



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

CAIO VICTOR SOUZA ABREU DE VASCONCELOS

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS DE
PAVIMENTOS INTERTRAVADOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS
DE CONCHA DE SURURU**

Recife, PE
2022



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

CAIO VICTOR SOUZA ABREU DE VASCONCELOS

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS DE
PAVIMENTOS INTERTRAVADOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS
DE CONCHA DE SURURU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Emilia Rahnemay
Kohlman Rabbani

Coorientador: Prof. Dr. Felipe Mendes da Cruz

Recife, PE
2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco – Recife

V331a Vasconcelos, Caio Victor Souza Abreu de
Avaliação do comportamento mecânico de blocos de pavimentos intertravados produzidos com resíduos de concha de sururu. / Caio Victor Souza Abreu de Vasconcelos. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2022.

100 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Emília Rahnemay K. Rabbani
Coorientador: Prof. Dr. Felipe Mendes da Cruz

Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2022.

1. Resíduos. 2. Moluscos Bivalves. 3. Piso Intertravado de Concreto. I. Engenharia Civil – Dissertação. II. Rabbani, Emília Rahnemay Kohlman (orient.). III. Cruz, Felipe Mendes da (coorient.). IV. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. V. Título.

CDD: 690.028

CAIO VICTOR SOUZA ABREU DE VASCONCELOS

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BLOCOS
DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS PRODUZIDOS COM
RESÍDUOS DE CONCHA DE SURURU**

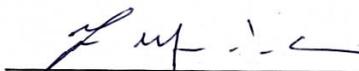
BANCA EXAMINADORA:

Orientadora



Prof. Dra. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani
Universidade de Pernambuco

Coorientador



Prof. Dr. Felipe Mendes da Cruz
Universidade de Pernambuco

Examinadores

Documento assinado digitalmente
gov.br ELIANA CRISTINA BARRETO MONTEIRO
Data: 27/10/2022 18:38:41-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro
Universidade de Pernambuco

ANGELO JUST DA COSTA E
SILVA:82129258468

Assinado de forma digital
por ANGELO JUST DA COSTA
E SILVA:82129258468
Dados: 2023.01.30 11:21:06
-03'00

Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva
Universidade Católica de Pernambuco

Recife-PE
2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo que foi construído e o que será após cada etapa desse trabalho, a minha orientadora Dra. Emília R. Kohlman Rabbani que me instruiu, aceitou o desafio da temática e sempre esteve ao meu lado, ao meu coorientador Dr. Felipe Mendes da Cruz que manteve a perspectiva positiva na pesquisa e sempre me manteve empolgado a cada reunião, aos meus pais Sebastião e Delba, além de minhas irmãs Laís e Lara por todo apoio. Fico sem palavras para agradecê-los.

Aos futuros engenheiros Maria Ana, Calil e Gabriela pela colaboração nas produções dos concretos, a Universidade de Pernambuco (UPE), a Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE), o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PEC), pelo apoio e contribuição, além da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado de Pernambuco (SECTI-PE) através do Governo de Pernambuco por todo aprendizado e experiência através do Programa de Extensão Tecnológica – Governo (PET-GOV), além do grupo Desenvolvimento Seguro e Sustentável (DESS).

Ao prof. Dr. Ângelo Just por abrir as portas da Tecomat Engenharia para a realização dos ensaios de resistência à compressão, aos mestres Marcionilo Pedrosa Junior e Ariane Cardoso que desenvolveram suas pesquisas e deram início ao projeto do DESS que estuda a utilização das conchas de sururu da Ilha de Deus em compósitos cimentícios. Agradeço também a banca avaliadora na qualificação composta pelo Prof. Dr. Ângelo Just e Prof^a Dr^a. Eliana Monteiro que disponibilizara seu tempo e dedicação a orientar, entender, compreender os desafios da pesquisa. Assim como a equipe do PET-GOV composta pelos professores Felipe, Nathalia, Heliana e Tiago, assim como pelos monitores doutorandos Amanda, Rafael e Guilherme.

Ao amigo-irmão João Felipe Baía que me convenceu a topiar o desafio de sair de Alagoas para vivenciarmos todo o processo de mestrado em Recife. Além das minhas amigas, as engenheiras civis Marília Cavalcanti e Maria Conceição “Ceça” Costa que estiveram presentes em toda a jornada, compartilhando os desafios e as conquistas desse processo. E não poderia deixar de citar meus amigos-irmãos Bruno Bastos, Iago Medeiros, Alan Lima, Icaro Rosendo, Marcos da Guia, Laio Rosendo, Alan Rosendo, Arthur Monteiro, Humberto Pires, Wagner Rondon e Antônio Neto que estiveram presentes por todo esse período. Meu muito obrigado.

RESUMO

A comunidade marisqueira da Ilha de Deus em Recife/Pernambuco produz 43 toneladas de resíduo de conchas por mês causando problemas socioambientais. Este estudo tem por objetivo analisar o desempenho de blocos de pisos intertravados de concreto com substituição parcial de agregado miúdo natural por resíduos de conchas de sururu (RCS) em comparativo aos blocos produzidos sem resíduo. Os materiais utilizados foram caracterizados e os concretos foram produzidos a partir do método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) em que foram utilizadas as substituições parciais de agregado miúdo natural por RCS em 0%, 5%, 10% e 12,5%, denominados C_R , C_5 , C_{10} , $C_{12,5}$ respectivamente. O traço foi de 1,00:0,45:2,40:1,65 (cimento: água: agregado miúdo: agregado graúdo). Após a produção mínima de 50 corpos-de-prova por dosagem, foram realizados ensaios de abatimento do tronco de cone para o ensaio no estado fresco e adensados manualmente em moldes com dimensões de 6 x 10 x 20 mm³. Foram desmoldados com 24h e os blocos de concretos foram colocados em tanques de cura até os 28 dias e após essa data armazenados em câmara úmida. Nos ensaios no estado endurecido, foram feitos ensaios de absorção de água, resistência à compressão e realizadas duas pesagens das amostras: a primeira após o desmolde em umidade higroscópica e a segunda aos 28 dias saturados com superfície seca. Os resultados de resistência à compressão foram 35,2 MPa (C_R), 34,5 MPa (C_5), 32,9 MPa (C_{10}) e 27,6MPa ($C_{12,5}$) e a análise estatística demonstrou que as proporções de C_R , C_5 , C_{10} não possuem diferença estatisticamente significativa. A absorção de água variou entre 6,20% e 7,0%. Dessa maneira, conclui-se que há viabilidade de utilização em até 10% de substituição em pisos intertravados de concreto para promover pavimentação ecologicamente sustentável e que atendem áreas com tráfego muito leve ou com pouco tráfego.

Palavras-chave: Resíduos; Moluscos bivalves; Piso intertravado de concreto.

ABSTRACT

The seafood community on Ilha de Deus in Recife/Pernambuco produces 43 tons of shell waste per month, causing socio-environmental problems. This study aims to analyze the performance of interlocking paving blocks with partial replacement of natural fine aggregate by sururu shell residues (RCS) in comparison to blocks produced without residue. The materials used were characterized and the concretes were produced using the dosage method of the Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) in which partial replacements of fine natural aggregate by RCS were used at 0%, 5%, 10% and 12, 5%, called CR, C5, C10, C12.5 respectively. The trace was 1.00:0.45:2.40:1.65 (cement: water: fine aggregate: coarse aggregate). After the production of at least 50 specimens per dosage, slump tests were carried out on the truncated cone for the test in the fresh state and manually densified in molds with dimensions of 6 x 10 x 20 mm³. They were demolded after 24 hours and the concrete blocks were placed in curing tanks until 28 days and after that date stored in a humid chamber. In the hardened state tests, water absorption and compressive strength tests were carried out and the samples were weighed twice: the first after demolding in hygroscopic humidity and the second at 28 days saturated with a dry surface. The compressive strength results were 35.2 MPa (CR), 34.5 MPa (C5), 32.9 MPa (C10) and 27.6 MPa (C12.5) and the statistical analysis showed that the proportions of CR, C5, C10 have no statistically significant difference. The water absorption varied between 6.20% and 7.0%. In this way, it is concluded that there is feasibility of using up to 10% of replacement in interlocking paving block to promote ecologically sustainable paving and that serve areas with very light traffic or with little traffic.

