixo lavado e o massará são separados do restante do material bruto, sendo preparados para os próximos estágios do processo de produção. Este procedimento é realizado em usinas de beneficiamento, onde a matéria-prima é tratada e processada de acordo com as especificações necessárias para sua utilização na construção de diferentes estruturas e obras civis.

Figura 1 – Matéria bruta para retirar o seixo e o massará.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 2 - Massará puro.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 3 - Massará após o processo de lavagem.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Neste estudo, foram comparados traços de concreto compostos por massará lavado e areia como agregado miúdo, realizando-se testes para comprovar a eficácia na utilização desse material. Os ensaios foram conduzidos no laboratório de uma empresa de fornecimento de concreto usinado, localizada na região sudeste da cidade de Teresina, no estado do Piauí. Foram avaliados diversos traços de concreto, utilizando-se diferentes dosagens, com o objetivo de observar qual composição apresentaria melhor resistência à compressão em diferentes idades.

Os traços de concreto utilizados foram os de 25, 30 e 35 MPa. A escolha dessas resistências deveu-se à ampla utilização desses traços na cidade de Teresina, bem como à conformidade com a NBR

6118:2023, que estabelece a resistência mínima para elementos estruturais. Essas resistências foram selecionadas com base na adequação às necessidades e padrões de construções locais, visando garantir a segurança e a durabilidade das estruturas construídas.

3.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRIA DOS AGREGADOS UTILIZADOS NO ESTUDO

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para determinar a porcentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. O massará lavado e a areia foram submetidos a esse ensaio em conformidade com as normas NBR 7211:2022 e 7217:2003, as quais estabelecem os requisitos exigíveis para recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos destinados à produção de concreto.

Figura 4 - Análise granulométrica do massará e da areia.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas do agregado miúdo. As amostras de agregados foram coletadas conforme a NBR 7216:2001. O massará passou por um processo de lavagem na peneira de número 200 (0,074mm) para remover todo o material pulverulento de sua composição. Em seguida, as amostras foram submetidas à secagem em estufa por um período de 24 horas. Para a análise granulométrica, foi utilizada a série normal de peneiras de malha circular, conforme ilustrado na Figura 5, seguindo-se todos os parâmetros estabelecidos pela NM 17054:2022 e pela NBR NM ISO 3310-1:2010.

Figura 5 - Jogo de peneiras usado para a análise granulométrica.



Fonte: Autorial própria, 2023.

O ensaio da análise granulométrica foi realizado conforme a seguinte ordem:

- a) As peneiras foram limpas e encaixadas para formar um conjunto, incluindo o fundo;
- b) A amostra de agregado foi colocada na peneira superior do conjunto;
- c) O conjunto foi agitado manualmente por 5 minutos para separação e classificação prévia dos tamanhos das partículas do agregado;
- d) A peneira superior foi agitada separadamente com movimentos circulares e laterais, utilizando-se tampa e fundo, por 1 minuto. Em seguida, a massa do material retido foi pesada, sendo calculado 1% de sua massa. A massa do material passante também foi pesada, sendo esta inferior a 1% da massa do material retido;
- e) O material retido foi despejado em uma bandeja separada, e a peneira foi limpa em seu interior e exterior. O material passante foi despejado na peneira superior do conjunto;
- f) O mesmo procedimento foi realizado em todas as peneiras restantes no conjunto até que a verificação estivesse completa;
- g) Após a verificação de todo o conjunto, foi determinada a massa do material retido em cada peneira e no fundo do conjunto. O somatório de todas as massas não poderia exceder 0,3% da massa seca da amostra do agregado;
- h) Foram calculadas as porcentagens médias, retidas e acumuladas em cada peneira para determinar o módulo de finura das amostras.

As amostras usadas nos ensaios tinham um peso de 2000 g, passaram por um processo de secagem em estufa e foram peneiradas nas malhas de números 9,5 mm; 6,3 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 μm , 300 μm e 150 μm conforme mostrado nos Quadros 1 e 2. Essa caracterização foi realizada para a comparação com outros elementos envolvidos no traço de concreto. Com base nos resultados, observou-se que o massará lavado apresenta granulometria quase comparável à da areia.

Nas tabelas 1 e 2, é possível visualizar a comparação das amostras na análise granulométrica do massará e da areia.

Tabela 1 – Resultado da análise granulométrica do massará lavado.

Peneira		Total inicial 2000g		Total retido 1997 g
Nº	Mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
3/8"	9,5	0	0	0
1/4"	6,3	8	0,40	0,40
4	4,75	24	1,20	1,60
8	2,36	230	11,52	13,12
16	1,18	198	9,91	23,03
30	0,6	288	14,42	37,46
50	0,3	1019	51,03	88,48
100	0,15	182	9,11	97,60
Fundo		48	2,40	100

Fonte: Autoria própria, 2023.

Com base nos dados da **Tabela 1 – Análise granulométrica do massará**, temos os seguintes resultados:

- Módulo de Finura (MF): 2,61;
- Diâmetro Máximo: 6,3 mm (peneira de 1/4");
- Classificação segundo a NBR 7211:2022: Areia média.

A Tabela 1 apresenta os resultados do ensaio granulométrico realizado com amostra de massará lavado, utilizando uma massa total inicial de 2000 g. O material apresentou retenção majoritária na peneira de 0,30 mm (51,03%), indicando a predominância de partículas com essa dimensão.

O cálculo do **módulo de finura (MF)**, realizado com base nas peneiras padrão definidas pela NBR 7211:2022 (4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,60 mm, 0,30 mm e 0,15 mm), resultou em:

- **MF = 2,61**, o que classifica o agregado como **areia média**.

Além disso, o **diâmetro máximo característico** do material foi de **6,3 mm**, correspondente à peneira de 1/4", sendo a maior que reteve material na análise. Essa classificação reforça o potencial do massará lavado como agregado miúdo para uso em concreto.

Tabela 2 – Análise granulométrica da areia.

Peneira		Total inicial 2000g		Total retido 1997 g
Nº	Mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
3/8"	9,5	0	0	0
1/4"	6,3	0	0	0
4	4,75	14	0,70	0,70
8	2,36	12	0,60	1,30
16	1,18	14	0,70	2,00
30	0,6	86	4,31	6,31
50	0,3	1543	77,27	83,58
100	0,15	308	15,42	99,00
Fundo		20	1,00	100

Fonte: Autoria própria, 2023.

Com base nos dados da **Tabela 2 – Análise granulométrica da areia**, temos os seguintes resultados:

- Módulo de Finura (MF): 1,93;
- Diâmetro Máximo: 4,75 mm (peneira nº 4);
- Classificação segundo a NBR 7211:2022: Areia fina.

Esses valores indicam que essa areia apresenta maior proporção de partículas muito pequenas, o que pode aumentar a demanda de água na mistura e afetar a trabalhabilidade e resistência do concreto.

As amostras de areia foram coletadas diretamente em uma usina de concreto na região da cidade de Teresina. Era de se esperar que, conforme as exigências normativas para a fabricação de concreto, a análise granulométrica indicasse uma areia grossa. No entanto, os resultados revelaram que se tratava de uma areia fina, o que não é o ideal para a produção de concreto. A proposta deste trabalho é justamente analisar a realidade local, utilizando os materiais tal como são empregados na prática na região de Teresina. Esse resultado evidencia a dificuldade em se encontrar areia grossa na região, o que reforça a importância da busca por materiais alternativos — como o massará lavado — para a dosagem adequada do concreto.

O diâmetro máximo é uma medida associada à distribuição granulométrica do agregado. Ele corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Para a areia, o valor do diâmetro máximo foi de 4,75 mm enquanto que, para o massará lavado, foi de 6,3 mm.

O ensaio de granulometria revelou que o massará lavado possui um módulo de finura de 2,61 com base nos resultados obtidos e comparados na tabela 3, a seguir.

Tabela 3 – Classificação do módulo de finura da areia.

CI	Classificação da areia	
Ótima	$1,55 < MF < 2,20$	Fina
Inferior	$2,20 < MF < 2,90$	Média
Superior	$2,90 < MF < 3,50$	Grossa

Fonte: Silva, 2013.

Considerando-se também o diâmetro mínimo de 9,5 mm, pode-se concluir que as características desse material são comparáveis às da areia. A areia é um produto de grande dificuldade para ser encontrado em Teresina, o que resulta em um custo comercial final bastante elevado. Isso, por sua vez, contribui para que o metro cúbico do concreto também tenha um valor significativamente alto.

O módulo de finura, conforme descrito nos parâmetros da tabela 3, não é um indicador direto do tamanho das partículas, pois um número infinito de distribuições granulométricas pode resultar no mesmo valor para o módulo de finura. No entanto, ele fornece uma indicação da espessura ou finura do agregado. Este parâmetro é calculado pela soma das percentagens cumulativas retidas em peneiras-série normais, dividida pela soma total das massas retidas e passantes, multiplicada por 100.

Mudanças significativas no tamanho dos grãos têm um impacto significativo na demanda de água e cimento, influenciando, assim, na trabalhabilidade do material. Portanto, ao ocorrer uma variação significativa nas dimensões dos grãos, é necessário ajustar a quantidade de cimento e água para se manter a resistência do concreto.

3.2.1 Dosagem do concreto

Considerando que a dosagem do concreto deve apresentar uma mistura econômica, com características adequadas para atender às condições de serviço e aos materiais disponíveis, foram utilizadas misturas de concreto com resistências de 25 MPa, 30 MPa e 35 MPa, conforme a composição nos Quadros 4, 5 e 6 a seguir, buscando atender ao padrão especificado na NBR 7212:2021.

Tabela 4 – Traço 25MPa utilizando-se areia como agregado miúdo.

Materiais	kg	ml
Cimento	10,00	-
Brita 12mm	10,30	-
Brita 19mm	20,67	-
Areia	31,00	-
Aditivo		150
Água		6500
Total	71,97	6650

Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 5 – Traço 30MPa utilizando areia como agregado miúdo.

Materiais	kg	ml
Cimento	10,00	-
Brita 12mm	9,70	
Brita 19mm	19,30	-
Areia	28,50	-
Aditivo		150
Água		5800
Total	67,50	5950

Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 6 – Traço 35MPa utilizando areia como agregado miúdo.

Materiais	kg	ml
Cimento	10,00	-
Brita 12mm	9,0	
Brita 19mm	18,10	-
Areia	25,90	-
Aditivo		150
Água		5400
Total	63	5550

Fonte: Autoria própria, 2023.

A mesma dosagem foi aplicada aos dois tipos de agregados com o objetivo de eliminar qualquer disparidade e permitir uma avaliação consistente, uma vez que, em ambas as misturas, foi utilizada a mesma quantidade de materiais conforme observado nos Quadros de 7 a 9 a seguir.

Tabela 7 – Traço 25MPa utilizando massará como agregado miúdo.

Materiais	kg	ml
Cimento	10,00	-
Brita 12mm	10,30	
Brita 19mm	20,67	-
Massará	31,00	-
Aditivo		150
Água		6500
Total	71,97	6650

Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 8 – Traço 30MPa utilizando massará como agregado miúdo.

Materiais	kg	ml
Cimento	10,00	-
Brita 12mm	9,70	
Brita 19mm	19,30	-
Massará	28,50	-
Aditivo		150
Água		5800
Total	67,50	5950

Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 9 – Traço 35MPa utilizando massará como agregado miúdo.

Materiais	kg	ml
Cimento	10,00	-
Brita 12mm	9,0	
Brita 19mm	18,10	-
Massará	25,90	-
Aditivo		150
Água		5400
Total	63	5550

Fonte: Autoria própria, 2023.

Para a obtenção do concreto composto com areia e massará lavado, foi utilizado o mesmo traço para ambos, associado a um aditivo plastificante e retardador de pega, garantindo uma comparação precisa e equilibrada. Os resultados obtidos foram analisados para verificar se o uso desse material como agregado miúdo atende aos requisitos técnicos exigidos para sua aplicação em obras.

A tecnologia do concreto abrange diversas etapas fundamentais. A primeira delas consiste na definição da dosagem do traço, que deve estar em conformidade com as normas técnicas vigentes. O concreto fresco precisa apresentar trabalhabilidade adequada para todas as fases de aplicação, incluindo transporte, lançamento e adensamento. Neste estudo, foram adotadas as diretrizes estabelecidas pela NBR 12655:2022 – Concreto: Preparo, Controle, Recebimento e Aceitação, garantindo o atendimento aos requisitos técnicos necessários.

A dosagem do concreto convencional, para ambas composições, foi realizada em uma máquina betoneira motorizada. O objetivo é garantir a obtenção de uma mistura homogênea e uniforme, de modo que não haja variação entre as dosagens, assegurando que os próximos ensaios sejam consistentes e sem disparidades.

A betoneira garante que os materiais (cimento, areia, brita, água e aditivos) sejam misturados de

forma mais uniforme, reduzindo a segregação e melhorando a qualidade do concreto. O uso da betoneira permite um melhor controle sobre a quantidade de materiais utilizados, o que resulta em um concreto com propriedades mais consistentes.

Misturar o concreto manualmente é mais demorado e cansativo. Com a betoneira, a produção é mais rápida e menos trabalhosa, permitindo a realização de mais testes em menos tempo. A betoneira favorece a incorporação adequada da água, evitando a superdosagem, o que poderia comprometer a resistência e a durabilidade do concreto.

Os ensaios laboratoriais feitos com betoneira reproduzem melhor as condições reais de uma obra, tornando os resultados mais confiáveis para aplicação prática.

Figura 6 - Betoneira utilizada nas dosagens do concreto.



Fonte: Autoria própria, 2023.

3.2.2 Preparação dos materiais

Os materiais foram cuidadosamente pesados, com atenção constante para calibrar a balança e evitar discrepâncias nas medições. As pesagens foram realizadas para cada traço utilizado, conforme as figuras de 7 a 14.

Uma balança precisa permite pesar os materiais com exatidão, evitando desvios que poderiam comprometer o traço e, conseqüentemente, as propriedades do concreto (como resistência, trabalhabilidade e durabilidade). Com pesagens exatas, é possível repetir o mesmo traço várias vezes, obtendo resultados consistentes nos ensaios e na prática, o que é essencial em controle tecnológico.

Evita-se o desperdício de cimento, agregados e aditivos, garantindo que apenas a quantidade necessária seja utilizada. Isso gera economia e contribui para a sustentabilidade do processo. A precisão na dosagem dos materiais influencia diretamente nas características do concreto, como resistência mecânica,

durabilidade e trabalhabilidade.

Quando se conhece exatamente a quantidade de cada componente, é mais fácil ajustar o traço caso algum ensaio aponte a necessidade de correção (como no ajuste da relação água/cimento, por exemplo). Normas como a NBR 7212/2021 exigem controle rigoroso na pesagem dos materiais para garantir a qualidade do concreto. O uso de balança precisa facilita o atendimento a esses requisitos.

Figura 7 - Tara do balde utilizado na pesagem do concreto.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Pesagem dos Materiais: Determinação das quantidades exatas de cimento, areia, brita e

Figura 8 - Cimento utilizado na dosagem do concreto.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Cimento: O aglomerante responsável pela hidratação e resistência do concreto. Proporções exatas de cimento, agregados e água são fundamentais para alcançar a resistência mecânica desejada do concreto.

Figura 9 - Brita 19 mm utilizado na dosagem do concreto.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 10 - Brita 12 mm utilizado na dosagem do concreto.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A pesagem dos materiais para a dosagem de concreto é uma etapa crítica no processo de produção de concreto, pois garante a precisão na mistura dos componentes e, conseqüentemente, a qualidade do concreto. A dosagem correta dos materiais influencia diretamente as propriedades mecânicas e durabilidade do concreto.