Keywords: Waste; Bivalve molluscs; Interlocking concrete paving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Barracões assentados sobre acúmulo de conchas na Ilha de Deus.....	14
Figura 2 - Representação dos tipos de pisos intertravados	20
Figura 3 – Pisos intertravados de concreto em calçadas na cidade de Recife	21
Figura 4 - Comunidade da Ilha de Deus	24
Figura 5 - Etapas do processo de preparação do agregado de RCS realizado por Cardoso (2019)	25
Figura 6 - Etapas de Beneficiamento.....	25
Figura 7 – Fluxograma das etapas do método de dosagem da ABCP	30
Figura 8 – Misturador mecânico com 120L de capacidade.....	36
Figura 9– Coleta de conchas na comunidade da Ilha de Deus	40
Figura 10 – Triagem manual – a) representação de concha com material orgânico e b) insetos encontrados entre as conchas.....	41
Figura 11 – Lavagem das conchas na peneira com abertura de 4,76mm a) conchas sendo lavadas e b) conchas limpas e expostas ao sol para secagem.....	41
Figura 12 – Representação das conchas a) depois do apiloamento; b) antes do apiloamento	42
Figura 13 – Diferença entre volumes de conchas a) antes do apiloamento b) depois do apiloamento	42
Figura 14 – Conchas a) antes da estufa e b) depois de 24h em estufa a 100°C.....	43
Figura 15 – Peneiramento para remoção de impurezas a) material com granulometria superior a 4,76mm b) material com granulometria inferior a 4,76mm e superior a 0,30mm c) material com granulometria inferior a 0,30mm	44
Figura 16 – MEV do RCS: a) Região estudada do RCS com escala de 2mm; b) superfície heterogênea com escala de 20µm; c) superfície com escala de 2µm; d) superfície em escala de 2µm.....	47
Figura 17 – Mistura de agregados gráudo e miúdo; a) proporção de 80% de agregado miúdo e 20% de agregado gráudo; b) proporção de 40% de agregado miúdo e 60% de agregado gráudo.	54
Figura 18 – Slump test a) Concreto de Referência sem RCS; b) Concreto com 10% de RCS.....	57
Figura 19 – CR após 24h de moldagem	58
Figura 20 – Cura dos concretos a) tanques de cura; b) câmara úmida	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa do consumo de água	32
Tabela 2 – Volume compactado seco (V _{pc}) de agregado graúdo por metro cúbico de concreto pelo módulo de finura de areia	33
Tabela 3 - Resultados do ensaio de espectrometria de raios-x	45
Tabela 4 - Composição granulométrica do agregado graúdo	49
Tabela 5 - Composição granulométrica do agregado miúdo	50
Tabela 6– Caracterização dos materiais para a dosagem do ABCP	51
Tabela 7 - Consumos e traço estimado pelo método de dosagem da ABCP	53
Tabela 8 – Traço estimado pelo método de dosagem da ABCP	53
Tabela 9 – Traço em massa do concreto de referência com alterações nas proporções dos agregados em relação ao método de dosagem da ABCP	55
Tabela 10 – Traço em massa utilizado na confecção dos concretos	56
Tabela 11 – Pesos dos concretos após 24 horas de moldados	59
Tabela 12 - Pesos dos concretos saturados após 28 dias de moldados.....	59
Tabela 13 – Resultados de Resistência à compressão em MPa.....	60
Tabela 14 - Resistência à compressão média calculada aos 28 dias	61
Tabela 15 – Absorção de água aos 28 dias	61
Tabela 16 – Cálculos iniciais para análise estatística	62
Tabela 17 – Teste de Shapiro-Wilk para resistências à compressão	63
Tabela 18 – Teste de Levene para homogeneidade das resistências à compressão	64
Tabela 19 – Teste de Mann-Whitney para duas amostras independentes	65
Tabela 20 – Teste T para amostras independentes entre as resistências à compressão..	65
Tabela 21 – Resultados do estudo	66
Tabela 22 – Comparativo dos resultados com as normas.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Normas internacionais sobre piso intertravado de concreto.....	21
Quadro 3 - Ensaio para caracterização do agregado miúdo.....	27
Quadro 2 - Ensaio para caracterização do RCS	28
Quadro 4 - Ensaio para caracterização do agregado miúdo.....	28
Quadro 5 – Caracterização do Cimento.....	29
Quadro 6 – Caracterização dos materiais para o método de dosagem da ABCP.	30
Quadro 7 – Determinação do desvio padrão da dosagem (Sd)	31
Quadro 8 – Máxima relação água/cimento e a mínima resistência característica	32
Quadro 9 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.....	32
Quadro 12 – Ensaio de massa unitária compactada dos agregados do estudo	35
Quadro 13 – Confeção dos concretos na betoneira.....	36
Quadro 14 - Processo de adensamento	37
Quadro 15 - Número de camadas e golpes de socamento	37
Quadro 17 - Caracterização física, química e mecânica do cimento.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de Abrams para determinação da relação água/cimento	31
Gráfico 2 – Curvas granulométricas de diferentes tempos de moagem	45
Gráfico 3 - EDS da parte externa do resíduo de concha de sururu.....	46
Gráfico 4 – EDS da parte interna do resíduo de concha de sururu.....	46
Gráfico 5 - Curva granulométrica do RCS	48
Gráfico 6 - Curva granulométrica do agregado miúdo natural.....	50
Gráfico 7 – Determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências dos concretos.....	52
Gráfico 8 – Massa unitária compactada da combinação entre os agregados para empacotamento dos agregados	54
Gráfico 9 - Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone	56
Gráfico 10 – Estatística descritiva dos resultados de resistência à compressão de CR, C5, C10 e C12,5	63
Gráfico 11 – Correlação entre o peso em umidade higroscópica e resistência à compressão	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Contextualização e Justificativa	13
1.2. Objetivo geral	15
1.3 Objetivo específico	15
2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Uso de resíduo de concha na construção civil	16
2.2 Piso intertravado de concreto com resíduos	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 Beneficiamento do resíduo de concha de sururu (RCS)	24
3.2 Caracterização dos materiais	27
3.2.1 Agregado miúdo natural	27
3.2.2 Resíduo de concha de sururu (RCS)	28
3.2.3 Agregado Graúdo	28
3.2.4 Água	29
3.2.5 Cimento	29
3.3 Método de dosagem da ABCP	29
3.4 Confeção dos concretos	35
3.5 Moldagem dos corpos-de-prova e ensaios no estado fresco e endurecido	36
3.5.1 Análise do Peso das Amostras	38
3.5.2 Determinação da Resistência Característica à Compressão	38
3.5.3 Determinação da Absorção de Água	39
3.5.4 Análise Estatística	39
4. RESULTADOS	40
4.2 Caracterização dos materiais	45
4.2.1 Resíduo de Concha de Sururu	45
4.2.2 Cimento	49
4.2.3 Agregado graúdo	49
4.2.4 Agregado miúdo	50
4.3. Dosagem do concreto pelo método da ABCP	51
4.4 Confeção dos concretos	55
4.5 Ensaio no estado fresco	56
4.6 Blocos de concreto para pavimentos	57
4.7 Ensaio no estado endurecido	58
4.7.2 Determinação da resistência característica à compressão	59
4.7.3 Determinação da Absorção de água	61
4.7.4 Análise estatística: Resistência à compressão	62
4.7.5 Quadro geral com os resultados obtidos no estudo	66
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
6. RECOMENDAÇÕES A TRABALHOS FUTUROS	70
REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE A – Pesos das amostras aos 24h após o desmolde	76
APÊNDICE C – Absorção de água aos 28 dias	79
ANEXO A – Espectroscopia por energia dispersiva da parte externa do resíduo de concha de sururu	80
ANEXO B – Espectroscopia por energia dispersiva da parte interna do resíduo de concha de sururu	82
ANEXO C – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da parte interna do resíduo de concha de sururu	84

ANEXO D – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da parte externa do resíduo de concha de sururu.....	91
ANEXO E – Resultados de resistência à compressão	97

1 INTRODUÇÃO

Grande volume de concreto é produzido pela construção civil utilizando materiais naturais que estão cada vez mais escassos e mais distantes dos centros urbanos. Diante dessa situação socioambiental, tem-se a necessidade de observar, estudar e implementar processos e alternativas mais sustentáveis. Em paralelo a isso, o grande volume de resíduos gerados e depositados incorretamente por outros setores industriais e por outras atividades econômicas tem causado prejuízos e transtornos a saúde pública.

No Brasil, algumas legislações vêm buscando regulamentar os resíduos gerados como a resolução número 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 5 de julho de 2002 que estabeleceu as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos sólido. Em agosto de 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) a partir da lei nº 12.305 (BRASIL, 2010a) e o Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL,2010b), que regulamentou a PNRS para direcionar responsabilidades dos geradores e do poder público, bem como os e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Como exemplo, em Recife, no estado de Pernambuco, existe a comunidade pesqueira localizada na Ilha de Deus, cujo principal fonte de renda da comunidade é o cultivo de moluscos bivalves, atividade realizada pela malacocultura, que produz resíduos oriundo das cascas dos moluscos e que acarreta em problemas sociais, ambientais e sanitários (PEDROSA JUNIOR, 2022). A comunidade da ilha de Deus é uma ZEIS (Zona Especial de Interesse Social – lei nº 14.511 de 1983) em que a parcela da área urbana é destinada preponderantemente à população de baixa renda (RECIFE, 1983).

Em estudo divulgado em fevereiro de 2017, a Secretaria de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (SDSMA) definiu que são geradas 43 toneladas de resíduos de conchas de sururu e mariscos por mês, ou seja, 516 toneladas por ano (RECIFE, 2017). Cardoso (2019) definiu que: “Resíduos poderiam servir como uma substituição parcial dos agregados naturais utilizados na construção civil, de forma a contribuir com redução de extração dos recursos naturais”.

Nesse contexto, a construção civil se tornou um potencial para a reutilização e reciclagem de resíduos com a finalidade de prover reduções no uso de materiais naturais. Na Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco pesquisas foram realizadas com o intuito de promover dosagens de produtos cimentícios com o resíduo de conchas de moluscos bivalves (RCMB) obtendo resultados importantes para incorporação deste resíduo gerado na região metropolitana de Recife (PEDROSA JUNIOR, 2022; CARDOSO, 2019; SANTOS, 2019).

Dentre os produtos cimentícios da construção civil, tem-se o bloco de piso intertravado de concreto que é largamente em regiões urbanas e empregado como pavimento durável com baixo custo de manutenção. Estas características despertam o interesse de diferentes pesquisadores que vêm incorporando nas composições das dosagens substituições por outros materiais para analisar as propriedades obtidas. Alguns materiais como borracha (SILVA, 2019), resíduos de construção e demolição (CARVALHO JUNIOR, 2007), fibras de coco e fibras poliméricas (FRASÃO, 2017) apresentaram melhorias em propriedades que dão luz a possibilidade de também incorporar o RCMB em blocos de pisos intertravados.

Essas pesquisas tem o objetivo de verificar critérios como durabilidade, avaliação de desempenhos físicos, mecânicos, químicos, trabalhabilidade, além de promover a sustentabilidade de produtos cimentícios e de materiais de construção civil. Estudos apresentam que há a possibilidade de utilização de conchas em diferentes materiais, como argamassas, concretos e tijolos, com diferentes beneficiamentos e sendo-as substituídas em agregados graúdos, miúdos e aglomerantes (BIRIANE; BARACHI, 2021; ZHANG et al., 2020).

1.1 Contextualização e Justificativa

Devido a demanda da atividade de malococultura, a comunidade da Ilha de Deus possui um volume considerável de resíduos que ficam depositos no entorno da ilha devido ao acesso limitado para coleta desse material (RECIFE, 2017). Alguns dos problemas socioambientais são ilustrados na figura 1 em que podem ser listados: assoreamento do

rio, obstrução de vias públicas, o avanço de moradias no leito do rio e construção de barracões sobre os resíduos de conchas.

Concomitante a essa situação, tem-se a indústria da construção civil que além de consumir muitos materiais naturais em seus processos produtivos também gera muitos resíduos sólidos em suas atividades. Um exemplo disso é a confecção de materiais cimentícios que consomem tanto materiais que são naturais (água, agregados e adições minerais), quanto materiais que possuem elevados custos energéticos (aglomerantes e aditivos químicos) e que liberam gases poluentes em sua produção (MAURY; BLUMENSCHNEIN, 2012).

Figura 1 – Barracões assentados sobre acúmulo de conchas na Ilha de Deus



Fonte: Acervo pessoal.

Observando a literatura existente sobre a utilização de resíduos de conchas na construção civil, a discussão tem o foco principal na aplicação em dois materiais: concretos e argamassa, porém pouco é desenvolvido para outros produtos cimentícios como em blocos de pavimento intertravado (SILVA, 2022; FACUNDES; SILVA, 2022).

Na região metropolitana de Recife, os pisos intertravados de concreto estão sendo aplicados em edificações multifamiliares devido a sua facilidade na retirada do piso para serviços de manutenção e conservação de fundações e estruturas, evitando assim ensaios destrutivos. O pavimento composto por pisos intertravados de concreto (*paver*) possuem

muitas vantagens em relação a outros pavimentos como o asfáltico ou de concreto e que podem ser potencializadas com a utilização de outros materiais (CANTARELLI, 2013; BAHIENSE et al., 2021).

As atividades econômicas de malococultura e de produção de materiais cimentícios para construção civil interferem diretamente nos pilares da sustentabilidade que se fundamenta na responsabilidade social, na proteção ambiental e no sucesso econômico. Buscando alternativa viável a essa questão, a fim de minimizar os efeitos causados e propor redução no acúmulo de resíduos, esta pesquisa propõe a utilização de resíduos de conchas de sururu oriundos da comunidade de Ilha de Deus.

1.2. Objetivo geral

Estudar a viabilidade do uso de resíduo de concha de sururu (RCS) com substituição parcial de agregado miúdo natural em pisos intertravados de concreto.

1.3 Objetivo específico

- Propor adaptação do beneficiamento dos resíduos de conchas para celeridade nos processos de secagem e moagem.
- Analisar a adaptação do método de dosagem da ABCP para concretos com resíduo de concha de sururu.
- Analisar o desempenho de blocos de pisos intertravados de concreto com substituição parcial de agregado miúdo natural por resíduos de conchas de sururu (RCS) em comparativo aos blocos sem resíduo através de ensaios laboratoriais.

2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

2.1 Uso de resíduo de concha na construção civil

A gestão de resíduos oriundos da malacocultura é uma grande preocupação para os governos em todo o mundo devido aos prejuízos e desperdícios de recursos públicos. A concha do molusco, principal resíduo, não é aproveitada nessa atividade econômica e representando cerca de 33% de seu peso. Buscando uma exemplificação dessa problemática, a malacocultura italiana gera cerca de 100.000 toneladas de resíduos de conchas por ano. Com a valorização da implementação de práticas sustentáveis e com custo considerável envolvido no tratamento destes resíduos, a redução dos impactos gerados se faz necessária (FOTI; CAVALLO, 2018).

Observando a literatura científica, nota-se que existem diferentes resíduos de conchas abordados em estudos na construção civil e que apresentam características similares nos resíduos de concha. Ravi et al. (2021) fizeram a revisão da literatura com diferentes resíduos da biorefinaria marinha como matéria-prima para a construção civil. Entre os resíduos abordados estão a concha de ostra, a casca de mexilhão, a concha de vieira peruana, a casca de berbigão, a concha de vieira rainha, a areia de recife de coral, a concha de amêijoas e casca de caracol, sendo utilizados em substituição parcial ao agregado miúdo natural e ao cimento Portland para produção de concretos. Analisou-se também que devido ao formato irregular e a porosidade dos resíduos de conchas há uma diminuição da trabalhabilidade e de resistência à compressão.

Além dos diferentes tipos de conchas, há também variabilidade na utilização em insumos da construção civil. Biriane e Barbachì (2020) resumiram estudos científicos sobre a avaliação de resíduo conchas de mexilhão incorporados como material de construção. O resíduo foi utilizado em concretos convencionais, concretos porosos, argamassas de cimento, argamassa de cal, agregado artificial e blocos de concreto. Os resultados obtidos mostram que o resíduo de casca de mexilhão pode ser utilizado com viabilidade técnica para concreto não estrutural ou para formulação de argamassa.

Peceño et al. (2019) utilizaram a combinação de dois resíduos de conchas diferentes (*Argopecten Purpuritas* e *Mytilus galloprovincialis*) em substituição parcial ou total ao agregado em concretos porosos recicláveis com a possibilidade de uso em tráfego rodoviário. O método de beneficiamento das conchas se deu por lavagem em tanques para remoção de sais, secagem em estufa a 190°C por dezoito minutos e trituradas em britador de mandíbulas. Foram utilizadas proporções de 0%, 20% e 40%. Os resultados do estudo demonstraram que as propriedades mecânicas analisadas apresentaram melhores valores em todos os corpos de prova confeccionados com resíduo de casca.

Com a possibilidade de promover conforto acústico, o resíduo de concha também pode ser incorporado em substituição ao agregado natural em concretos porosos devido ao aumento de vazios. Fediuk et al. (2021) observou que o formato das conchas e a porosidade em sua estrutura fez com que os concretos feitos com resíduos de casca de molusco com tamanho de partícula entre 2 a 7 mm aumentaram o coeficiente de absorção sonora em cerca de 40% em relação ao concreto poroso contendo apenas agregados naturais.

No continente asiático, Zhang et al. (2020) promoveu a redução de porosidade do resíduo de concha do molusco *Babylonia areolata* originado do sul da China. Para o estudo, houve o aprimoramento com espuma de poliuretano enlatada em que foi utilizada no resíduo da concha para a substituição parcial ou total de agregado graúdo em concretos. A espuma foi utilizada para modificar as características físicas do resíduo, com foco na redução de porosidade e de atrito superficial, o que proporcionou melhora de resistência mecânica e de durabilidade em relação ao concreto com resíduo de concha sem a espuma. Apesar desse ganho, a resistência mecânica do concreto com resíduo é menor do que a do concreto de referência com agregado natural e sem resíduo de concha. Do ponto de vista da perspectiva ambiental e das propriedades de engenharia, o concreto com espuma proposto contendo o resíduo de concha forneceu uma maneira de reciclar continuamente resíduos de casca do mar.

Visando a Comunidade da Ilha de Deus na cidade de Recife em Pernambuco, a dissertação de Cardoso (2019), intitulada “Avaliação do comportamento físico e mecânico de compósitos cimentícios produzidos com conchas de sururu”, foi o primeiro trabalho com a utilização do resíduo de beneficiamento de conchas da comunidade. Neste

estudo exploratório foi elaborada a cartilha para o uso de conchas de sururu como agregado miúdo na construção civil em que apresenta as 7 etapas do processo de preparação do agregado de RCS e que foi determinante para os demais trabalhos do DESS. Foram confeccionadas amostras de compósitos cimentícios com proporções de 0%, 10%, 20% e 40% de RCS em substituição a areia natural em massa e relação água/cimento de 0,55. De modo geral, as proporções até 20% apresentaram viabilidade de utilização em peças de concretos simples e houveram reduções na trabalhabilidade e redução na resistência à compressão.