Figura 11 - Areia utilizada na dosagem do concreto.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 12 - Massará lavado utilizado na dosagem do concreto.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 13 - Água utilizada na dosagem do concreto.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Água: Necessária para a hidratação do cimento e influente na trabalhabilidade da mistura. A água é medida em volume, mas sua quantidade deve ser convertida em peso (1 litro de água = 1 kg) para manter a precisão na dosagem.

Figura 14 – Aditivo utilizado na dosagem do concreto.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Aditivos: Utilizados para modificar propriedades específicas do concreto, como o tempo de pega, a trabalhabilidade ou a resistência.

3.2.3 Ensaio de Slump Test

Após a pesagem dos materiais, estes foram colocados na betoneira e submetidos a rotação por aproximadamente 3 minutos. Assim que a mistura atingiu homogeneidade, foi realizado o teste de abatimento do tronco de cone, conhecido como Slump Test. Este ensaio é utilizado para medir a consistência do concreto e ajustar a relação água-cimento, o que influencia significativamente na resistência final do concreto aos 28 dias.

O **Slump Test**, ou ensaio de abatimento do tronco de cone, é um dos principais testes realizados para avaliar a trabalhabilidade do concreto fresco. Esse ensaio mede a fluidez e a consistência da mistura, sendo fundamental para garantir que o concreto tenha as propriedades adequadas para sua aplicação na obra.

A realização do Slump Test é essencial porque a trabalhabilidade influencia diretamente a facilidade de lançamento, adensamento e acabamento do concreto. Se a mistura estiver muito seca, pode ser difícil de manusear e compactar, resultando em vazios que reduzem a resistência da estrutura. Por outro lado, se estiver muito fluida, pode indicar um excesso de água, o que compromete a resistência e a durabilidade do concreto devido à maior porosidade.

O ensaio é simples e rápido, consistindo no preenchimento de um molde tronco-cônico com concreto fresco, seguido da retirada do molde e da medição do abatimento do material. Esse valor de abatimento (slump) é comparado aos padrões estabelecidos para cada tipo de aplicação, permitindo ajustes na mistura caso necessário.

Com o material completamente homogêneo, deu-se início ao ensaio de consistência pelo método do abatimento do tronco de cone, que mede tanto a consistência quanto a fluidez do material, permitindo o controle da uniformidade do concreto. A consistência do abatimento indicará a uniformidade da trabalhabilidade do material, o que influenciará diretamente em sua aplicação.

Figura 15 - Material usado no ensaio do abatimento do tronco de cone na realização do Slump Test.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Além de ser um controle de qualidade essencial durante a concretagem, o Slump Test também ajuda a identificar variações na dosagem dos materiais, auxiliando na detecção de possíveis falhas no processo de produção do concreto. Assim, sua realização garante que o concreto atenda às especificações do projeto, contribuindo para a segurança e longevidade das estruturas.

Figura 16 - Material usado no ensaio do abatimento do tronco de cone.



Fonte: Autoria própria, 2023.

O ensaio Slump Test consiste em preencher um tronco de cone em três camadas, aplicando 25 golpes em cada camada. Em seguida, a forma é removida seguindo um ritmo constante, e logo após é feita a leitura para determinar a diferença de altura entre o topo do concreto e a forma. Este teste é fundamental para avaliar a consistência do concreto e ajustar a relação água-cimento, o que tem um impacto significativo na resistência final do concreto aos 28 dias.

Figura 17 – Ensaio do abatimento do tronco de cone-Slump Test.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 18 – Ensaio do abatimento do tronco de cone-Slump Test.



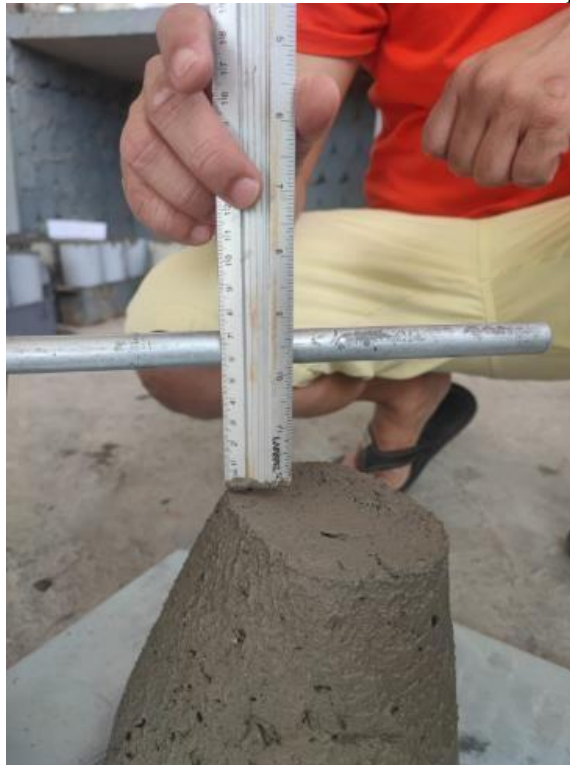
Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 19 – Ensaio do abatimento do tronco de cone Slump Test.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 20 – Ensaio do abatimento do tronco de cone Slump Test.



Fonte: Autoria própria, 2023.

3.2.4 Moldagem dos corpos de prova

Após a realização do ensaio, o material é descartado e dá-se início à moldagem dos corpos de prova cilíndricos. Para este trabalho, foram utilizadas formas de 10x20 cm, em conformidade com a NBR. As formas são plásticas e estanques, conforme especificado na norma. A moldagem é realizada em duas camadas, com 12 golpes aplicados em cada camada. Após cada camada, a superfície é nivelada para garantir a maior planicidade possível. Todo o processo de moldagem é realizado em ambiente coberto e protegido de qualquer tipo de intempérie.

No dia 20 de agosto de 2023, foram confeccionados 72 corpos de prova, distribuídos igualmente entre seis tipos de traços, totalizando 12 corpos de prova para cada um. O planejamento incluiu a ruptura de três corpos de prova em quatro diferentes idades: 3, 7, 28 e 90 dias. A inclusão de corpos de prova para rompimento aos 90 dias tem como objetivo avaliar a evolução da resistência ao longo de um período mais prolongado.

Foram moldados um total de 36 corpos de prova para o concreto composto com areia e 36 corpos de prova para o concreto dosado com a massará lavado. Os moldes utilizados seguiram o modelo cilíndrico de 10 cm x 20 cm, em conformidade com as normas estabelecidas pela NBR 5738/2015 – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Durante a moldagem, o material homogêneo foi colocado dentro dos moldes em duas camadas, sendo realizados 12 golpes em cada seção com o uso de uma haste metálica lisa de 600 mm por 16 mm.

Figura 21 – Forma cilíndrica para moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Logo após a moldagem, todos os corpos de prova foram devidamente identificados para garantir um mapeamento preciso e um controle tecnológico eficiente. Essa etapa é fundamental para assegurar a rastreabilidade dos corpos de prova ao longo dos ensaios, permitindo um acompanhamento detalhado da evolução da resistência e das condições de cura. Além disso, a identificação adequada minimiza riscos de extravios ou trocas, contribuindo para a confiabilidade dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais.

Figura 22 – Corpos de prova após moldagem.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 23 – Corpos de prova após moldagem.



Fonte: Autoria própria, 2023.

As amostras foram armazenadas em uma área protegida, livre de interferências climáticas, para que o material pudesse demonstrar suas verdadeiras características. Os moldes foram posicionados em uma base regularizada e plana. Após o processo de moldagem, os corpos de prova foram deixados intactos por 24 horas, com o principal objetivo de preservar as características principais de cada composição de concreto.

3.2.5 Cura dos corpos de prova

A desmoldagem dos corpos de prova ocorreu após 24 horas do início da moldagem, seguindo os cuidados necessários para não abalar ou danificar o material de estudo. Cada corpo de prova foi marcado com cera em sua base superior para identificar o número de cada lote. Após a marcação, iniciou-se o processo de cura conforme ilustrado na figura abaixo, onde os corpos de prova foram inseridos em um tanque com água e permaneceram submersos até minutos antes da realização dos testes de ruptura.

A cura dos corpos de prova é um processo fundamental para garantir o desenvolvimento adequado da resistência e da durabilidade do concreto. Ela consiste no controle da umidade e da temperatura durante um período determinado, evitando a perda excessiva de água por evaporação e assegurando que a hidratação do cimento ocorra de maneira eficiente.

Uma cura bem executada melhora a coesão da matriz do concreto, reduzindo a formação de fissuras e aumentando a resistência mecânica ao longo do tempo. Além disso, influencia diretamente na durabilidade da estrutura, pois um concreto devidamente curado apresenta menor permeabilidade, tornando-se mais resistente à ação de agentes agressivos, como sulfatos, cloretos e variações térmicas.

Nos ensaios laboratoriais, a padronização da cura dos corpos de prova é essencial para garantir a reprodutibilidade dos resultados e a comparação precisa entre diferentes traços de concreto. Quando não há

um controle adequado da cura, os valores de resistência podem ser comprometidos, levando a interpretações equivocadas sobre o desempenho do material. Por isso, seguir corretamente os procedimentos normativos de cura é indispensável para obter dados confiáveis e representativos da realidade das estruturas em serviço.

Figura 24 – Cura dos corpos de prova.



Fonte: A autoria própria, 2023.

O processo de cura é uma das etapas mais importantes na execução do concreto, pois tem um papel fundamental no desenvolvimento da hidratação da pasta de cimento. Essa hidratação é responsável por vedar o concreto e manter a água de amassamento em seu interior, evitando assim a retração e o transporte de substâncias que poderiam interferir na hidratação e na resistência final da peça.

3.2.6 Ensaio de compressão

Os ensaios de compressão são um dos testes mais importantes para avaliar a resistência mecânica do concreto, sendo amplamente utilizados no controle de qualidade e na verificação do desempenho estrutural. Esse teste mede a capacidade do concreto de suportar cargas axiais de compressão, fornecendo um parâmetro essencial para a segurança e durabilidade das construções.

A resistência à compressão do concreto é determinada por meio de ensaios em cilindros. Tanto a moldagem dos corpos de prova quanto à realização dos ensaios seguem as normas NBR 5738:2015 e NBR 5739:2018. Para iniciar a verificação da resistência, os corpos de prova são retirados do tanque de água e deixados escorrer por alguns minutos para remover o excesso de água que estava em contato com a amostra. Em seguida, os corpos de prova são posicionados no ensaio de compressão axial. O rompimento do material é realizado em uma prensa hidráulica da marca Solotest, que exerce uma força gradual de compressão sobre o corpo de prova até que ocorra a ruptura.

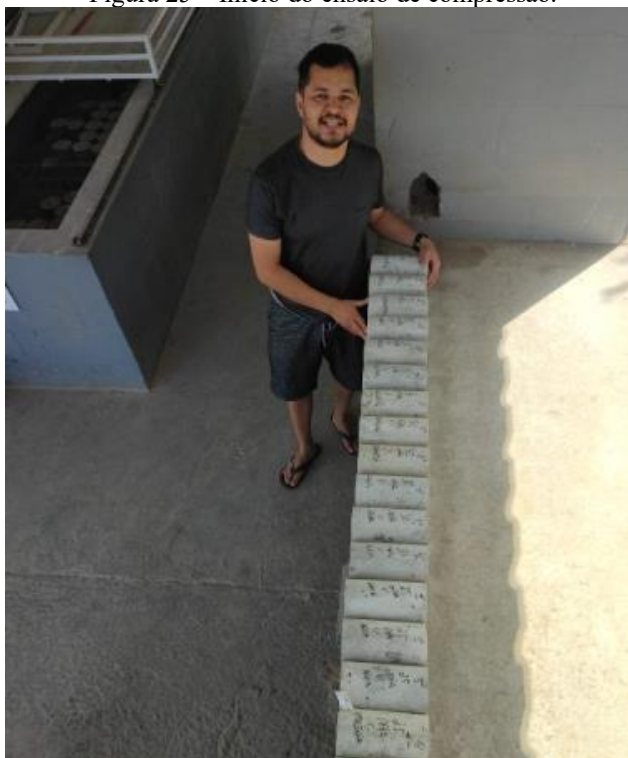
O ensaio é realizado em corpos de prova cilíndricos previamente moldados e curados, que são submetidos a um carregamento progressivo até atingirem a ruptura. A resistência à compressão, obtida em megapascals (MPa), é comparada com os valores especificados no projeto estrutural e nas normas técnicas vigentes, como a NBR 5739.

A realização desse ensaio em diferentes idades, como aos 3, 7, 28 e 90 dias, permite acompanhar a evolução da resistência do concreto ao longo do tempo. O valor mais utilizado para referência é o da resistência aos 28 dias, pois representa a maturidade padrão do material. No entanto, ensaios em idades mais avançadas, como aos 90 dias, são importantes para avaliar o ganho contínuo de resistência, especialmente em concretos de alta performance.

Além de garantir que o concreto atenda às especificações do projeto, os ensaios de compressão auxiliam na identificação de problemas na dosagem, na cura ou na qualidade dos materiais utilizados. Dessa forma, são fundamentais para assegurar que as estruturas construídas tenham a resistência necessária para suportar as cargas previstas, garantindo a segurança e a durabilidade da obra.

Antes de iniciar os ensaios, os corpos de prova devem ser removidos do tanque de cura. Este processo deve ser realizado com cuidado para evitar danos aos corpos de prova, garantindo que a integridade estrutural não seja comprometida.

Figura 25 – Início do ensaio de compressão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Todos os corpos de prova tiveram suas bases niveladas em uma mesa niveladora. O objetivo do nivelamento das bases é garantir que as superfícies de apoio dos corpos de prova estejam perfeitamente planas e paralelas entre si. Isso é essencial para garantir resultados precisos e confiáveis durante os ensaios de resistência, pois qualquer desalinhamento ou irregularidade pode comprometer a distribuição uniforme das cargas aplicadas.

Figura 26 – Mesa niveladora dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria, 2023.

As superfícies dos corpos de prova devem ser limpas para remover qualquer sujeira, resíduos de cura ou detritos. Uma superfície limpa é crucial para assegurar que os resultados do ensaio não sejam

influenciados por fatores externos.

Figura 27 – Corpos de prova com bases niveladas.



Fonte: Autoria própria, 2023.

As bases dos corpos de prova estão perfeitamente planas, sem desníveis ou irregularidades perceptíveis. Isso é fundamental para garantir a aplicação uniforme das cargas durante os ensaios de resistência.

O alinhamento das bases dos corpos de prova assegura que todas as amostras estejam na mesma altura e posição, o que é essencial para resultados precisos e comparáveis entre si.

O nivelamento das bases garante que todas as amostras estejam sujeitas às mesmas condições durante os ensaios, contribuindo para a validade e a confiabilidade dos resultados.

Com as bases niveladas, os corpos de prova estão prontos para serem submetidos aos ensaios de resistência, como o ensaio de compressão. Esse preparo adequado é fundamental para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos.

Figura 28 – Prensa para ruptura dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Antes da realização do ensaio de compressão, é necessário verificar as dimensões e o aspecto visual dos corpos de prova. Esta verificação preliminar inclui medir as dimensões para garantir que estão dentro das tolerâncias especificadas e inspecionar visualmente para identificar quaisquer defeitos visíveis.

Os corpos de prova devem ser colocados corretamente na prensa de compressão. O alinhamento adequado é essencial para garantir que a carga seja aplicada uniformemente sobre as superfícies do corpo de prova.

A carga deve ser aplicada de maneira contínua e uniforme até que ocorra a ruptura do corpo de prova. A taxa de aplicação da carga deve ser controlada conforme especificado nas normas técnicas pertinentes, garantindo que o ensaio seja realizado de forma consistente.

Figura 29 – Corpo de prova submetido à compressão axial na prensa.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Após a ruptura do corpo de prova, a carga máxima suportada deve ser anotada. Este valor é essencial para a determinação da resistência à compressão do concreto. Os resultados devem ser registrados de forma detalhada, incluindo qualquer observação relevante sobre o comportamento do corpo de prova durante o ensaio.

Figura 30 – Medidor da prensa.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Durante o ensaio de compressão, a carga máxima suportada pelo corpo de prova é registrada. Esse valor é utilizado para calcular a resistência à compressão do concreto, expressa em megapascals (MPa).

Figura 31 – Corpos de provas após ruptura.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A ruptura de corpos de prova cilíndricos de concreto durante ensaios de compressão segue um padrão característico, fornecendo informações cruciais sobre as propriedades mecânicas e a qualidade do material. A compreensão desse tipo de ruptura é fundamental para a interpretação adequada dos resultados do ensaio e para a garantia da segurança e desempenho das estruturas de concreto em serviço.

Figura 32 – Corpos de provas após ensaio de compressão axial.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Seguindo rigorosamente cada etapa descrita acima, é possível assegurar que os ensaios de compressão dos corpos de prova de concreto sejam realizados com precisão e confiabilidade. Este

procedimento garante que os resultados obtidos reflitam com exatidão as propriedades do concreto, contribuindo para a avaliação da sua qualidade e desempenho em aplicações estruturais.

3.2.7 Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

Para a determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto, utilizou-se como referência a norma NBR 5739:2018, ressaltando-se que todos os corpos de prova foram moldados em conformidade com os procedimentos estabelecidos pela NBR 5738:2015.

Os corpos de prova foram submetidos à compressão axial nas idades especificadas de 3, 7, 28 e 91 dias conforme as tolerâncias de tempo descritas na Tabela 10 da NBR 5738:2015. A contagem da idade dos corpos de prova iniciou-se a partir do momento da moldagem.

Tabela 10 – Tolerância para a idade de ensaio.

Idade de ensaio	Tolerância permitida horas
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48

Nota: Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação.

Fonte: Autoria própria, 2023.

A fórmula para o cálculo da resistência à compressão de um corpo de prova cilíndrico, conforme a NBR 5739:2018, é a seguinte:

$$F_c = F / A$$

Onde:

- F_c é a resistência à compressão (em MPa);
- F é a carga máxima aplicada no ensaio (em N);
- A é a área da seção transversal do corpo de prova (em mm²).

Para um corpo de prova cilíndrico, a área da seção transversal (A) é calculada da seguinte forma:

$$A = \pi (d / 2)^2$$

$$A = \pi d^2 / 4$$

Portanto, substituindo a área na fórmula da resistência à compressão, tem-se:

$$F_c = 4F / (\pi d^2)$$

Para o cálculo dessa fórmula, é necessário:

- 1) Medir o diâmetro do corpo de prova. No caso do estudo, foi usado um CP (corpo de prova) de 10cm de diâmetro.;
- 2) Determinar a carga máxima (F): obter a carga máxima aplicada durante o ensaio de compressão;
- 3) Calcular a área da seção transversal (A): usar a fórmula $A = \pi d^2 / 4$;
- 4) Calcular a resistência à compressão (F_c): aplicar a fórmula abaixo:

$$F_c = 4F / (\pi d^2)$$

Como 1,00 kgf é igual a 9,80665 N, neste estudo, adotou-se o valor aproximado de 1,00 kgf igual a 10 N para uma melhor compreensão. O visor da prensa elétrica marca o resultado em toneladas-força como pode-se ver na imagem que se segue (Figura-34). Logo todos os resultados encontrados no visor, durante o ensaio de compressão de cada corpo de prova, devem ser multiplicados por 10000 para se chegar ao valor em Newtons. Para melhor explicitação, o cálculo será feito com o valor encontrado no visor da figura (45,49 tf). Esse procedimento foi feito para todos os resultados encontrados para se chegar ao resultado em N/mm², que é a grandeza que deve ser encontrada em MPa.

Exemplo de conversão:

Figura 34 - Leitura do Visor (tonelada-força).



Fonte: Autoria própria, 2023.

O visor da prensa elétrica mostra 45,49 tf. Conversão de tonelada-força para Newtons:

$$1 \text{ tonelada força (tf)} = 10000 \text{ N.}$$

Portanto,

$$45,49 \text{ tf} * 10000 \text{ N/tf} = 454900 \text{ N}.$$

Cálculo da área da seção transversal do corpo de prova:

O corpo de prova tem a forma cilíndrica com diâmetro de 10 cm (100 mm).

A área da seção transversal (A) é dada por:

$$A = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2, \text{ onde } d \text{ é o diâmetro.}$$
$$A = \pi \cdot \left(\frac{100\text{mm}}{2}\right)^2 = \pi \cdot (50\text{mm})^2 \approx 78,54\text{mm}^2$$

Cálculo da pressão (N/mm²):

$$\text{Pressão} = \text{Força} / \text{Área} = 454900 \text{ N} / 7854 \text{ mm}^2 \approx 57,92 \text{ N/mm}^2.$$

Resultado final:

A pressão resultante é aproximadamente 57,92 N/mm², que é equivalente a 57,92 MPa.

Procedimento resumido:

- Ler o valor do visor da prensa (em tf);
- Multiplicar esse valor por 10000 para converter em Newtons;
- Calcular a área da seção transversal do corpo de prova (para um cilindro de diâmetro 10 cm);
- Dividir a força em Newtons pela área da seção transversal do corpo de prova (em mm²);
- Obter o resultado da pressão em N/mm² ou MPa.

Este procedimento pode ser repetido para cada leitura do visor durante os ensaios de compressão para se determinar a pressão em MPa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item, são apresentados os resultados e discussões sobre a utilização de massará lavado como substituto da areia como agregado miúdo no traço de concreto.

Figura 33 – Corpos de prova prontos para ensaio de compressão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.1 COMPARATIVO DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO AOS 3, 7, 28 E 91 DIAS

Os ensaios de compressão dos corpos de prova cilíndricos foram realizados nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias para concretos produzidos com areia convencional e massará. Abaixo estão os resultados obtidos, seguidos de um comparativo e discussão dos resultados.

4.1.1 Resultados dos ensaios

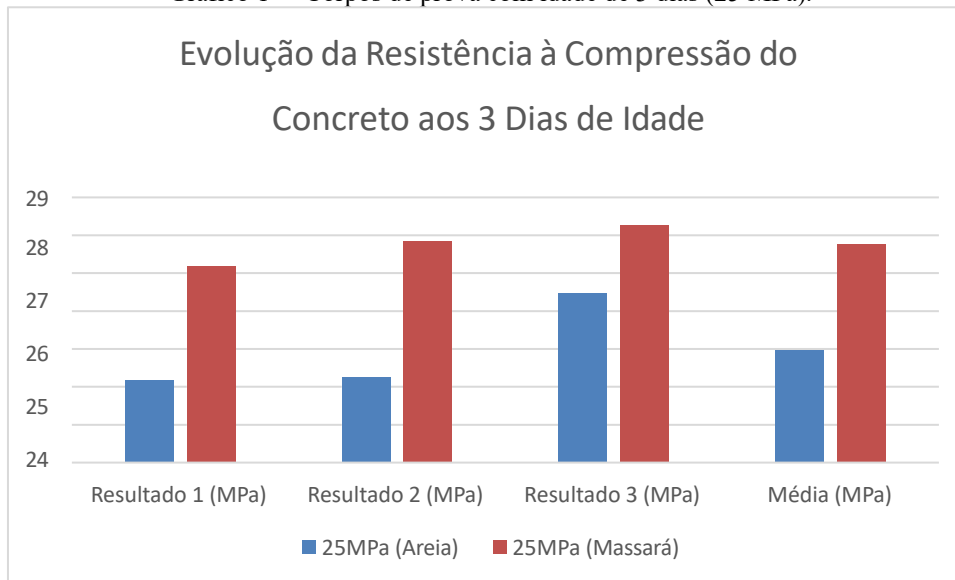
Os ensaios de compressão em corpos de prova cilíndricos são cruciais para a avaliação da resistência mecânica do concreto, fornecendo dados fundamentais para o controle de qualidade e a validação de projetos estruturais. Esses testes permitem determinar a capacidade do material de suportar esforços de compressão, identificando possíveis falhas e garantindo que as especificações técnicas sejam atendidas. Além disso, os resultados auxiliam no monitoramento do desempenho do concreto ao longo do tempo, contribuindo para a durabilidade e a segurança das edificações. Portanto, esses ensaios são indispensáveis para assegurar a eficiência e a confiabilidade das construções, bem como para otimizar processos e reduzir custos.

4.1.2 Ensaio com 3 dias de idade

a) Concreto com resistência característica de 25 MPa:

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão aos 3 dias de idade para concretos com resistência característica de 25 MPa indicam um desempenho diferenciado entre os dois tipos de agregados utilizados.

Gráfico 1 – Corpos de prova com idade de 3 dias (25 MPa).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 11 - Resultados da resistência à compressão aos 3 dias para concretos com resistência característica de 25 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
25MPa (Areia)	24,18	24,26	26,46	24,97
25MPa (Massará)	27,18	27,85	28,27	27,77

Fonte: Autoria própria (2024).

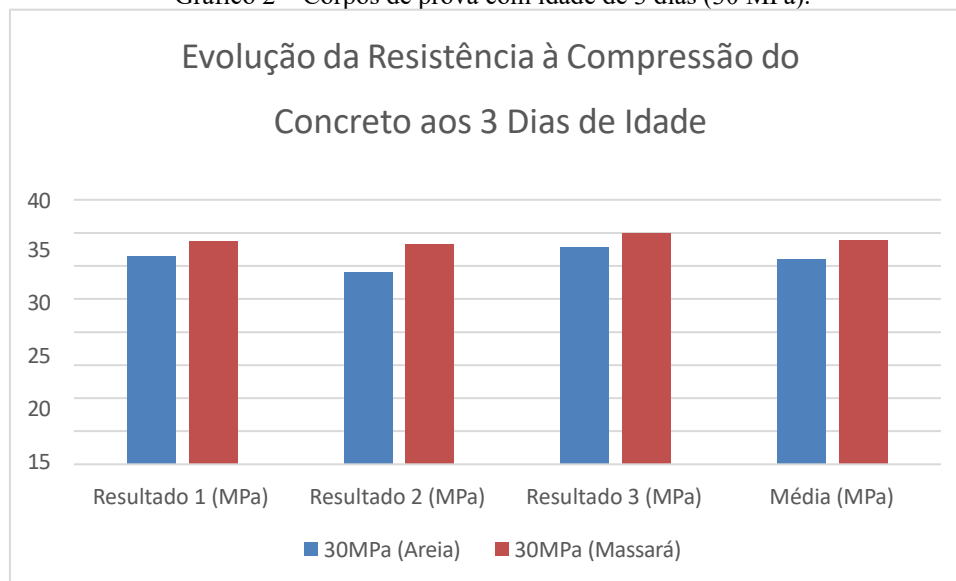
O concreto com agregado de areia apresentou valores de resistência à compressão de 24,18 MPa, 24,26 MPa e 26,46 MPa, resultando em uma média de 24,97 MPa. Esse valor está muito próximo da resistência característica de projeto (25 MPa), o que sugere um bom desempenho inicial dentro da margem esperada para a idade do ensaio.

Já o concreto produzido com agregado de massará obteve resistências de 27,18 MPa, 27,85 MPa e 28,27 MPa, com uma média de 27,77 MPa. Esse valor é consideravelmente superior à resistência característica especificada, indicando que o uso do agregado massará pode contribuir para um ganho mais acelerado de resistência nos primeiros dias de cura.

a) Concreto com resistência característica de 30 MPa:

Os ensaios de compressão aos 3 dias de idade para concretos com resistência característica de 30 MPa evidenciam um comportamento distinto entre os concretos produzidos com diferentes tipos de agregados.

Gráfico 2 – Corpos de prova com idade de 3 dias (30 MPa).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 12 - Resultados da resistência à compressão aos 3 dias para concretos com resistência característica de 30 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
30MPa (Areia)	31,41	28,98	32,79	31,06
30MPa (Massará)	33,77	33,22	34,94	33,98

Fonte: Autoria própria (2024).

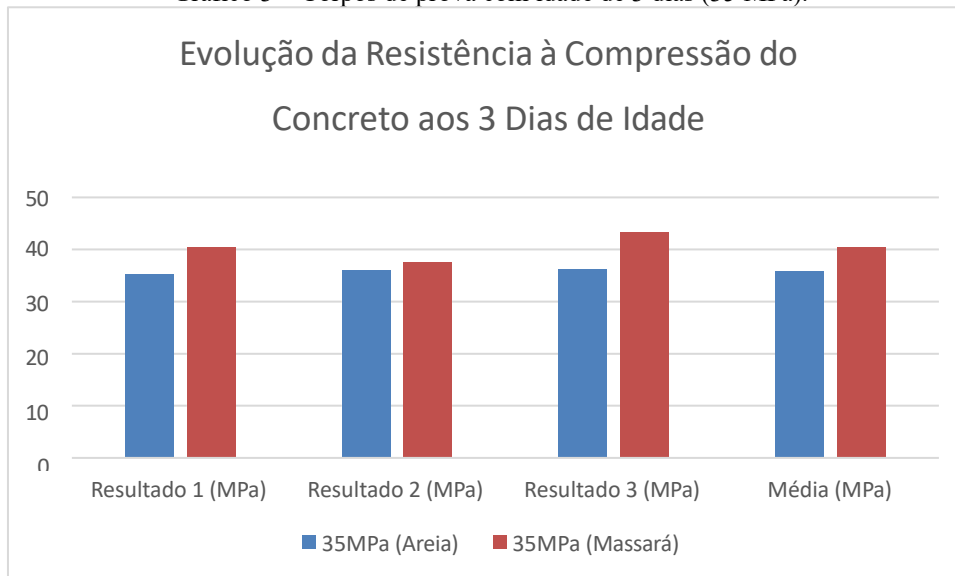
O concreto com agregado de areia apresentou resistências de 31,41 MPa, 28,98 MPa e 32,79 MPa, resultando em uma média de 31,06 MPa. Esse valor já supera a resistência característica especificada (30 MPa), indicando um desenvolvimento inicial satisfatório da resistência.

Por outro lado, o concreto com agregado massará apresentou valores de resistência de 33,77 MPa, 33,22 MPa e 34,94 MPa, com uma média de 33,98 MPa. Esse desempenho demonstra um ganho ainda mais acentuado de resistência nos primeiros dias de cura, com valores significativamente superiores à resistência característica de projeto.

a) Concreto com resistência característica de 35 MPa:

Os ensaios de compressão aos 3 dias de idade para concretos com resistência característica de 35 MPa demonstram uma tendência de variação na resistência inicial em função do tipo de agregado utilizado.

Gráfico 3 – Corpos de prova com idade de 3 dias (35 MPa).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 13 - Resultados da resistência à compressão aos 3 dias para concretos com resistência característica de 35 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
35MPa (Areia)	35,20	36,07	36,24	35,84
35MPa (Massará)	40,37	37,60	43,23	40,40

Fonte: Autoria própria, 2024.