O trabalho de conclusão de curso de Santos (2019) intitulado “Análise da viabilidade técnica da substituição parcial do cimento na argamassa pelo pó da casca de sururu beneficiada” continuou com o uso do resíduo de conchas da Ilha de Deus. No estudo foram confeccionadas 2 famílias com diferentes teores de adição e uma de referência para análise comparativa da mudança de comportamento na trabalhabilidade, pelos quais os teores ficaram definidos em 0%, 5% e 10% em que o aglomerante foi substituído pelo resíduo de concha de sururu calcinado. Alguns resultados importantes como o acréscimo de 0,42% de resistência à compressão da família com 5% de RCS e de 6,84% da família com 10% de RCS, validando a viabilidade técnica.

Já em 2022, houve a apresentação da dissertação de Pedrosa Junior (2022) intitulada “Utilização de resíduo de concha de sururu da comunidade pesqueira da Ilha de Deus em substituição parcial à areia na fabricação de peças de piso intertravado”. Com parceria de uma empresa especializada em pré-moldados de concreto, foram fabricadas quatro famílias de *paver* com proporções de 0%, 4,57%, 9,74% e 12% de RCS em substituição ao agregado miúdo natural. Foi verificado que quanto maior o teor de resíduo no traço, menor a absorção de água dos concretos em comparação à família sem substituição do RCS. Os traços com substituição apresentaram melhorias nas suas propriedades mecânicas. Porém não foram atendidos todos os critérios mínimos exigidos por norma para o uso do *paver*.

Além das dissertações apresentadas no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e do trabalho de conclusão de curso de engenharia civil da Escola Politécnica de Pernambuco, foram realizadas iniciações científicas com alunos de graduação do curso de engenharia civil da Universidade de Pernambuco. Foram aprovados projetos para o

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e para o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBIT).

2.2 Piso intertravado de concreto com resíduos

O piso intertravado de concreto é classificado como pavimento flexível e é implementado em todo o mundo. Esse tipo de pavimentação apresenta diferentes vantagens como baixo custo de produção, sua capacidade de ser ajustado para atender a quaisquer necessidades ambientais, fácil instalação e manutenção, permite o fácil escoamento de águas pluviais (OLOFINNADEA et al., 2021).

Por ser fabricado de concreto, a sua produção causa consequências socioambientais como o alto consumo de energia e a redução da disposição de materiais naturais que cada vez mais estão escassos. Porém, há como alternativa a possibilidade de incorporação de diversos resíduos para composição de propriedades desse material bem como avanços sustentáveis na construção civil.

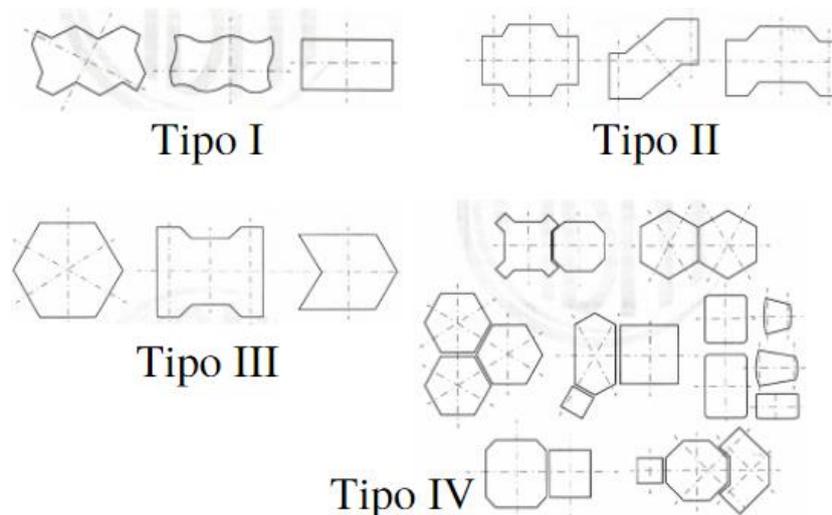
No Brasil existem duas normas técnicas para o piso intertravado de concreto: A NBR 15953 – Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução (ABNT, 2011) que rege a especificação técnica para execução em obra do pavimento intertravado e a NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação – Especificação (ABNT, 2013) que estabelece os requisitos e métodos de ensaio exigíveis para aceitação de peças de concreto para pavimentação intertravada. O piso intertravado de concreto é definido como um elemento maciço pré-fabricado e divididos em 4 tipos diferentes como apresentado na figura 2.

A NBR 9781 não especifica como pode ser produzido o concreto e como pode ser adensado, apenas as especificações de dimensões, de resistência mecânica e os materiais.

A NBR 9781 descreve o piso intertravado por:

“Pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção” (ABNT, 2013, p.7).

Figura 2 - Representação dos tipos de pisos intertravados



Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013).

Esses pisos, também conhecidos como *pavers*, são muito utilizados em ruas urbanas, áreas de recreação, praças, parques, ciclovias, calçadas, estacionamentos, entre outros por apresentar diferentes padrões, cores, formatos que possam atender a critérios estéticos e arquitetônicos (FIRIOTI, 2007). Jamshidi et al. (2019) apresentam o estudo sobre o conceito de pavimento pós-moderno no Japão com a finalidade de atender aos requisitos estruturais, de sustentabilidade e sociopsicológicos do país. Os autores consideraram que os pavimentos intertravados possuem desempenhos satisfatórios objetivando os efeitos estruturais e funcionais em diferentes instalações. Além disso, definem o sistema de pavimentação mais apropriado para as construções japonesas devido à sua aparência física, facilidade de manutenção, características estéticas, menor efeito de ilha de calor, manutenção rápida e efeitos psicológicos positivos em decorrência a eventos de terremoto e tsunamis.

Caetano, Schalch e Pablos (2020) fizeram o estudo da arte sobre *pavers* e apresentam o quadro 1 com diferentes limites a nível mundial em que avaliam dois critérios: resistência à compressão e absorção de água para tráfegos leves e tráfegos pesados. Pode-se notar que não há um consenso nos limites estipulado entre os países, mas que possuem similaridades no processo de produção e avaliação de aceitação das peças.

Quadro 1 - Normas internacionais sobre piso intertravado de concreto

Norma	País	Resistência à compressão (MPa)	Absorção de água (%)
NBR 9781 (ABNT, 2013)	Brasil	> 35MPa (tráfego leve); > 50 MPa (tráfego pesado)	< 6%
SANS 1058 (2009)	África do Sul	> 25 MPa (tráfego leve); > 35 MPa (tráfego pesado)	< 6,5%
ASTM C936 (2012)	Estados Unidos	> 55 Mpa	< 5%
A231.2-95	Canadá	> 50 Mpa	-

Fonte: Elaborado por CAETANO; SCHALCH; PABLOS (2020).

Analisando a variabilidade estética dos pisos intertravados, Alcantra (2015) apresenta a alternativa de uso do resíduo de cerâmica vermelha em substituição ao pigmento de óxido de ferro que são utilizados em projetos de urbanização. A alternativa proposta de incorporar o resíduo provou-se como uma possibilidade técnica promissora, sustentável e economicamente viável na fabricação de *pavers* avermelhados. A figura 3 apresenta diferentes paginações e formatos de pisos intertravados da cidade de Recife, em Pernambuco, que utilizam este tipo de pavimento.

Figura 3 – Pisos intertravados de concreto em calçadas na cidade de Recife

Fonte: Acervo pessoal.

Observando a viabilidade dos materiais de construção, Patil e Sathe (2020) realizaram revisão na literatura sobre resíduos em blocos de concretos para pavimentação com o

intuito de reduzir o consumo de recursos naturais, o aumento do aquecimento global e a geração de resíduos perigosos. O estudo apresentou os resíduos que foram incorporados em dosagens de concretos para pisos em que podem ser destacados os resíduos de cinzas volantes e resíduos de areia de fundição em substituição ao cimento, além do resíduo da casca do coco, resíduos de ladrilhos cerâmicos, resíduos de pneu de borracha e resíduo mineral em substituição de areia. Os resultados apresentaram viabilidade nas substituições desses materiais podendo ser incorporados a construção civil.

Além de existir variabilidade na incorporação de resíduos em pisos intertravados. Olofinnade et al. (2021) fizeram o aproveitamento da escória de aço do forno triturada como substituto da areia natural na produção de blocos de pavimentação intertravados de concreto. As substituições foram em 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% e os resultados de resistência mecânica demonstraram que a substituição entre 20% e 40% podem ser utilizadas para áreas para aplicações sem tráfego, como calçadas de pedestres e paisagem ou para calçadas de tráfego muito leve para edifícios e áreas de estacionamento.