O concreto com agregado de areia obteve valores de resistência de 35,20 MPa, 36,07 MPa e 36,24 MPa, com uma média de 35,84 MPa. Esse resultado indica que, já aos 3 dias de idade, o concreto atingiu e até superou ligeiramente a resistência característica do projeto.

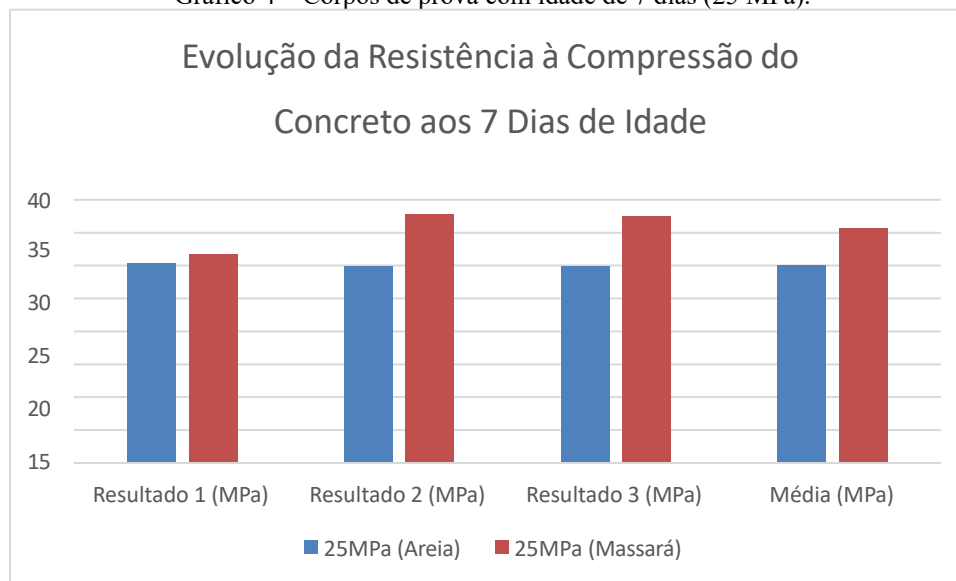
Por outro lado, o concreto com agregado massará apresentou resistências de 40,37 MPa, 37,60 MPa e 43,23 MPa, resultando em uma média de 40,40 MPa. Esse valor representa um ganho de resistência significativamente superior ao especificado para a idade do ensaio, evidenciando que o uso desse agregado pode acelerar o desenvolvimento da resistência inicial.

4.1.3 Ensaio com 7 dias de idade

b) Concreto com resistência característica de 25 MPa:

Os ensaios de compressão aos 7 dias de idade para concretos com resistência característica de 25 MPa evidenciam um desenvolvimento significativo da resistência mecânica em ambos os tipos de agregados avaliados.

Gráfico 4 – Corpos de prova com idade de 7 dias (25 MPa).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 14 - Resultados da resistência à compressão aos 7 dias para concretos com resistência característica de 25 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
25MPa (Areia)	30,35	29,88	29,92	30,05
25MPa (Massará)	31,67	37,80	37,50	35,66

Fonte: Autoria própria (2024).

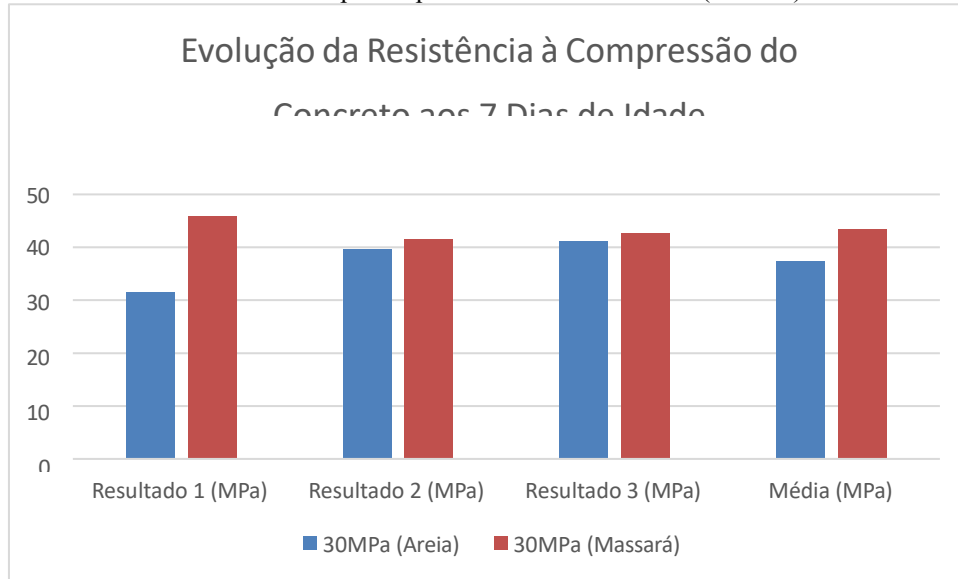
O concreto com agregado de areia apresentou valores de resistência de 30,35 MPa, 29,88 MPa e 29,92 MPa, com uma média de 30,05 MPa. Esse resultado indica que o concreto já ultrapassou a resistência característica de projeto (25 MPa), confirmando um bom processo de cura e hidratação do cimento. A baixa variação entre os valores sugere uma mistura homogênea e uma boa qualidade do concreto.

Por outro lado, o concreto com agregado Massará obteve resistências de 31,67 MPa, 37,80 MPa e 37,50 MPa, com uma média de 35,66 MPa. Esses valores demonstram um desempenho superior em relação ao concreto com areia, com um aumento expressivo da resistência aos 7 dias. A maior dispersão entre os resultados pode indicar variações na compactação ou na distribuição dos agregados, mas, de forma geral, os valores observados evidenciam um desenvolvimento acelerado da resistência.

a) Concreto com resistência característica de 30 MPa:

Os ensaios de compressão aos 7 dias de idade para concretos com resistência característica de 30 MPa indicam um desenvolvimento satisfatório da resistência, com ambos os tipos de agregados ultrapassando a resistência especificada.

Gráfico 5 – Corpos de prova com idade de 7 dias (30 MPa).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 15 - Resultados da resistência à compressão aos 7 dias para concretos com resistência característica de 30 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
30MPa (Areia)	31,48	39,58	41,11	37,39
30MPa (Massará)	45,75	41,55	42,67	43,32

Fonte: Autoria própria (2024).

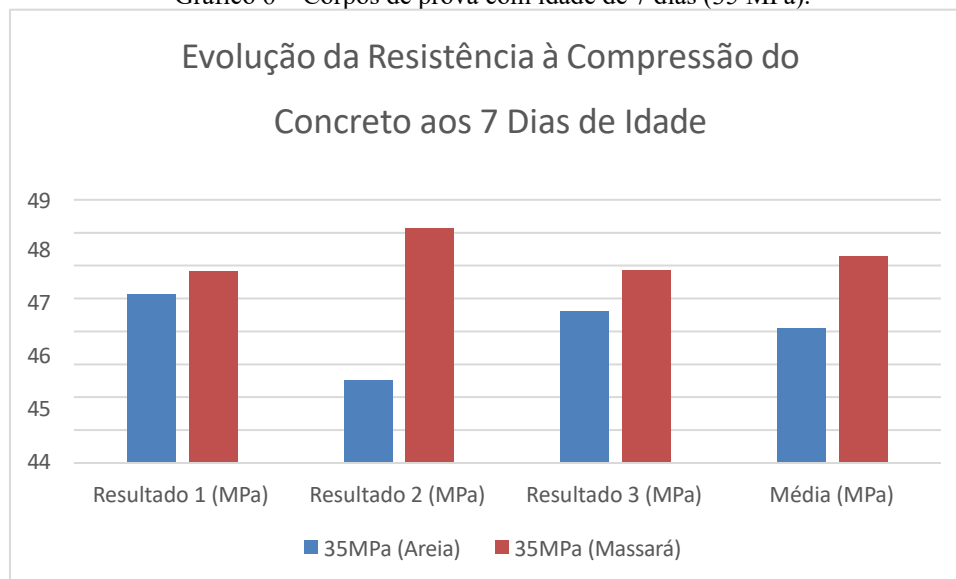
O concreto com agregado de areia apresentou valores de resistência de 31,48 MPa, 39,58 MPa e 41,11 MPa, resultando em uma média de 37,39 MPa. Esse valor demonstra que o concreto já superou a resistência característica prevista, indicando um bom desempenho inicial. A variação entre os resultados pode estar associada a fatores como pequenas diferenças na compactação ou na distribuição do agregado dentro da matriz cimentícia.

Já o concreto com agregado Massará obteve resistências de 45,75 MPa, 41,55 MPa e 42,67 MPa, com uma média de 43,32 MPa. Esse resultado evidencia um ganho de resistência mais expressivo em comparação com o concreto de areia, mostrando que o uso desse agregado pode favorecer um desenvolvimento acelerado da resistência.

a) Concreto com resistência característica de 35 MPa:

Os ensaios de compressão aos 7 dias de idade para concretos com resistência característica de 35 MPa revelam um desempenho significativamente superior ao especificado, demonstrando um avanço expressivo na resistência dos materiais avaliados.

Gráfico 6 – Corpos de prova com idade de 7 dias (35 MPa).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 16 - Resultados da resistência à compressão aos 7 dias para concretos com resistência característica de 35 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
35MPa (Areia)	46,12	43,52	45,59	45,08
35MPa (Massará)	46,83	48,14	46,87	47,28

Fonte: Autoria própria (2024).

O concreto com agregado de areia apresentou resistências de 46,12 MPa, 43,52 MPa e 45,59 MPa, com uma média de 45,08 MPa. Esses valores indicam que o concreto já ultrapassou em aproximadamente 28,8% a resistência característica de projeto (35 MPa), evidenciando uma eficiente hidratação do cimento e um bom desempenho mecânico precoce.

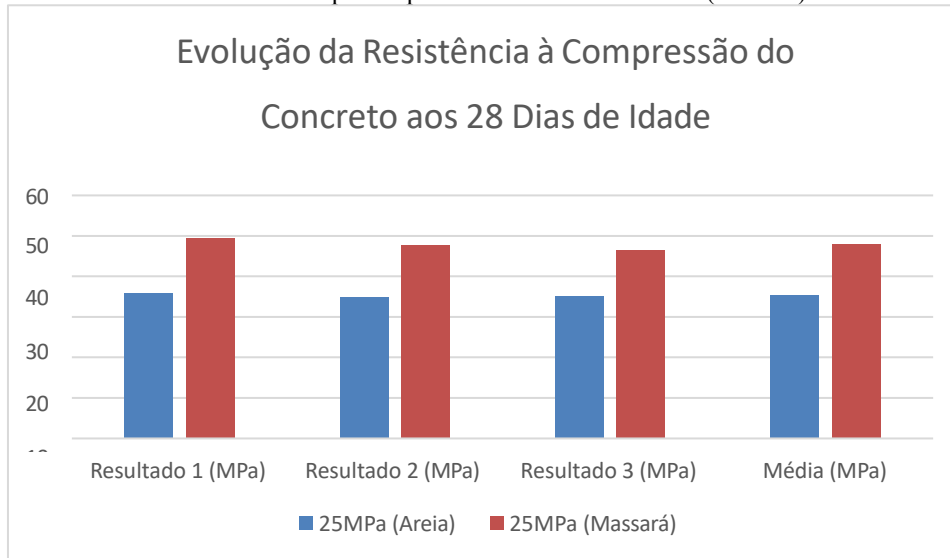
Por sua vez, o concreto com agregado Massará atingiu resistências de 46,83 MPa, 48,14 MPa e 46,87 MPa, com uma média de 47,28 MPa. Esse desempenho é ainda mais elevado, com um acréscimo de aproximadamente 35% em relação à resistência característica especificada. A pouca dispersão entre os valores reforça a consistência do material e sua capacidade de ganhar resistência rapidamente.

4.1.4 Ensaios com 28 dias de idade

c) Concreto com resistência característica de 25 MPa:

Os ensaios de compressão aos 28 dias de idade para concretos com resistência característica de 25 MPa indicam um desempenho altamente satisfatório, com ambos os tipos de concreto ultrapassando significativamente a resistência especificada.

Gráfico 7 – Corpos de prova com idade de 28 dias (25 MPa).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 17 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias para concretos com resistência característica de 25 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
25MPa (Areia)	35,87	35,01	35,03	35,30
25MPa (Massará)	49,59	47,72	46,46	47,92

Fonte: Autoria própria, 2024.

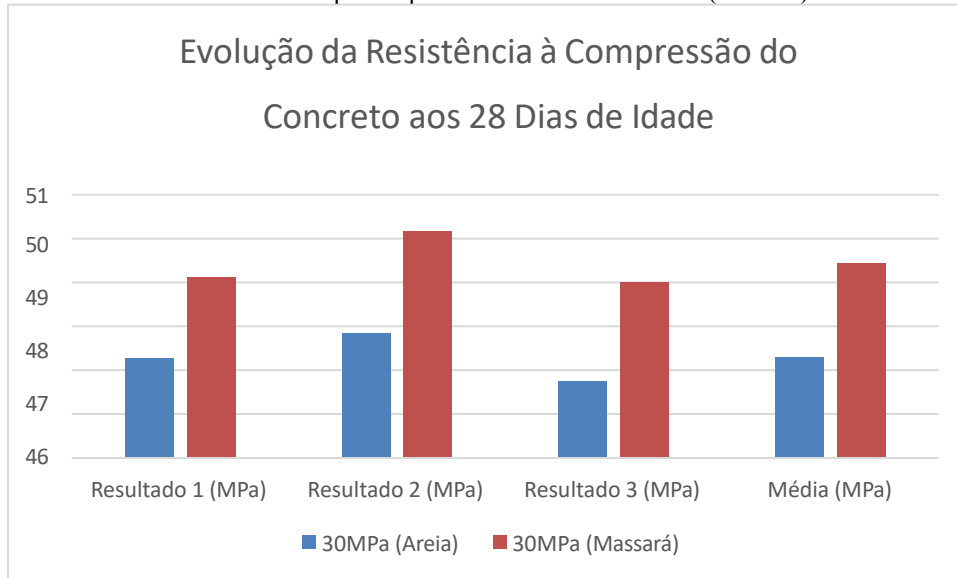
O concreto com agregado de areia apresentou resistências de 35,87 MPa, 35,01 MPa e 35,03 MPa, resultando em uma média de 35,30 MPa. Esse valor representa um acréscimo de aproximadamente 41,2% em relação à resistência característica prevista (25 MPa), evidenciando uma boa cura e um adequado desenvolvimento da resistência ao longo do tempo. A baixa dispersão dos resultados sugere uma mistura homogênea e uma qualidade consistente do material.

Já o concreto com agregado massará obteve resistências de 49,59 MPa, 47,72 MPa e 46,46 MPa, com uma média de 47,92 MPa. Esse desempenho é extremamente superior à resistência especificada, representando um aumento de aproximadamente 91,7%. Esse comportamento sugere que o uso do agregado massará contribui significativamente para o ganho de resistência, possivelmente devido a características como melhor adesão à matriz cimentícia e menor porosidade.

a) Concreto com resistência característica de 30 MPa:

Os ensaios de compressão aos 28 dias de idade para concretos com resistência característica de 30 MPa demonstram um desempenho excepcional, com ambos os tipos de concreto ultrapassando substancialmente a resistência especificada no projeto.