Reis, Collares e Reis (2018) fizeram a avaliação tecnológica de rejeitos de jazidas de quartzito como agregados em concreto pavimentação em bloco. O rejeito foi utilizado em substituição de agregado graúdo e miúdo a partir de argamassa em 1:3 e 1:4 (cimento : agregado). As substituições atenderam a norma técnica brasileira, sendo a substituição no agregado graúdo na proporção de 1:3 sendo a mais indicada devido à redução nos resultados de resistência mecânica e absorção de água provocada pela incorporação do resíduo na dosagem.

Gencil et al. (2011) fizeram em seus estudos dez concretos diferentes variando as proporções de resíduo de mármore em substituição ao agregado miúdo natural em 0%, 10%, 20%, 30% e 40% e com relação agregado/cimento fixada em 4,5. Os concretos foram feitos em misturador e compactados utilizando prensa mecânica. A diferença entre os tipos de cimento utilizados (CEM II 32.5N e CEM II 42.5N) na mistura demonstrou que as resistências mecânicas variaram em diferentes idades e que, com o aumento da substituição de areia por resíduo, houve a diminuição de desempenho nas propriedades dos pisos intertravados.

Dessa maneira, como relatados em outros estudos, a utilização dos pavimentos intertravados de concreto podem promover a sustentabilidade na construção civil ao incorporar resíduos em sua composição avaliando as características desse material.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O tipo de estudo pode ser definido pelos tipos de pesquisa. A pesquisa quanto a abordagem é classificada como quantitativa e qualitativa, quanto a natureza é pesquisa descritiva, quanto aos objetivos é exploratória e quanto ao procedimento é um estudo experimental.

A pesquisa está delimitada ao beneficiamento de resíduos de conchas do molusco *Mytella charruana*, não sendo contemplados outros moluscos que também fazem parte da malacocultura realizada pelos pescadores da Ilha de Deus. De forma análoga, os resíduos de conchas utilizados na pesquisa foram coletados e gerados pela malacocultura da Ilha de Deus, não sendo utilizados resíduos de outras regiões de Recife.

Foram produzidos 4 diferentes concretos com proporções de 0%, 5%, 10% e 12,5% de resíduo de concha de sururu com dimensões dos blocos de 100mm x 200mm x 60 mm com produção mínima de 50 blocos por lote de fabricação. O método de adensamento não é determinado pela NBR 9781 (ABNT, 2013), para este estudo foi realizado de forma manual com haste metálica em moldes plásticos com as dimensões dos blocos. Não foi realizado outro tipo de produção para os blocos de piso intertravado de concreto. Não houveram alterações nos processos produtivos, nos equipamentos utilizados, como também foi mantida a mesma equipe de pesquisadores nos dias de produção dos concretos.

3.1 Beneficiamento do resíduo de concha de sururu (RCS)

O resíduo de concha de sururu utilizado neste estudo foi coletado na comunidade da Ilha de Deus que fica localizada no bairro do Pina na região central da cidade de Recife-PE, como apresenta a figura 4.

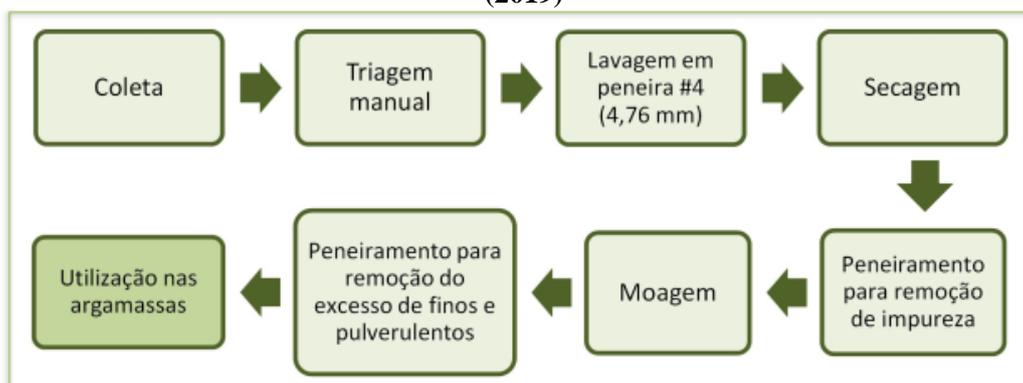
O processo de beneficiamento do RCS foi adaptado de Cardoso (2019) que realizou o primeiro estudo como resíduo e estruturou-o seguindo a figura 5. Devido ao volume de RCS necessário para esta pesquisa, foi acrescentada a etapa de apiloamento para redução de volume em relação ao beneficiamento proposto por Cardoso (2019), como é ilustrado na figura 6. O beneficiamento está próximo aos estudos de Peceño et al. (2019), além dos trabalhos discutidos nos estudos de Ravi et al. (2021) e Biriane e Barachi (2020).

Figura 4 - Comunidade da Ilha de Deus



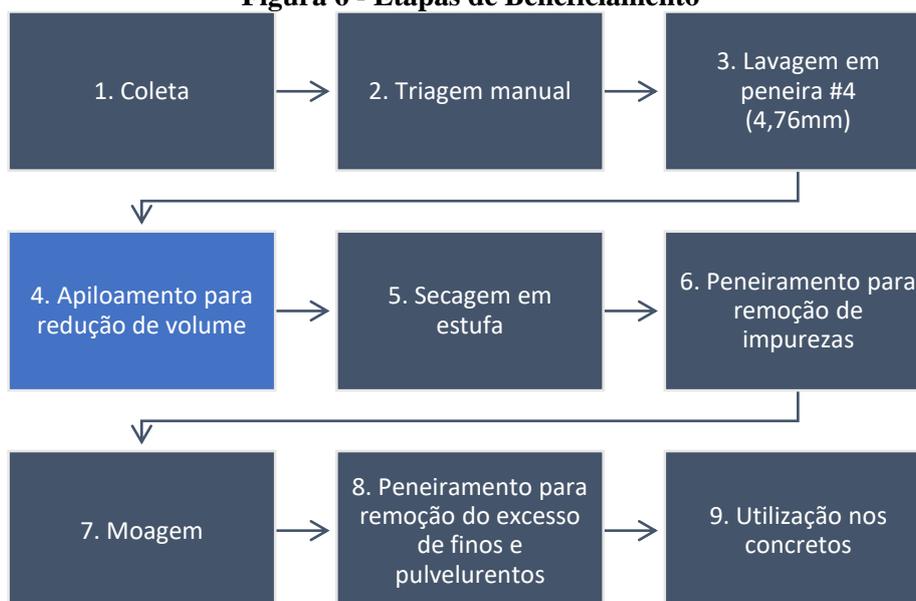
Fonte: Acervo pessoal

Figura 5 - Etapas do processo de preparação do agregado de RCS realizado por Cardoso (2019)



Fonte: Cardoso (2019).

Figura 6 - Etapas de Beneficiamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira etapa do processo de beneficiamento foi ir à comunidade da Ilha de Deus e coletar o resíduo de concha de sururu que fica depositado próximo a atividade de malacocultura. Nessa etapa é importante frisar que as conchas coletadas neste estudo experimental se encontravam com menos resíduos, menos material biológico e provavelmente menos vetores devido terem sido depositadas recentemente pelos pescadores. Ainda nesta etapa, as conchas coletadas foram transportadas para o Laboratório de Materiais de Construção (LMC).

Na segunda etapa, as conchas foram colocadas sobre a peneira #4 com abertura de 4,76mm com a finalidade de serem extraídos manualmente outros resíduos como materiais plásticos, vidro, metais, como também insetos, folhas e material biológico. Consecutivamente, foi realizada a terceira etapa de lavagem das conchas em água contínua para que houvesse passagem dos materiais mais finos que a abertura da peneira.

Devido a necessidade de celeridade no processo de beneficiamento e visualizando uma possível produção em larga escala industrial, foi inserida a etapa de apiloamento das conchas. Esta etapa consistia na compactação das conchas de forma manual utilizando o pilão de cerâmica e socador manual de madeira. O apiloamento foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS). Como o objetivo foi aumentar o volume de conchas nas estufas do laboratório, o apiloamento ficou padronizado em porções de duas mãos cheias (equivalente a 100g de conchas) e realizada a compactação em 25 golpes. Após isso, as conchas foram colocadas na estufa com temperatura de $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ pelo período de 24h, caracterizando a etapa de secagem.

Como descrito por Cardoso (2019), os moluscos bivalves possuem uma “pele” ou “fio” que une as conchas como uma espécie de dobradiça. Por ser um material biológico, após a etapa de secagem o “fio” se desprende mais facilmente da concha podendo ser retirado no processo de peneiramento. Materiais biológicos tendem a se decompor deixando espaços vazios no compósito cimentício, sendo necessária sua remoção da mistura. Além disso, outras impurezas que possam estar contidas nas conchas e que não foram removidas nas etapas anteriores puderam ser retiradas nessa etapa.

Para o processo de moagem, foi feito conforme os métodos de Cardoso (2019) e de Pedrosa Junior (2022). O tritamento das conchas foi realizado para que o RCS esteja na granulometria determinada por norma e possa ser utilizado como agregado miúdo em concretos. O trabalho de Cardoso (2019) utilizou o liquidificador de 900 watts de potência e com o tempo de trituração de 15 segundos por porção. Já o trabalho de Pedrosa Junior (2022) utilizou o liquidificador de 500 watts de potência com o tempo de trituração de 30 segundos. Para esta pesquisa, foi realizado com o liquidificador de 550 watts de potência. Como as potências dos liquidificadores dos estudos são diferentes, foi realizado o seguinte procedimento:

- Primeiro foi determinado qual a porção ideal para o liquidificador;
- Segundo o tempo de trituração das conchas para a porção ideal;
- Terceiro a análise da curva granulométrica do resíduo em cada tempo de trituração para tomada de decisão seguindo a norma de agregados para concretos NBR 7211 (ABNT, 2009).

Ao final, o tempo de trituração escolhido foi o de 25 segundos como será apresentado no capítulo de resultados. Com o resíduo triturado, foi realizado o peneiramento do material para que a quantidade de resíduo retida na peneira #4 com abertura de 4,76mm seja novamente utilizada na etapa de moagem e o passante da peneira #200 com abertura de 0,075mm seja descartada, conforme determinação da norma de agregados que estipula o tamanho dos grãos para agregados miúdos. Assim, o RCS pode ser utilizado em concretos.

3.2 Caracterização dos materiais

3.2.1 Agregado miúdo natural

O agregado miúdo foi caracterizado seguindo o quadro 3. O material foi comercializado na região metropolitana de Recife e entregue em sacos no laboratório de materiais de construção (LMC). Para padronizar as amostras, o agregado teve que ser peneirado na peneira #4 para retirada e descarte de torrões e porções maiores que a abertura de 4,76mm, além de ficar na estufa por 24h a temperatura de 100°C para padronização de umidade. Dessa maneira, houve uma maior uniformização do agregado miúdo utilizado nas dosagens de concreto.

Quadro 2 - Ensaios para caracterização do agregado miúdo

Ensaio	Norma
Módulo de finura	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Absorção de água	NBR NM 30 (ABNT, 2001)
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 Resíduo de concha de sururu (RCS)

Após toda a etapa de beneficiamento do RCS, o material passou por ensaios laboratoriais para poder ser inseridas na dosagem dos concretos e utilizadas em substituição do agregado miúdo natural. Os ensaios estão descritos no quadro 3.

Quadro 3 - Ensaios para caracterização do RCS

Ensaio	Norma
Módulo de finura	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Massa unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Espectrometria de fluorescência de raios-x	NBR 16137 (ABNT, 2016)
Espectroscopia por energia dispersiva	-
Microscópio eletrônico de varredura (MEV)	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3 Agregado Graúdo

Para o agregado graúdo houve a necessidade de lavagem em água corrente na peneira #4 para descartar e remover os materiais finos e pulverulentos, como determinado pela norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). Após a lavagem, o material foi espalhado no laboratório até secar em umidade higroscópica. Foram feitos os ensaios segundo o quadro 4.

Quadro 4 - Ensaios para caracterização do agregado miúdo

Ensaio	Norma
Módulo de finura	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Absorção de água	NBR NM 30 (ABNT, 2001)
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.4 Água

A água foi utilizada como reagente na mistura e foi disponibilizada pelo LMC, sendo fornecida pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) como água potável. Dessa maneira, por ser de abastecimento público, pode ser inserida na mistura do concreto seguindo a NBR 15900 (ABNT, 2009).

3.2.5 Cimento

O cimento escolhido para o estudo foi o Cimento CP II Z-32 e os resultados foram obtidos diretamente dos ensaios realizados pelo fabricante, conforme quadro 5. A escolha deste tipo se deu pela disponibilidade e por ser um dos mais utilizados pelas obras no entorno da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco.

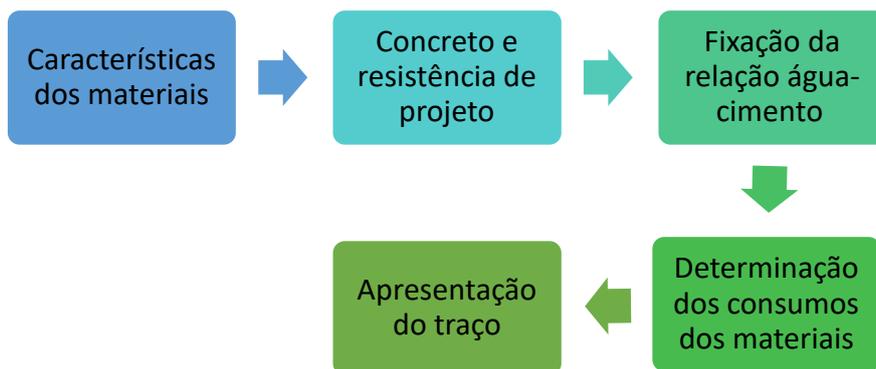
Quadro 5 – Caracterização do Cimento

Característica	Norma
Massa específica	NM 23 (ABNT, 2001)
Tempo de pega	NM 65 (ABNT, 1985)
Perda ao fogo	NM 18 (ABNT, 2012)
Resíduo Insolúvel	NM 15 (ABNT, 2012)
Óxido de Magnésio – MgO	NM 14 (ABNT, 2012)
Trióxido de Enxofre – SO ₃	NM 16 (ABNT, 2012)
Resistência à compressão aos 7 e 28 dias	NBR 7215 (ABNT, 2019)

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Método de dosagem da ABCP

A dosagem é a distribuição adequada dos materiais. No caso desse estudo, foram utilizados cimento, água, agregados miúdo e graúdo e o RCS. Para a dosagem desta pesquisa, foi realizado o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) que é baseado no método do ACI (*American Concrete Institute*). Com a caracterização dos materiais na etapa anterior, o método consiste no fluxograma da figura 7. Para o método de dosagem da ABCP, os ensaios que são necessários para a caracterização dos materiais estão contidos no quadro 6.

Figura 7 – Fluxograma das etapas do método de dosagem da ABCP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 6 – Caracterização dos materiais para o método de dosagem da ABCP.

Material	Dados
Cimento	Tipo, massa específica e nível de resistência à compressão aos 28 dias
Agregado miúdo	Análise granulométrica, módulo de finura e massa específica
Agregado graúdo	Análise granulométrica, dimensão máxima característica do agregado graúdo, massa unitária compactada
Concreto	Consistência desejada do concreto fresco e resistência de dosagem do concreto

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a caracterização dos materiais na dosagem é definida a resistência de dosagem do concreto aos 28 dias utilizando a equação 1. A equação 1 é determinada pela NBR 12655 (ABNT,2015) em que se utiliza de métodos estatísticos para atender às condições de variabilidade prevalentes e o quadro 7 em que apresentam os valores adotados para o controle na produção de concreto.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d \quad (1)$$

Onde, f_{cj} = resistência média do concreto à compressão aos j dias em megapascals; f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, em megapascals e S_d = desvio-padrão da dosagem, em megapascals.

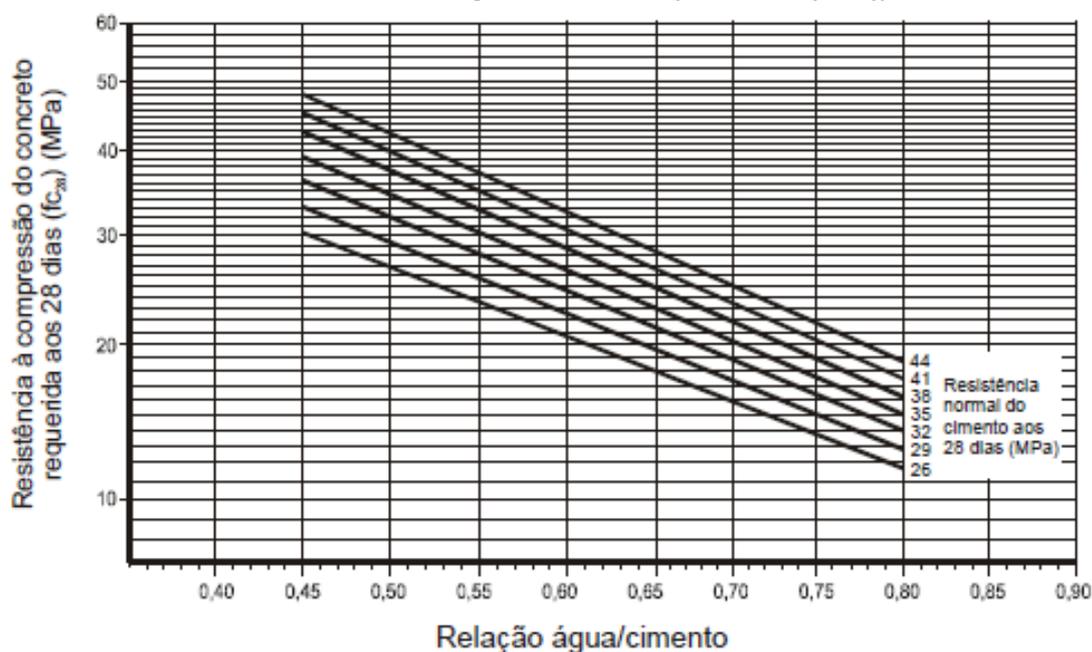
Para determinar a relação água-cimento da dosagem, utiliza-se o gráfico 1 de Curva de Abrams disponibilizada por Rodrigues (1998) e que faz uma relação entre a resistência à compressão do concreto requerida aos 28 dias (f_{c28}) em megapascals e a resistência normal do cimento aos 28 dias em megapascals.