Gráfico 8 – Corpos de prova com idade de 28 dias (30 MPa).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 18 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias para concretos com resistência característica de 30 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
30MPa (Areia)	47,28	47,84	46,75	47,29
30MPa (Massará)	49,12	50,17	49,01	49,43

Fonte: Autoria própria (2024).

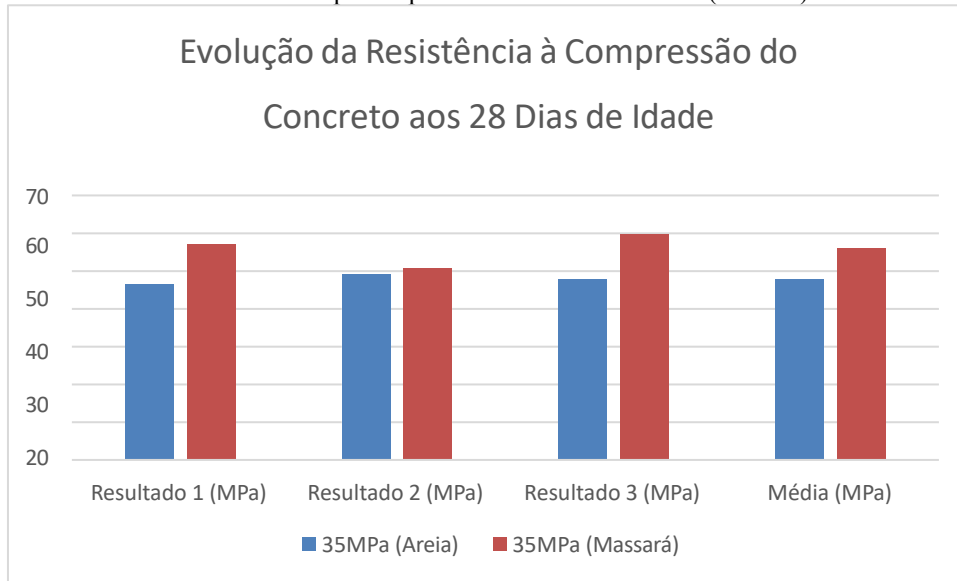
O concreto com agregado de areia apresentou resistências de 47,28 MPa, 47,84 MPa e 46,75 MPa, com uma média de 47,29 MPa. Esse valor representa um acréscimo de aproximadamente **57,6%** em relação à resistência característica (30 MPa), evidenciando um excelente desenvolvimento da resistência com a maturação do concreto.

Já o concreto com agregado massará obteve resistências de 49,12 MPa, 50,17 MPa e 49,01 MPa, resultando em uma média de 49,43 MPa. Esse valor é **64,8%** superior à resistência característica especificada, indicando que esse concreto possui um comportamento mecânico ainda mais robusto. A variação mínima entre os valores reforça a consistência do material e sua confiabilidade estrutural.

a) Concreto com resistência característica de 35 MPa:

Os ensaios de compressão aos 28 dias de idade para concretos com resistência característica de 35 MPa indicam um desempenho significativamente superior ao especificado, reforçando a eficiência dos materiais empregados.

Gráfico 9 – Corpos de prova com idade de 28 dias (35 MPa).



Fonte: Aatoria própria, 2023.

Tabela 19 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias para concretos com resistência característica de 35 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
35MPa (Areia)	46,40	48,99	47,81	47,73
35MPa (Massará)	57,10	50,71	59,73	55,85

Fonte: Aatoria própria (2024).

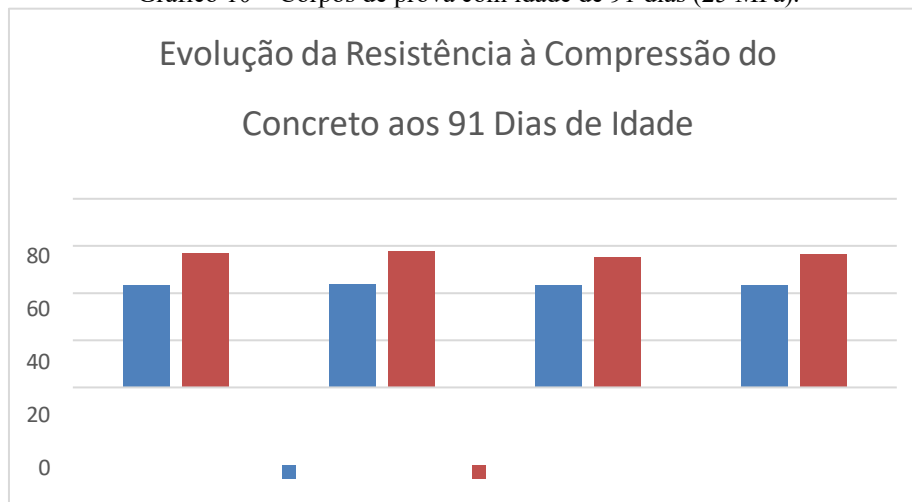
O massará lavado apresenta características granulométricas similares às da areia grossa, tornando-se uma opção promissora para sua substituição no traço do concreto.

4.1.5 Ensaio com 91 dias de idade

a) Concreto com resistência característica de 25 MPa:

Os ensaios de compressão aos 91 dias de idade para concretos com resistência característica de 25 MPa demonstram um crescimento contínuo da resistência, indicando um processo de hidratação prolongado e eficiente.

Gráfico 10 – Corpos de prova com idade de 91 dias (25 MPa).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 20 - Resultados da resistência à compressão aos 91 dias para concretos com resistência característica de 25 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
25MPa (Areia)	43,16	43,80	43,14	43,37
25MPa (Massará)	56,72	57,80	55,36	56,63

Fonte: Autoria própria (2024).

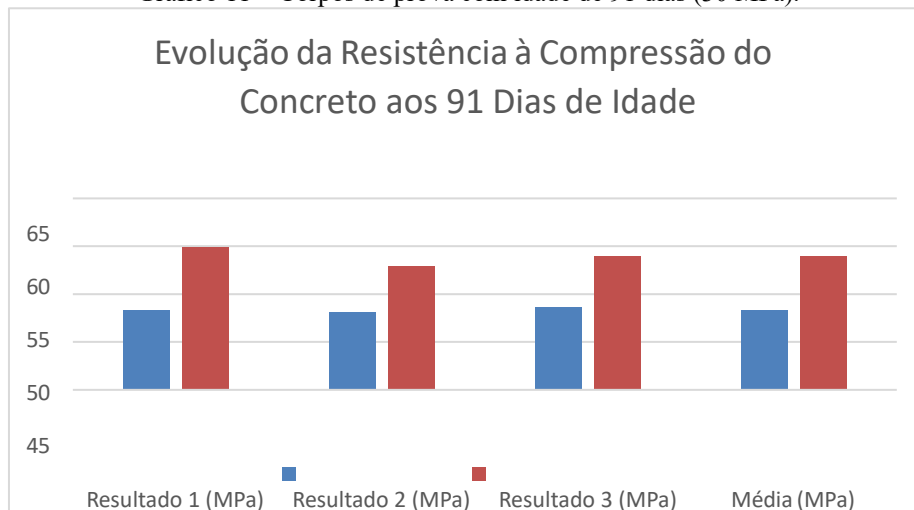
O concreto com agregado de areia apresentou resistências de 43,16 MPa, 43,80 MPa e 43,14 MPa, resultando em uma média de 43,37 MPa. Esse valor representa um aumento de aproximadamente 73,5% em relação à resistência característica de projeto (25 MPa), evidenciando um excelente desenvolvimento da resistência ao longo do tempo.

Já o concreto com agregado massará atingiu resistências de 56,72 MPa, 57,80 MPa e 55,36 MPa, com uma média de 56,63 MPa. Esse valor corresponde a um incremento de aproximadamente 126,5% em relação à resistência especificada, consolidando-se como um concreto de alto desempenho. A variação relativamente pequena entre os valores reforça a consistência da mistura e a eficácia do agregado na contribuição para o ganho de resistência ao longo do tempo.

a) Concreto com resistência característica de 30 MPa:

Os ensaios de compressão aos 91 dias de idade para concretos com resistência característica de 30 MPa demonstram um expressivo ganho de resistência, evidenciando a continuidade do processo de hidratação do cimento e a eficiência dos materiais utilizados.

Gráfico 11 – Corpos de prova com idade de 91 dias (30 MPa).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 21 - Resultados da resistência à compressão aos 91 dias para concretos com resistência característica de 30 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
30MPa (Areia)	53,25	53,12	53,63	53,33
30MPa (Massará)	59,84	57,92	58,96	58,91

Fonte: Autoria própria (2024).

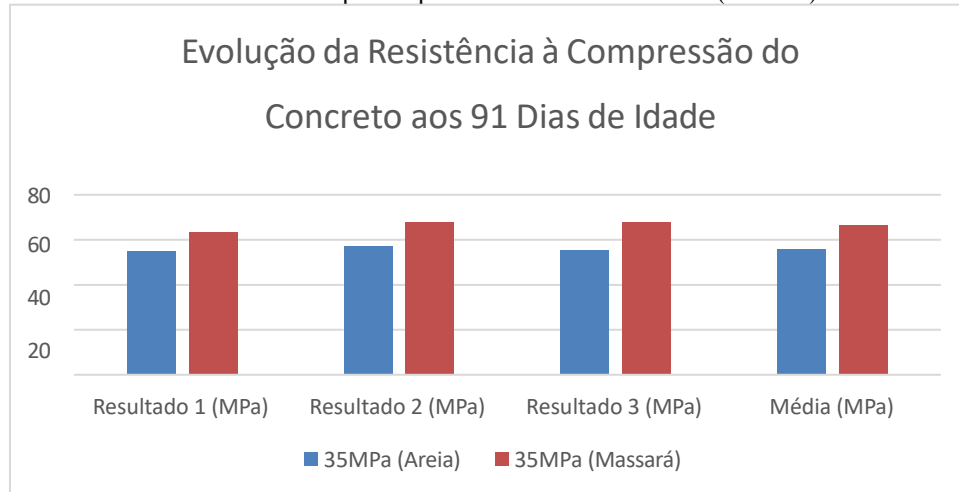
O concreto com agregado de areia apresentou resistências de 53,25 MPa, 53,12 MPa e 53,63 MPa, resultando em uma média de 53,33 MPa. Esse valor representa um aumento de aproximadamente 77,8% em relação à resistência característica de projeto (30 MPa), demonstrando um excelente desempenho mecânico.

Já o concreto com agregado massará obteve resistências de 59,84 MPa, 57,92 MPa e 58,96 MPa, com uma média de 58,91 MPa. Esse valor corresponde a um incremento de 96,4% em relação à resistência especificada, consolidando-se como um concreto de alto desempenho. A baixa dispersão entre os resultados confirma a confiabilidade do material e sua capacidade de atingir resistências superiores com o tempo.

a) Concreto com resistência característica de 35 MPa:

Os ensaios de compressão aos 91 dias de idade para concretos com resistência característica de 35 MPa demonstram um desempenho excepcional, com ambos os tipos de concreto apresentando resistências significativamente superiores à especificada no projeto.

Gráfico 12 – Corpos de prova com idade de 91 dias (35 MPa).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 22 - Resultados da resistência à compressão aos 91 dias para concretos com resistência característica de 35 MPa, utilizando os dois tipos de agregados miúdos: areia e massará lavado.

Tipo de Concreto	Resultado 1 (MPa)	Resultado 2 (MPa)	Resultado 3 (MPa)	Média (MPa)
35MPa (Areia)	54,93	57,32	55,26	55,84
35MPa (Massará)	63,28	67,84	67,70	66,27

Fonte: Autoria própria (2024).

O concreto com agregado de areia apresentou resistências de 54,93 MPa, 57,32 MPa e 55,26 MPa, resultando em uma média de 55,84 MPa. Esse valor representa um aumento de aproximadamente 59,5% em relação à resistência característica prevista, evidenciando um excelente desenvolvimento da resistência ao longo do tempo.

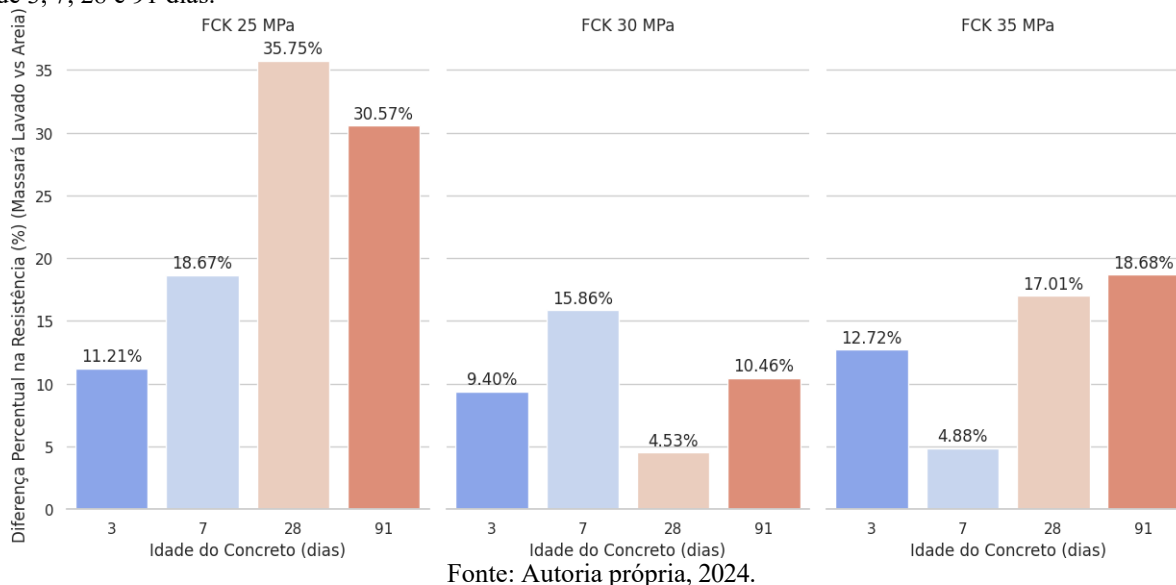
Por sua vez, o concreto com agregado massará atingiu resistências de 63,28 MPa, 67,84 MPa e 67,70 MPa, com uma média de 66,27 MPa. Esse desempenho corresponde a um incremento de aproximadamente 89,2% em relação à resistência especificada, destacando-se como um concreto de alto desempenho.

Em resumo, a análise do gráfico comparativo da diferença percentual na resistência média à compressão entre concretos confeccionados com agregado massará lavado e areia, para fck's de 25, 30 e 35 MPa nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias, conforme Gráfico 13 abaixo, revela uma superioridade consistente do agregado massará lavado em todas as condições avaliadas.

Observou-se que o ganho percentual de resistência proporcionado pelo massará lavado varia consideravelmente com a idade e a classe de resistência do concreto. Um ponto de destaque é o expressivo aumento de 35,75% na resistência aos 28 dias para o fck 25 MPa, indicando um benefício particularmente acentuado nesta idade crítica para a classe de menor resistência. Curiosamente, para o fck 30 MPa, a diferença percentual aos 28 dias é mínima (4,53%), contrastando com os ganhos mais substanciais nas outras idades e fck's, enquanto para o fck 35 MPa, a menor diferença ocorre aos 7 dias (4,88%). Essa variabilidade

sugere interações complexas entre o tipo de agregado, a idade de cura e a composição do traço (refletida no fck), indicando que o massará lavado pode influenciar a cinética de hidratação do cimento de maneira distinta dependendo da classe de resistência, com implicações significativas para o desempenho do concreto em diferentes fases.

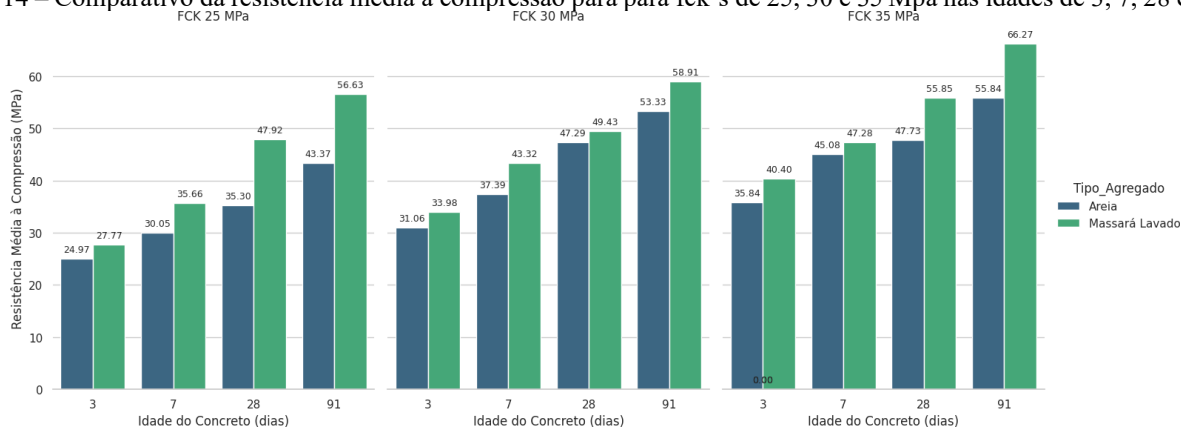
Gráfico 13 – Comparativo da resistência média à compressão (massará lavado vs areia) para para fck's de 25, 30 e 35 MPa nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias.



A análise do gráfico comparativo da resistência média à compressão do concreto, segmentado por classe de resistência característica (25, 30 e 35 Mpa) e idade de cura (3, 7, 28 e 91 dias), conforme o Gráfico demonstra de forma inequívoca o desempenho superior do concreto produzido com agregado massará lavado em comparação ao concreto com Areia, em todas as condições testadas. Observa-se que, para uma mesma idade e fck, o concreto com Massará Lavado consistentemente atinge valores de resistência média mais elevados. Por exemplo, aos 91 dias, a diferença é notável em todas as classes, com o Massará Lavado alcançando 56,63 Mpa (vs 43,37 Mpa da Areia) para fck 25, 58,91 Mpa (vs 53,33 Mpa) para fck 30, e expressivos 66,27 Mpa (vs 55,84 Mpa) para fck 35.

Além disso, o agregado massará lavado parece promover um ganho de resistência mais acelerado nas primeiras idades, superando a resistência característica nominal (fck) mais cedo em alguns casos, como no fck 25 aos 3 dias (27,77 Mpa). Estes resultados sugerem que o agregado massará lavado possui características intrínsecas ou granulométricas que favorecem melhores propriedades mecânicas do concreto, impactando positivamente tanto a resistência inicial quanto a resistência a longo prazo.

Gráfico 14 – Comparativo da resistência média à compressão para para fck's de 25, 30 e 35 Mpa nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias.



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA DIFERENTES CLASSES DE CONCRETO (FCK 25 MPA, 30 MPA E 35 MPA)

A partir dos ensaios de compressão realizados aos **3, 7, 28 e 91 dias** de idade, é possível observar a evolução da resistência do concreto ao longo do tempo e a influência dos diferentes tipos de agregados (areia e massará) na resistência final. Para uma avaliação técnica detalhada, os resultados serão comparados separadamente para cada resistência característica do concreto (fck).

4.2.1 Concreto com fck 25 MPa

O ensaio de compressão de concreto com fck 25 MPa é essencial para verificar se o concreto atende aos parâmetros de resistência especificados no projeto. O fck, ou resistência característica à compressão, é determinado a partir de corpos de prova cilíndricos submetidos a carga axial em prensas específicas. Durante o ensaio, é avaliada a capacidade do concreto de suportar tensões até o limite de ruptura, garantindo que a mistura foi adequada e que o desempenho estrutural atenderá aos requisitos de segurança e durabilidade. Com resultados precisos, esse ensaio valida o controle tecnológico do concreto e assegura qualidade nas construções.

Figura 34 – Corpos de prova de 25MPa antes do ensaio à compressão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 35 – Corpos de provas de 25MPa depois do ensaio à compressão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.2.2 Análise da evolução da resistência

A análise da evolução da resistência do concreto de 25 MPa é fundamental para compreender seu desempenho ao longo do tempo e garantir que as especificações técnicas sejam atendidas. Essa análise envolve ensaios realizados em diferentes idades do concreto, como 7, 14 e 28 dias, permitindo verificar o ganho gradual de resistência e confirmar a eficácia dos processos de cura e mistura. A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos, contribuindo para o controle de qualidade e a tomada de decisões em projetos estruturais.

Tabela 23 - Análise da evolução da resistência do concreto de 25 MPa.

Idade (dias)	Areia (MPa)	% Areia	Massará (MPa)	% Massará
3	24,97	99,9%	27,77	111,1%
7	30,05	120,2%	35,66	142,6%
28	35,30	141,2%	47,92	191,7%
91	43,37	173,5%	56,63	226,5%

Fonte: Autoria própria (2024).

Para descrever matematicamente o comportamento da resistência em função do tempo de cura, será utilizada uma modelagem matemática por meio de uma função logarítmica, do tipo:

$$f(x) = a \cdot \ln(x) + b$$

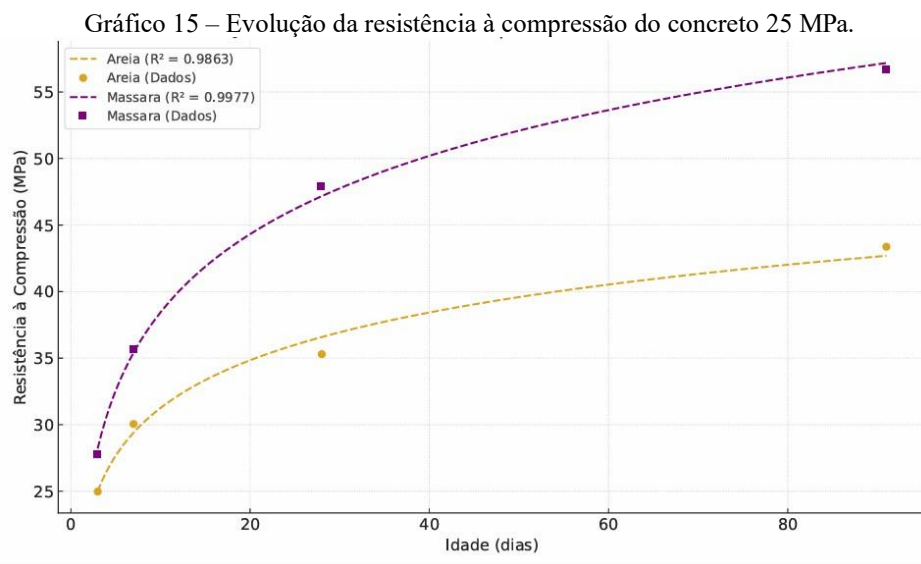
Essa abordagem permite representar adequadamente o crescimento da resistência com o passar dos dias, considerando a natureza não linear desse processo. As curvas de tendência para ambos os traços foram ajustados com base nessa função, possibilitando uma análise comparativa mais precisa entre os desempenhos do concreto convencional e daquele com massará lavado como substituinte da areia natural.

A utilização de uma modelagem matemática é essencial para compreender e prever o

comportamento da resistência à compressão do concreto ao longo do tempo. Especificamente, a escolha de uma função logarítmica como modelo de ajuste se justifica pelo fato de que o ganho de resistência do concreto não ocorre de forma linear, mas sim com taxa decrescente ao longo dos dias: nos primeiros dias após a moldagem, o concreto apresenta um rápido aumento de resistência, que vai se estabilizando com o tempo. Esse padrão de crescimento é bem representado por uma função logarítmica, a qual permite captar com maior precisão essa tendência de desaceleração no ganho de resistência.

Além disso, a modelagem permite interpolar valores para idades não testadas, fazer previsões futuras e realizar comparações quantitativas entre diferentes traços. Isso contribui para a análise da viabilidade técnica do uso do massará como substituto da areia, oferecendo uma base mais sólida para tomadas de decisão em projetos estruturais e de sustentabilidade.

Essa escolha é adequada, pois o ganho de resistência do concreto tende a ser rápido nos primeiros dias e desacelera com o tempo — exatamente o comportamento descrito por uma função logarítmica.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Os resultados demonstram que o concreto com massará lavado apresentou um crescimento mais acentuado da resistência em comparação ao concreto com areia natural, evidenciado pelas equações ajustadas e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2):

Para o concreto com massará lavado, a equação ajustada foi: com $R^2=0,9977$

$$f_{massará}(x) = 8,488 \cdot \ln(x) + 18,891$$

Já para o concreto com areia natural, a equação ajustada foi: com $R^2=0,9863$

$$f_{areia}(x) = 5,180 \cdot \ln(x) + 19,322$$

4.2.3 Discussão técnica

O concreto com areia atinge a resistência característica já aos 3 dias, com 99,9% de fck, indicando uma boa hidratação inicial da pasta cimentícia. Aos 7 dias, já ultrapassa em 20,2% o fck, atingindo 30,05 MPa.

Aos 28 dias, a resistência continua crescendo e chega a 141,2% do fck, um comportamento esperado conforme a NBR 6118 (2023), que estabelece que a resistência do concreto continua aumentando além dos 28 dias devido à hidratação prolongada do cimento.

O concreto com massará apresenta um desempenho superior em todas as idades. Aos 3 dias, já ultrapassa o fck em 11,1%, e aos 91 dias, alcança 226,5% da resistência característica, o que demonstra um processo de cura eficiente e uma melhor interação da matriz cimentícia com o agregado.

O concreto com massará é mais eficiente para estruturas que exigem alta resistência e durabilidade a longo prazo, enquanto o concreto com areia atende bem às especificações normativas e supera a resistência esperada.

4.2.4 Concreto com fck 30 MPa

A aplicação do concreto com fck 30 MPa é de extrema importância em projetos que exigem maior resistência mecânica, segurança estrutural e durabilidade. Esse tipo de concreto é ideal para obras que suportam cargas significativas, como pilares, vigas e lajes em edificações de maior porte. Sua utilização garante que a estrutura esteja preparada para resistir às tensões previstas no projeto, reduzindo riscos de falhas e aumentando a vida útil da construção. Além disso, o fck 30 MPa é amplamente usado em projetos que demandam alta qualidade e desempenho, especialmente em ambientes agressivos ou submetidos a intempéries constantes. Portanto, seu emprego é estratégico para atender às demandas específicas de resistência e confiabilidade nas construções modernas.

Figura 36 – Corpos de provas de 30MPa antes do ensaio à compressão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 37 – Corpos de provas de 30MPa depois do ensaio à compressão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.2.5 Análise da evolução da resistência

A análise da evolução da resistência do concreto de 30 MPa é indispensável para verificar o comportamento do material ao longo do tempo e sua adequação às exigências do projeto. Por meio de ensaios realizados em diferentes idades do concreto, como 7, 14, 28 e 91 dias, é possível acompanhar o desenvolvimento da resistência e assegurar que o processo de cura e composição da mistura atendam às especificações técnicas. Este tipo de avaliação é essencial para otimizar o desempenho estrutural e garantir a segurança e a durabilidade das construções. A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos, facilitando o controle de qualidade e a tomada de decisões em obras que demandam alto padrão de confiabilidade.

Tabela 24 - Análise da evolução da resistência do concreto de 30 MPa.

Idade (dias)	Areia (MPa)	% Areia	Massará (MPa)	% Massará
3	31,06	103,5%	33,98	113,3%
7	37,39	124,6%	43,32	144,4%
28	47,29	157,6%	49,43	164,8%
91	53,33	177,8%	58,91	196,4%

Fonte: Autoria própria, 2024.

A análise da evolução da resistência à compressão do concreto com f_{ck} igual a 30 MPa, ao longo do tempo de cura, revelou comportamentos distintos entre os concretos moldados com areia natural e com massará lavado como agregado miúdo. As curvas de ajuste logarítmico possibilitaram descrever com precisão o ganho de resistência ao longo dos dias, permitindo a formulação de modelos matemáticos que representam esse crescimento.

Verificou-se que o uso do massará lavado resultou em um desempenho superior do concreto em termos de ganho de resistência ao longo do tempo, superando o concreto com areia natural, conforme demonstram as equações obtidas e os valores dos coeficientes de determinação (R^2)

Para o concreto com massará lavado, a equação ajustada foi: com $R^2=0,9940$

$$f_{massará}(x) = 5,699 \cdot \ln(x) + 29,798$$

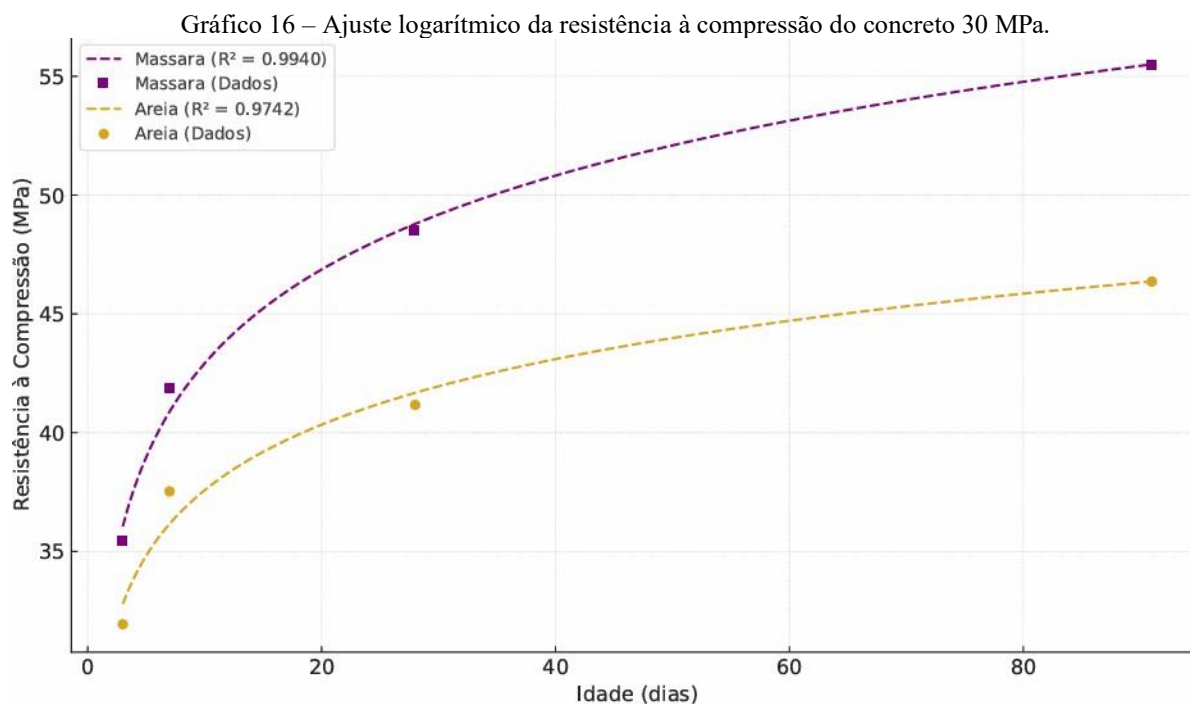
Assim, com um coeficiente de determinação $R^2=0,9940$, indicando excelente aderência dos dados ao modelo. Esse resultado demonstra que o concreto com massará apresenta um crescimento mais acelerado de resistência ao longo do tempo, com valores mais elevados desde as idades iniciais até os 91 dias.