Quadro 7 – Determinação do desvio padrão da dosagem (Sd)

Valor de Sd	Condição	Controle do concreto adotado
Sd = 4,0	A – Classes C10 até C80	Controle rigoroso, o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados
Sd = 5,5	B – Classe C10 até C25	Controle razoável, o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume
Sd = 5,5	B – Classe C10 até C20	Controle razoável, o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em volume. A umidade do agregado miúdo é determinada pelo menos três vezes durante o serviço do mesmo turno de concretagem. O volume de agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento estabelecida especificamente para o material utilizado
Sd = 7,0	C – Classe C10 até C15	Controle regular, o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto, conforme disposto na ABNT NBR NM 67 ou outro método normalizado

Onde C10 até C15 são concretos com classe de resistência à compressão entre 10MPa e 15 MPa, C10 até C20 entre 10MPa a 20 MPa, C10 até C25 entre 10MPa a 20MPa e C10 até C80 entre 10MPa e 80MPa

Fonte: Adaptado da NBR 12655 (ABNT, 2015)

Gráfico 1 – Curva de Abrams para determinação da relação água/cimento

Fonte: Adaptado de Rodrigues (1998).

Lembrando-se que a NBR 12655 (ABNT, 2015) apresenta as condições especiais de exposição do concreto para a durabilidade desse compósito para máxima relação água/cimento e a mínima resistência característica como disposto no Quadro 8 e classe de agressividade e qualidade do concreto no Quadro 9:

Quadro 8 – Máxima relação água/cimento e a mínima resistência característica

Condições de exposição	Máxima relação água/cimento, em massa, para o concreto com agregado normal	Mínimo valor de fck (para concreto com agregado normal ou leve) em Mpa
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água, por exemplo, em caixas d'água	0,50	35,0
Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agente químicos de degelo	0,45	40,0
Exposição e cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes	0,40	45,0

Fonte: Adaptado da NBR 12655 (ABNT,2015)

Quadro 9 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
	Componentes e elementos estruturais de concreto armado – CA	I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa		≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
Classe do Concreto (ABNT NBR 8953:2015)		≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto		≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

Fonte: Adaptado da NBR 12655 (ABNT,2015)

Após a determinação da relação água/cimento iniciam-se as estimativas de proporções para os consumos dos demais materiais. Primeiro, determina-se o consumo de água pela estimativa do estado fresco do concreto que é realizado no abatimento do tronco de cone. Por ser um critério com certa dificuldade, Rodrigues (1998) propõe a Tabela 1:

Tabela 1 – Estimativa do consumo de água

Abatimento do tronco de cone	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (D _{máx})				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60 mm	220 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³	180 l/m ³
60 a 80 mm	225 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³
80 a 100 mm	230 l/m ³	205 l/m ³	200 l/m ³	200 l/m ³	190 l/m ³

Fonte: Adaptado de Rodrigues (1998).

Com a estimativa de consumo de água e a relação água/cimento, tem-se o consumo de cimento a partir da equação 2:

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (2)$$

Onde C_c é o consumo de cimento em kg/m^3 , C_a é o consumo de água em l/m^3 e a/c é a relação água/cimento em kg/kg .

Rodrigues (1998) propôs uma relação para o consumo de agregado graúdo. A tabela 2 apresenta a relação entre o volume compactado seco (V_{pc}) de agregado graúdo com o módulo de finura (MF) do agregado miúdo (areia).

Tabela 2 – Volume compactado seco (V_{pc}) de agregado graúdo por metro cúbico de concreto pelo módulo de finura de areia

Módulo de Finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo ($D_{m\acute{a}x}$)				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Rodrigues (1998).

A estimativa do consumo de agregado graúdo por metro cúbico de concreto é encontrada pela equação 3 que é dado pela relação do volume compactado seco do agregado graúdo e a massa unitária compactada do agregado graúdo:

$$C_p = V_{pc} * M_{Uc} \quad (3)$$

Onde: C_p = Consumo de agregado graúdo por metro cúbico de concreto (kg/m^3), V_{pc} = Volume compactado seco do agregado graúdo por m^3 de concreto, M_{Uc} = Massa Unitária compactada do agregado graúdo por m^3 (kg/m^3).

A estimativa do consumo de agregado miúdo (C_{am}) é imediata, pois tem-se os consumos de cimento, água e agregado graúdo já determinados, já que o volume do concreto é a soma de volumes absolutos dos materiais que o compõe. Para o cálculo do consumo do

agregado graúdo (C_{am}), tem-se a equação 4 que determina o volume de agregado miúdo e a equação 5 que determina o consumo de agregado miúdo:

$$V_{am} = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_p}{\gamma_p} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (4)$$

Onde: V_{am} = Volume do agregado miúdo (areia) por metro cúbico de concreto (m^3),
 γ_c, γ_p e γ_a = massas específicas do cimento, do agregado graúdo e da água,
 respectivamente.

$$C_{am} = \gamma_{am} * V_{am} \quad (5)$$

Onde: C_{am} = consumo de agregado miúdo em kg/m^3 , γ_{am} = massa específica do agregado miúdo em kg/m^3 , V_{am} = Volume de agregado miúdo em m^3 .

Por fim, há a apresentação da dosagem que é a relação das proporções dos materiais do traço ao unitário do cimento que é representada pela equação 6. O traço pode ser representado em massa ou em volume. Devido ao estudo ser laboratorial e o controle dos materiais serem em massa, foi adotado o traço em massa.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} : \frac{C_p}{C_c} : \frac{C_{am}}{C_c} \quad (6)$$

Além do método de dosagem da ABCP outros parâmetros são importantes de serem considerados durante a dosagem. O teor de argamassa (α) e o fator de água/materiais secos (H) são equações importantes para determinação da consistência e da coesão do compósito cimentício. O teor de argamassa pode ser calculado pela relação da equação 7, enquanto o fator de água/materiais secos pela equação 8. Estas equações 7 e 8 são utilizadas como parâmetros para o método de dosagem realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

$$\alpha = \frac{1+a}{1+m} \quad (7)$$

Onde: α – é o teor de argamassa, a = quantidade de agregado miúdo no traço em kg/kg ;
 m = soma da quantidade de agregado miúdo e da quantidade de agregado graúdo em kg/kg .

$$H = \frac{\text{Massa de água (kg)}}{\text{Massa seca (kg)}} = \frac{Ca}{Cc+Cam+Cp} = \frac{a/c}{1+m} \quad (8)$$

Onde: H – Fator de água/materiais secos; Ca – Consumo de água (L/m³); Cc – Consumo de cimento (kg/m³); Cam – Consumo de agregado miúdo (kg/m³); Cp – Consumo de agregado graúdo (kg/m³); a/c – relação água/cimento (kg/kg); m – soma do traço de agregados (kg/kg).

Rodrigues (1998) também recomenda no método de dosagem da ABCP que haja um estudo no proporcionamento dos agregados graúdos para o empacotamento dos grãos. Já Melo (2019), que determinou parâmetros para otimização de esqueleto granular (agregado graúdo e miúdo), verificou que há relação com a resistência à compressão e absorção de água. Dessa maneira, é importante descobrir a proporção ideal de um menor volume de vazios e a máxima massa unitária compactada dos agregados.

Para isso, foi realizado o estudo das proporções dos agregados utilizando a NBR NM 45 (ABNT, 2006) em que foram realizadas as massas unitárias compactadas com as proporções descritas no quadro 10. Lembrando que foram feitas as médias de duas massas unitárias compactadas.

Quadro 10 – Ensaios de massas unitária compactada dos agregados do estudo

Teste	Proporções utilizadas	
	Agregado miúdo (AM)	Agregado Graúdo (AG)
Teste 1	0%	100%
Teste 2	100%	0%
Teste 3	40%	60%
Teste 4	50%	50%
Teste 5	60%	40%
Teste 6	70%	30%
Teste 7	80%	20%
Teste 8	90%	10%

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Confeção dos concretos

Os concretos deste estudo foram confeccionados com a utilização de betoneira com 120L de capacidade. Antes da produção, os materiais estavam em umidade higroscópica do laboratório e foram pesados de acordo com a dosagem. O agregado graúdo estava lavado, o agregado miúdo havia sido seco em estufa e o resíduo de concha de sururu passado pelo processo de beneficiamento. Para a produção dos concretos, foi realizado o método

adaptado de Vasconcelos (2019) para concretos com adição mineral, apresentada no Quadro 11.

Quadro 11 – Confeção dos concretos na betoneira

Etapa	Procedimento	Duração (s)
I	Mistura dos agregados miúdos e graúdos (areia e brita)	30
II	Adição do aglomerante (cimento)	30
III	Adição da água (todo o volume de água da dosagem) com uma pausa na metade do tempo para limpeza do fundo da betoneira de 30s	150
IV	Ao final, adição do resíduo de concha de sururu	60

Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2019).