Já para o concreto com areia natural, a equação ajustada foi: com $R^2=0,9742$

$$f_{areia}(x) = 3,978 \cdot \ln(x) + 28,422$$

Dessa forma, com $R^2=0,9742$, também representando um bom ajuste, embora ligeiramente inferior ao do concreto com massará. A menor inclinação da curva sugere um ganho de resistência mais moderado ao longo do tempo, o que reforça o desempenho superior do massará como substituto da areia tradicional.

Esses resultados evidenciam o potencial do uso do massará lavado na produção de concretos estruturais, não apenas por proporcionar maior resistência, mas também por manter essa vantagem em todas as idades analisadas.



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2.6 Discussão técnica

O concreto com areia atinge 103,5% do fck já aos 3 dias, demonstrando um bom desempenho inicial. Aos 7 dias, a resistência cresce significativamente, alcançando 22,5% acima do fck, em conformidade com o esperado pela NBR 7212/2021, que recomenda a utilização de aditivos para acelerar a resistência em casos de desforma rápida.

Aos 28 dias, o concreto com massará apresenta 164,8% do fck, o que representa um ganho significativo de resistência devido à melhor aderência dos agregados e menor porosidade da matriz.

Aos 91 dias, o concreto com massará atinge quase o dobro do fck especificado (196,4%), tornando-se altamente indicado para estruturas sujeitas a grandes esforços e ambientes agressivos.

O concreto com massará novamente apresenta um desempenho superior, enquanto o concreto com areia também ultrapassa as expectativas normativas. Esse resultado reforça a influência do agregado no desempenho mecânico do concreto.

4.2.7 Concreto com fck 35 MPa

O concreto com fck 35 MPa representa uma escolha estratégica para projetos que demandam elevada resistência, durabilidade e confiabilidade estrutural. Utilizado frequentemente em edificações de grande porte, obras industriais e infraestrutura urbana, este concreto oferece desempenho superior em situações que exigem suportar altas cargas ou condições adversas, como ambientes agressivos. Além disso, sua aplicação contribui para garantir a segurança das estruturas e prolongar sua vida útil, alinhando-se às

exigências de qualidade e sustentabilidade das construções modernas.

Figura 38 – Corpos de provas de 35MPa antes do ensaio à compressão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 39 – Corpos de provas de 35MPa depois do ensaio à compressão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.2.8 Análise da evolução da resistência

A análise da evolução da resistência do concreto de 35 MPa é essencial para monitorar seu desempenho e garantir a conformidade com os padrões técnicos estabelecidos. Por meio de ensaios realizados em diferentes idades do concreto, é possível avaliar o progresso no ganho de resistência e identificar possíveis ajustes necessários no processo de fabricação ou cura. A tabela apresentada a seguir reúne os resultados desses ensaios, proporcionando dados valiosos para o controle de qualidade e a tomada de decisões em projetos que exigem elevado nível de confiabilidade estrutural.

Tabela 25 - Análise da evolução da resistência do concreto de 35 MPa.

Idade (dias)	Areia (MPa)	% Areia	Massará (MPa)	% Massará
3	35,84	102,4%	40,40	115,4%
7	45,08	128,8%	47,28	135,1%
28	47,73	136,4%	55,85	159,6%
91	55,84	159,5%	66,27	189,2%

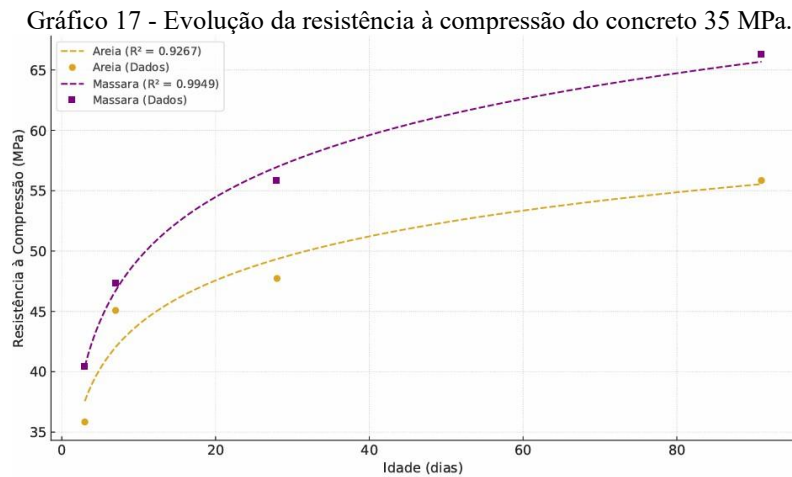
Fonte: Autoria própria (2024).

Em todos os pontos de ensaio, o concreto com massará lavado apresentou resistência maior do que o com areia.

A diferença de desempenho foi mais significativa com o tempo. Aos 91 dias:

- Massará: 66,27 MPa;
- Areia: 55,84 MPa.

Isso representa um ganho de cerca de 18,7% a mais de resistência ao final do período.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Para o **concreto com massará**:

- $R^2 = 0,9949$: altíssimo grau de ajuste \rightarrow indica que o modelo logarítmico quase "encaixa" perfeitamente nos dados reais.
- Equação:

$$f_{massará}(x) = 7,324 \cdot \ln(x) + 31,325$$

Para o **concreto com areia**:

- $R^2 = 0,9267$: também um bom ajuste, mas não tão preciso quanto o do massará.
- Equação:

$$f_{areia}(x) = 6,506 \cdot \ln(x) + 28,696$$

Desempenho superior do massará: O concreto com massará não apenas atinge valores mais altos de resistência, como também apresenta uma evolução mais previsível e estável.

Potencial de substituição: Os dados sugerem que o massará pode ser um excelente substituto para a areia natural, especialmente em contextos onde se busca sustentabilidade e bom desempenho mecânico.

Modelagem confiável: O alto R^2 mostra que é possível prever o comportamento futuro do concreto com massará com boa precisão usando a função logarítmica.

4.2.9 Discussão técnica

O concreto com areia atinge 102,4% do fck aos 3 dias, indicando uma boa reação inicial do cimento.

Aos 7 dias, a resistência do concreto com massará já supera 35% do fck, o que pode ser explicado por uma melhor interface pasta-agregado e menor relação água/cimento (a/c).

Aos 28 dias, o concreto com massará já apresenta 55,85 MPa, um ganho significativo, indicando que a matriz cimentícia está completando a hidratação de forma eficiente.

Aos 91 dias, o concreto com massará atinge 189,2% da resistência característica, tornando-se altamente recomendável para estruturas de grande porte, como pilares de edifícios altos e obras de infraestrutura.

4.2.10 Conclusão

Para concretos de fck 35 MPa, o desempenho superior do concreto com massará o torna a melhor escolha para estruturas sujeitas a esforços elevados e ambientes agressivos.

O concreto com areia ainda supera em 59,5% a resistência característica, garantindo sua eficiência estrutural.

4.3 INFLUÊNCIA DO AGREGADO

O agregado massará proporcionou ganhos de resistência de até 226,5% em relação ao fck, enquanto o concreto com areia atingiu até 177,8%.

Isso sugere que o agregado massará possui maior resistência mecânica e melhor interação com a pasta cimentícia, favorecendo a redução da porosidade e melhor distribuição dos esforços internos.

4.4 EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA

A resistência do concreto cresce significativamente entre os 7 e 28 dias, atingindo valores muito superiores ao fck.

A partir dos 28 até os 91 dias, a resistência continua aumentando, mas a taxa de crescimento diminui, o que está de acordo com a cinética de hidratação do cimento Portland.

4.5 APLICAÇÃO PRÁTICA

Concreto com areia: Recomendado para estruturas convencionais, com boa resistência e atendimento às normas.

Concreto com massará: Indicado para estruturas de alto desempenho, como pilares de edifícios altos, lajes sujeitas a grandes cargas e estruturas expostas a ambientes agressivos.

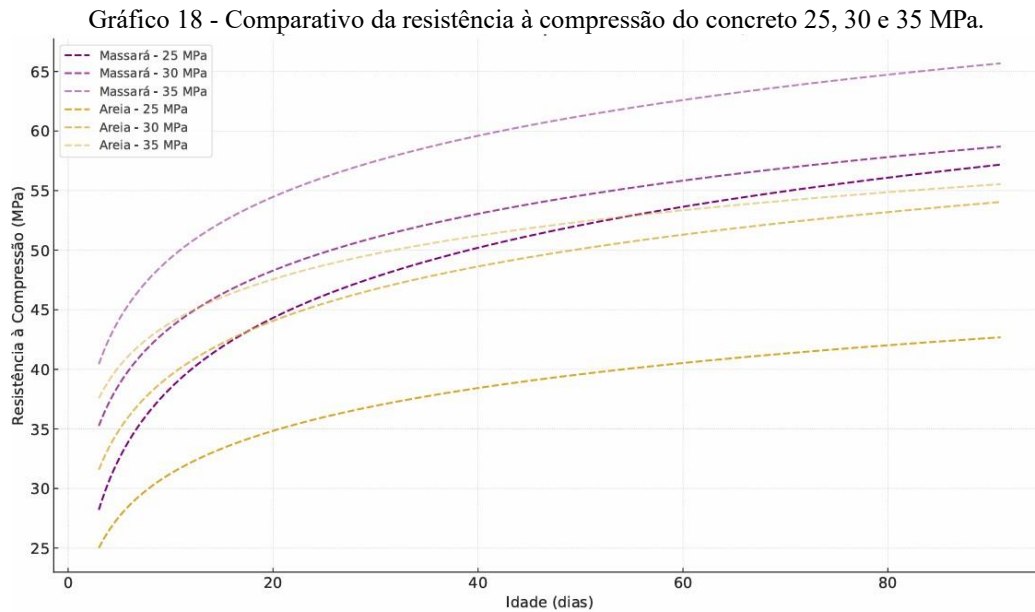
4.6 CONFORMIDADE COM NORMAS

Todos os concretos testados superaram os requisitos mínimos da NBR 6118 (2023) e da NBR 12655 (2015), confirmando sua viabilidade para uso estrutural.

Assim, esse estudo confirma que a seleção do agregado tem impacto direto na resistência final do concreto, sendo um critério essencial para projetos estruturais de alto desempenho.

4.7 COMPARATIVO ENTRE OS PERÍODOS DE ENSAIO

O gráfico a seguir, intitulado *Comparativo da Resistência à Compressão – Concretos 25, 30 e 35 MPa*, apresenta a evolução da resistência à compressão de concretos com diferentes traços, utilizando massará lavado e areia como agregados miúdos, ao longo do tempo de cura (em dias). Observa-se que, para todas as classes de resistência (25, 30 e 35 MPa), os concretos com massará apresentam desempenho superior àqueles com areia, especialmente nas idades mais avançadas. A diferença de desempenho é mais evidente nos concretos de maior resistência (30 e 35 MPa), sugerindo que o uso do massará lavado contribui significativamente para o ganho de resistência ao longo do tempo, possivelmente devido a melhores características granulométricas e de aderência da pasta de cimento com o agregado. Esse resultado reforça o potencial do massará como substituto viável e eficiente da areia natural na produção de concretos estruturais.



Fonte: Autoria própria, 2024.

O gráfico apresentado mostra a evolução da resistência à compressão de concretos com fck de 25 MPa, 30 MPa e 35 MPa, comparando dois tipos de agregados miúdos: areia natural (linhas amarelas tracejadas) e massará lavado (linhas roxas tracejadas), ao longo do tempo de cura (até 91 dias).

Análise:

1. Tendência geral:

- o Todas as curvas seguem uma tendência logarítmica ascendente, o que é típico para concretos, indicando que o ganho de resistência é mais acentuado nos primeiros dias de cura e tende a estabilizar com o tempo.

2. Desempenho do massará lavado:

- o Em todos os traços (25, 30 e 35 MPa), as curvas referentes ao concreto com massará lavado situam-se acima das curvas correspondentes da areia natural.
- o Isso evidencia que o uso do massará proporcionou um desempenho superior, com resistências mais elevadas em todas as idades analisadas.
- o O concreto com massará 35 MPa, por exemplo, ultrapassa os 66 MPa aos 91 dias — uma resistência consideravelmente superior ao valor de projeto.

3. Comparação entre traços:

- o O gráfico também demonstra que, independentemente do tipo de agregado, a resistência cresce com o aumento do fck de projeto, como esperado.
- o No entanto, o concreto com massará 25 MPa, por exemplo, se aproxima ou até supera o concreto com areia 30 MPa, o que reforça o potencial técnico do massará como substituto viável e eficiente.

4. Uniformidade dos ajustes:

- o As curvas apresentam um bom comportamento de ajuste logarítmico, com formas semelhantes e coerentes, demonstrando que o modelo matemático utilizado é adequado para descrever o ganho de resistência nesse intervalo de tempo.

Conclusão da análise do gráfico:

O gráfico sintetiza de forma clara que o uso do massará lavado como agregado miúdo contribui significativamente para o desempenho mecânico do concreto, independente da resistência de projeto. Ele se mostra mais eficiente do que a areia natural, tanto no curto quanto no longo prazo, sendo uma alternativa técnica viável, sustentável e com potencial de aplicação prática na construção civil, especialmente em regiões onde o massará está disponível.

Conforme a realização dos ensaios, observou-se que a maioria das rupturas dos corpos de prova apresentou morfologia do tipo cônica e cônica afastada em 25 mm do capeamento (Figura 41). De acordo com a NBR 5739:2018, esse tipo de ruptura é considerado o mais adequado em relação à resistência dos corpos de prova, pois indica que os espécimes foram moldados conforme os requisitos normativos, com correta compactação do concreto e nivelamento adequado das bases, garantindo a uniformidade da distribuição dos esforços compressivos durante o ensaio.

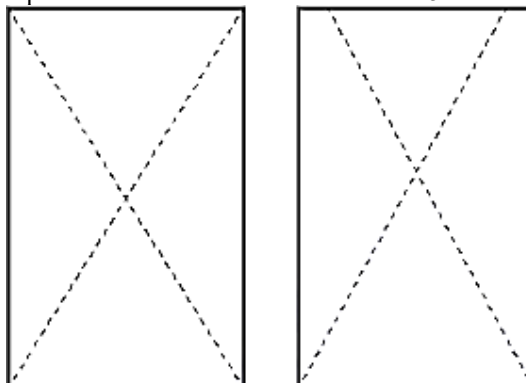
Figura 40 – Corpo de prova de 35MPa após o ensaio à compressão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Na ruptura do tipo cônica, a superfície de falha assume uma forma cônica ou em formato de cálice. Este padrão de fratura é observado quando a carga aplicada é distribuída uniformemente sobre a superfície do corpo de prova durante o ensaio de compressão em conformidade com a figura que se segue:

Figura 41 – Tipo A – Cônica e cônica afastada em 25 mm do mapeamento.



Fonte: NBR 5739:2018.

Com base na análise dos dados apresentados, conclui-se que o uso do massará lavado como agregado miúdo proporciona um desempenho superior em comparação à areia natural, independentemente

da resistência de projeto. As curvas de resistência ao longo do tempo seguem um padrão logarítmico típico dos concretos, evidenciando um crescimento acentuado nos primeiros dias de cura e estabilização posterior.

Além disso, o concreto com massará lavado demonstrou resistências significativamente superiores em todas as idades analisadas, destacando seu potencial como alternativa técnica viável e sustentável. A análise das rupturas dos corpos de prova confirmou a adequação dos procedimentos normativos, garantindo a uniformidade da distribuição dos esforços compressivos durante os ensaios.

Dessa forma, o massará lavado se apresenta como uma solução promissora para aplicação na construção civil, especialmente em regiões onde o material está disponível, contribuindo para melhorias na resistência mecânica do concreto e para práticas mais sustentáveis no setor.

5 CONCLUSÕES

A consistência superior do massará, observada durante os ensaios na composição do concreto, é um indicativo de qualidade e uniformidade na mistura, refletindo diretamente no desempenho estrutural e na confiabilidade do material. Esse fator é essencial para garantir uma trabalhabilidade adequada e a distribuição homogênea dos componentes, contribuindo para a resistência e durabilidade do concreto. Além disso, a consistência aprimorada facilita o processo de aplicação, reduzindo desperdícios e otimizando o tempo de execução das obras.

5.1 CONSISTÊNCIA SUPERIOR DO MASSARÁ

Em todas as idades e classes de resistência estudadas, o concreto produzido com massará apresentou resultados de resistência à compressão superiores aos do concreto produzido com areia convencional.

5.1.1 Desempenho inicial e a longo prazo

A vantagem do uso de massará é evidente desde os primeiros dias (3 e 7 dias) e se mantém, ou até aumenta, com o tempo (28 e 91 dias).

5.1.2 Aplicabilidade

O uso de massará lavado mostrou-se recomendável em aplicações que exigiam alta resistência inicial e durabilidade, proporcionando desempenho estrutural superior e economia de material.

Inicialmente, a análise granulométrica indicou que o módulo de finura do massará lavado (NBR 7211:2022) era mais uniforme que o da areia da cidade de Teresina, o que favoreceu a trabalhabilidade e a coesão da pasta de cimento.

Nos ensaios de compressão, o concreto com massará superou consistentemente o concreto convencional em todas as idades estudadas (3, 7, 28 e 91 dias), evidenciando ganhos de até 36% no fck 25 MPa aos 28 dias. A observação do padrão de fratura dos corpos de prova reforçou a qualidade do massará, ao revelar distribuição de tensões mais homogênea e melhor aderência da pasta-agregado.

O Slump Test confirmou maior fluidez no traço com massará, permitindo a moldagem em formas complexas sem comprometer a resistência. Além disso, a redução na relação água-cimento — viabilizada pela granulometria mais adequada — incrementou ainda mais a resistência à compressão e contribuiu para a economia de cimento, componente de maior custo. Consequentemente, o massará lavado apresentou-se como substituto eficaz da areia, oferecendo vantagens técnicas e econômicas, e constituindo opção viável para concretos de alta performance na construção civil.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho responde de forma eficaz ao problema de pesquisa e aos objetivos propostos, apresentando os ensaios realizados juntamente com os resultados obtidos, o que confirma a validade do tema abordado. O diferencial deste trabalho reside na sua capacidade de demonstrar algo inovador e de grande relevância para a população e o mercado da construção civil. Além disso, visa desmistificar e esclarecer os preconceitos em relação ao uso do massará, dada a escassez de pesquisas sobre o tema na região da capital do Piauí.

Com base nos resultados dos ensaios apresentados neste trabalho, foi possível confirmar a resistência adequada em todas as verificações. Portanto, pode-se afirmar a viabilidade do uso do massará lavado como agregado miúdo do concreto. Este material apresenta um valor de mercado significativamente mais baixo que a areia, além de causar menos impactos ao meio ambiente durante sua extração. Essas conclusões respaldam a adoção do massará lavado como uma alternativa sustentável e econômica na produção de concreto.

A contribuição prática da pesquisa para os profissionais da construção civil, usinas de concreto e todos que trabalham diretamente com materiais de construção será de grande relevância. Tal conhecimento poderá implicar em melhores resultados para a resistência mecânica do concreto, melhoria de qualidade, redução no impacto ambiental causado pelo sistema de dragagem dos rios Poti e Parnaíba, além de proporcionar a redução de gastos com o agregado miúdo, gerando economia para o mercado de construção civil.

A utilização do massará lavado como uma alternativa de agregado miúdo na fabricação do concreto proporciona ganhos sociais significativos, ajuda na preservação da natureza ao reduzir a demanda por areia natural, que, muitas vezes, é extraída de forma não sustentável dos rios. Isso contribui para a redução da poluição e para a conservação dos recursos hídricos. Além disso, essa prática promove o desenvolvimento sustentável, abordando aspectos sociais e econômicos. Ao encontrar uma aplicação adequada para o massará lavado, agregou-se valor ao material, tornando seu uso mais frequente. Isso pode resultar na redução dos custos de produção do concreto e incentivar o crescimento de uma nova atividade econômica relacionada ao beneficiamento e fornecimento desse material alternativo. Assim, a utilização do massará lavado não apenas beneficia o meio ambiente, mas também contribui para o progresso social e econômico das comunidades envolvidas.

A análise dos dados demonstra que a proposta inicial de substituir a areia pelo massará lavado como agregado miúdo na composição do traço de concreto resultou em ganhos de resistência mecânica. Os resultados indicaram que é possível substituir 100% do agregado natural pelo massará lavado sem comprometer as resistências à compressão e à tração do concreto. No entanto, é importante ressaltar que as Normas brasileiras ainda não permitem sua utilização devido à falta de interesse em se estudar o material. Para garantir esse comportamento positivo, é fundamental selecionar adequadamente o material que servirá

como agregado miúdo para o concreto. Recomenda-se sempre realizar uma lavagem completa do material para remover sais e materiais pulverulentos que possam estar presentes em sua composição. Essas práticas são essenciais para assegurar a qualidade e a durabilidade do concreto produzido com massará lavado.

Como sugestão para trabalhos futuros visando aprimorar os conhecimentos relacionados a este tema, sugere-se:

- estudo da durabilidade da utilização do massará lavado na composição do traço de concreto: investigar como o massará lavado influencia na durabilidade do concreto em diferentes condições ambientais e exposições a agentes agressivos, como chuva, umidade, temperatura e agentes químicos. Isso proporcionará uma compreensão mais abrangente dos benefícios e limitações do uso deste material alternativo.
- avaliação da aceitação deste material pelo mercado da construção civil na região da capital piauiense: realizar pesquisas de mercado e estudos de viabilidade econômica para determinar a receptividade dos profissionais da construção civil, das usinas de concreto e dos consumidores em relação ao uso do massará lavado como agregado miúdo. Compreender os desafios e oportunidades relacionados à adoção deste material poderá ajudar a promover sua aceitação e integração no mercado local.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738:2015 - Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118:2023 - Projeto de Estruturas de Concreto.** Rio de Janeiro, 2023.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7212:2021 - Concreto dosado em central — Preparo, fornecimento e controle.** Rio de Janeiro, 2021.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7214:2015 - Areia normal para ensaio de cimento — Especificação.** Rio de Janeiro, 2015.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7216:2001 - Agregados - Amostragem.** Rio de Janeiro, 2001.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7217:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9935:2024 - Agregados — Terminologia.** Rio de Janeiro, 2024.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248:2022 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2022.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM ISO 3310-1:2010 - Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.** Rio de Janeiro, 2010.
- ALMEIDA, A.S. Métodos de Mineração. In TANNO, L.C. & SINTONI, A. **Mineração & Município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais.** São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 2003.
- ALVES, J. V.; DREUX, V. P. et al. Resíduos da Construção Civil em Obras Novas. **Revista Interfaces Científicas – Exatas e Tecnológicas**, Aracajú, v. 1, n. 1, fev. 2015.
- AMES, T. & CORSINI, J.S. **Tendências futuras e, perfuração e desmonte: melhores referências** - in Anais do Seminário Internacional sobre Agregados para Construção Civil. ANEPAC. Campinas, 2001.
- ANDRADE, D. T. M. de (Org.). **Estudo sobre a influência da inserção do massará em argamassas de assentamento de blocos cerâmicos.** Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte, MG, out. 2016.
- ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. Variabilidade dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados. **Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**, São Paulo, v. 1, n.1, mai. 2004.
- ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO – edições de 1997 a 2006. DNPM/MME. Brasília-DF: **Balço Mineral Brasileiro 2001.** DNPM/MME. Brasília – DF.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12655. Concreto de**

cimento Portland – preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953:1992 Concreto para fins estruturais** – Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67:1998 - Concreto** - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, ABNT, 1998.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2022.

BAUER, L. A. FALCÃO; DIAS, JOÃO FERNANDO (coord.). **Materiais de construção**: volume 2. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2022. 628 p. ISBN 9788521632351.

BERNARDES, A. *et al.* Quantificação e Classificação dos Resíduos da Construção e Demolição Coletados no Município de Passo Fundo, RS. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 65-76, jul./out. 2008.

BRAGA, B. et al. **Engenharia no Meio ambiente**: introdução à engenharia ambiental - ciência ambiental. São Paulo: Pearson Education, 2002.

BREMER, C. F.; OLIVEIRA, D. M.; LOPES, J. M. J.; OLIVEIRA, P. M. Avaliação das práticas de sustentabilidade adotadas em empreendimentos de construção civil de Belo Horizonte. **Revista Construindo**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, jan/jun. 2013.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2022.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução n°. 307, de 05 de julho de 2002. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 jul. 2002.

CORREIA FILHO, F. L. **Projeto Avaliação de Depósitos Minerais para Construção Civil PI/MA**. Teresina: CPRM – Ministério das Minas e Energia, 1997.

CZARNECKI, L., *et al.* (2024). **Concrete-Polymer Composites in Circular Economy: Proceedings of the 17th International Congress on Polymers in Concrete (ICPIC 2023)**. Springer.

FAGURY, S. C.; GRANDE, F. M. **Gestão de resíduos de construção e demolição (RCD)** - aspectos gerais da gestão pública de São Carlos/SP. **Exacta**, São Paulo, v.5, n.1, jan/jun. 2007.

FIGUEIREDO, A. D. (2011). **Utilização do concreto de alto desempenho na construção civil**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento.

FRIGO, J.P., SILVEIRA D.S. Educação ambiental e construção civil: práticas de gestão de resíduos em Foz do Iguaçu-PR. **Monografias Ambientais**, Santa Maria, v.9, n.9, p. 1938- 1952, set. 2010.

FUZZI, F. T. (2010). **Investigando a reestruturação curricular dos cursos de licenciatura** (197 pp.). Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista – Campus Rio Claro, Rio Claro.

GODOY, A. S. **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades**. RAE - Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.

GÓMEZ CARRIÓN, C. Visão empresarial europeia: Conferência. In: **Anais do Seminário Internacional sobre Agregados para Construção Civil**. ANEPAC. Campinas, 2001.

GOUVEIA, N. Saúde e meio ambiente nas cidades: os desafios da saúde ambiental. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v.8, n.1, jan/fev. 1999.

LEITE, J. C. P. S.; NETO, M. T. R. Meio ambiente e os embates da construção civil. **Construindo**, Belo Horizonte, v.6, n.2, jul/dez. 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª Edição. IBRACON. São Paulo, 2014.

Menossi, R. T. (2004). Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, Ilha Solteira, SP.

NARCISO, G. S. da. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

NARCISO, G. S. da.; GUILHERME, B.; VICENTE, C. C. **A influência do filler de areia britada de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento**. in: II SUFFIB, 2005, São Paulo. Uso da Fração Fina da Britagem. Disponível em: Acesso em 18 de março de 2011.

NASCIMENTO, F. A. T; VIEIRA, A. J. B; BARROSO, I. R. S; LOPES, J. P. Reutilização e Reciclagem de Resíduos Sólidos Gerados na Construção Civil. **Revista Ciências Exatas e Tecnológicas**, Maceió, v. 3, n. 1, nov. 2015. Ou 2017?

NEVILLE, A. M. T. S. G. **Propriedades do Concreto**. São Paulo, PINI, 1982.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**, Rio Grande do Sul, Editora Globo, 1982. PILZ, S. E. Apostila de Concretos e Argamassas para o Curso de Engenharia Civil – UNOCHAPECO. Disponível em <http://www.scribd.com>. Acesso em 20 de abril de 2017.

PINHEIRO, T.T. **Mercado de brita na Grande São Paulo de 2002 a 2008**.

PINHEIRO, T.T. **Necessidade e importância dos agregados para a indústria da construção civil no Brasil** – in Anais do Seminário Internacional sobre Mineração em Áreas Urbanas. Pró-Minério. São Paulo, 1989.

QUARESMA, L.F. **Apuração da Produção de Areia e Brita**. Relatório da estimativa de produção de agregados. Relatório interno do DNPM, Brasília, 1998.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. – 4 ed. - Belo Horizonte: Editora UFMG, 2013.

RIBEIRO, D. V. (org.). **Corrosão em estruturas de concreto armado**: teoria, controle e métodos de análise. – 1. ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

RIBEIRO, J. A., SILVA, A. C., & SCHONS, E. (2023). **Agregados miúdos não convencionais como alternativa na composição do concreto**. Revista Foco, 16(12), 1-23.

SANTIAGO, C. C. **Argamassas tradicionais de cal** [online]. Salvador: UDUFBA, 2007. 202 p. ISBN 978-85-232-0471-6. Available from Scielo Books <<http://books.scielo.org>>.

SBRIGHI NETO, C.A **Importância dos Conceitos Tecnológicos na Seleção dos Agregados para Argamassas e Concretos**. Revista Areia & Brita, nº 12, 2011.

SCHWENGBER, E. M. **Resíduos da Construção Civil**. Porto Alegre: 2015.

SHAH, A. (Ed.). **Local Governance in Developing Countries**. Washington, DC: The World Bank, 2006. Disponível em: <https://documents.worldbank.org/curated/en/831451468322449919/Local-governance-in-developing-countries>

SILVA, C. E. M.; SILVA, D. B.; AZEVEDO, I.; BETETE, W. B. Transportadores de resíduos de construção civil: integração e leis. **Revista Inovação e Tecnologia**, São Caetano do Sul, v. 1, n. 1, jan/fev. 2017.

SILVA, J. L. O. (2023). **Análise de propriedades mecânicas de concretos produzidos com diferentes dosagens de agregados reciclados de concreto** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Alagoas.

SIQUEIRA, L. V. M. **Laboratório de materiais de construção – II 1ª Parte – Agregados**: Apostila de ensaios tecnológicos da UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2008.

SMARZEWSKI, P., & STOLARSKI, A. (2022). **Properties and Performance of Concrete Materials and Structures**. MDPI.

SOUTSOS, M. (2022). ICE Handbook of Concrete Durability (2ª ed.). ICE Publishing.

TEPORDEI, V. **Agregados para construção nos Estados Unidos – desafios e oportunidades** - in Anais do Seminário Internacional sobre Agregados para Construção Civil – ANEPAC. Campinas, 2001.

TORGAL, F.P.; JALALI, S. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. Portugal: TecMinho, 2010.

TUDESHKI, H. **Conexões construtivas** – entrevista. Revista Areia & Brita, nº 44.

VALVERDE, F.M. & Tsuchiya, O.Y. **Tendências e desafios da indústria de agregados no Brasil** – Revista Areia & Brita, nº 42, 1898.

REALIZAÇÃO:

Aurum
EDITORA

CNPJ: 589029480001-12
contato@aurumeditora.com
(41) 98792-9544
Curitiba - Paraná
www.aurumeditora.com