Após a mistura na betoneira ilustrada na Figura 8, o concreto foi despejado em recipientes plásticos e transportado para realização dos ensaios no estado fresco e a moldagem dos corpos-de-prova com o formato dos pavimentos intertravados de concreto.

Figura 8 – Misturador mecânico com 120L de capacidade



Fonte: Acervo pessoal.

3.5 Moldagem dos corpos-de-prova e ensaios no estado fresco e endurecido

Para os ensaios no estado fresco foi determinada a consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone a partir da NBR NM 67 (ABNT,1998). Este ensaio é importante para avaliar não apenas o estado fresco do material, como também a forma de adensamento dos corpos-de-prova.

Para a moldagem e cura de corpos-de-prova prismáticos de concreto foi realizada a partir da NBR 5738 (ABNT, 2015). Os moldes de material plástico foram adquiridos com

dimensões de 200mm x 100mm x 60mm (comprimento x altura x espessura) e seguindo a NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013).

A moldagem do concreto considera em seu método de cálculo de números de golpes por camada o ensaio a consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone segundo a tabela da NBR 5738 (ABNT, 2015). O Quadro 12 apresenta as classes de abatimentos e o intervalo de abatimento de cada classe. Além disso, tem-se o número de camadas e golpes de socamento que é representado pelo Quadro 13.

Quadro 12 - Processo de adensamento

Classe de abatimento	Abatimento (a) (mm)	Processo de adensamento
S10	$10 \leq a < 50$	Mecânico
S50	$50 \leq a < 100$	Manual ou Mecânico
S100	$100 \leq a < 160$	
S160	$160 \leq a < 220$	Manual
S220	$a > 220$	

Nota: Para concretos especiais, o procedimento de moldagem pode ser modificado de modo a simular o adensamento a ser empregado na obra, de acordo com o responsável pela obra.

Fonte: Adaptado de NBR 5738 (ABNT,2015).

Quadro 13 - Número de camadas e golpes de socamento

Tipo de molde	Tipo de adensamento	Dimensão básica (d) (mm)	Número de camadas (manual)	Número de golpes por camadas
Prismático	Manual	100	1	75
		150	2	75
		250	3	200
		450	-	-

Fonte: Adaptado de NBR 5738 (ABNT,2015).

Os ensaios no estado endurecido iniciaram após o desmolde dos corpos-de-prova com dimensões de 200mm x 100mm x 60mm (comprimento x altura x espessura). A NBR 9781 (ABNT, 2013) determinou a medida nominal do comprimento de no máximo 250mm e a medida real de largura de no mínimo 97mm. Segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015), os corpos-de-prova prismáticos devem permanecer nas formas, nas condições de cura inicial em até 48h desde que as condições de endurecimento do concreto permitam

a desforma sem causar danos. Para este estudo, a cura inicial foi realizada em 24h pois já apresentaram condições determinadas pela NBR 5738 (ABNT, 2015).

3.5.1 Análise do Peso das Amostras

Para o peso de todos os blocos, foram utilizadas balanças de precisão de 0,1g em e foram medidos em diferentes idades do concreto. A primeira idade foi após o desmolde, ou seja, com 24h após a produção e em umidade higroscópica do laboratório LMC. A segunda foi realizada aos 28 dias na condição saturada com superfície seca segundo a NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013).

3.5.2 Determinação da Resistência Característica à Compressão

A determinação da resistência à compressão das famílias de blocos seguiu a NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013). Este procedimento foi realizado junto a empresa especializada. Os corpos-de-prova foram transportados para o laboratório da empresa e saturados em água por no mínimo 24h (em relação ao horário do ensaio) a uma temperatura de 23 ± 5 °C. Os blocos foram retificados com o capeamento de pasta cimentícia para nivelar as duas faces que entraram em contato com as placas auxiliares cilíndricas do ensaio e receberam o carregamento contínuo de 550 kPa/s, com variação de mais ou menos 200 kPa/s de modo que os eixos das peças coincidam em seus centros e com o centro da peça até a ruptura do corpo-de-prova.

Nas equações 9 e 10 contém a relação para as resistências à compressão sendo o valor característico estimado pelas equações 9 e 10:

$$f_{pk, est} = f_p - t * s \quad (9)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(f_p - f_{pi})^2}{n-1}} \quad (10)$$

Onde: f_p - é a resistência média das peças, expressa em megapascals (MPa); f_{pi} é a resistência individual das peças, expressa em megapascals (MPa); $f_{pk, est}$ - é a resistência característica estimada à compressão, expressa em megapascals (MPa); n - é o número de peças da amostra; s - é o desvio-padrão da amostra, expresso em megapascals (MPa); t - é o coeficiente de Student, em função do tamanho da amostra.

3.5.3 Determinação da Absorção de Água

A determinação da absorção de água dos blocos foi realizada a partir da NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013). O procedimento foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) em que houve o preparo inicial dos corpos-de-prova sendo saturados por 24h a temperatura de $23 \pm 5^\circ\text{C}$. Após isso, foram pesados na condição saturada de superfície seca, obtendo a massa saturada. Para a massa seca, foram levados à estufa por 24h com temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Em seguida, foram pesados individualmente e registrada a massa seca. A absorção é determinada utilizando-se a equação 11.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (11)$$

Onde: A é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%); m1 é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g); m2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

3.5.4 Análise Estatística

A análise estatística dos resultados foi feita nos resultados à compressão. Inicialmente o teste de normalidade de Shapiro-Wilk foi aplicada às distribuições de resistências à compressão (CR, C5, C10 e C12,5). Após isso, o teste de Levene para a homogeneidade das amostras dos pares CR e C5; CR e C10; e CR e C12,5.

A partir desse resultado, foi criada a hipótese adotada H_0 em que os concretos com RCS possuem resistência à compressão estatisticamente igual ao concreto de referência (CR) e a hipótese alternativa H_1 onde os concretos com RCS (C5, C10 e C12,5) não são iguais a CR. O teste utilizado foi o teste U de Mann-Whitney para os dados que não são homogêneos e o teste de T para duas amostras independentes para os dados com homogeneidade. A ferramenta de cálculo utilizada foi o Microsoft Excel com o suplemento gratuito *Real Statistics*.

4. RESULTADOS

O resíduo de concha de sururu (RCS) foi coletado na Comunidade da Ilha de Deus utilizando baldes e embalagens plásticas. A figura 9 apresenta como resíduo se encontra depositado nas proximidades da ilha e como foi colhido antes de ser transportado para o laboratório de materiais de construção.

Figura 9 – Coleta de conchas na comunidade da Ilha de Deus



Fonte: Acervo pessoal.

Após a coleta, tem-se a triagem manual representadas na figura 10, onde foram retirados outros resíduos, como metais, plásticos, materiais orgânicos, entre outros. Foram identificadas as presenças de animais, exemplificando o *Paederus*, conhecido como potó, assim como relatado por Pedrosa Junior (2022).

Foi realizada a lavagem das conchas na peneira #4, com abertura de 4,76mm, como representada na figura 11. As conchas foram dispostas no ambiente externo, em cima de material plásticos e expostas ao sol. Já secas e em umidade higroscópica, foram levadas a etapa de apiloamento.

O procedimento de apiloamento foi elaborado para dar celeridade no beneficiamento e otimizar a capacidade máxima da estufa utilizada na pesquisa e disposta no laboratório.

A figura 12 apresenta as conchas antes e depois de serem compactadas, além da figura 13 apresentar a diferença de volume ocupado pela mesma quantidade em massa de conchas antes e depois do processo. Antes do apiloamento das conchas, o recipiente apresentava-se com resíduo de concha de sururu até a altura de 14cm, já após o apiloamento reduziu-se para 10 cm. Como as conchas possuíam a mesma massa, foram lançadas sem compactação e depositadas no mesmo recipiente, tem-se que a redução do volume de aproximadamente de 28,57%. O procedimento foi repetido 3x apresentando os mesmos resultados.

Figura 10 – Triagem manual – a) representação de concha com material orgânico e b) insetos encontrados entre as conchas



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 11 – Lavagem das conchas na peneira com abertura de 4,76mm a) conchas sendo lavadas e b) conchas limpas e expostas ao sol para secagem



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 12 – Representação das conchas a) depois do apiloamento; b) antes do apiloamento



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 13 – Diferença entre volumes de conchas a) antes do apiloamento b) depois do apiloamento



Fonte: Acervo pessoal.

Após a secagem a 100°C por 24h, houve a etapa de peneiramento para remoção de impurezas. A figura 14 apresenta a diferença entre as conchas antes e depois da secagem por estufa. É importante frisar que nessa etapa nota-se o desprendimento das conchas pela remoção do “fio” que é característico nas conchas bivalves. Diferentemente do processo de beneficiamento por Cardoso (2019) e posteriormente por Pedrosa Junior (2022), houve a necessidade de adaptação das peneiras utilizadas no peneiramento. Por ter a etapa de

apiloamento em que houve a redução do tamanho das conchas, haveria perda considerável de material caso fosse utilizada apenas a peneira com abertura de 4,76mm. Dessa maneira, foram feitos os peneiramentos com duas diferentes peneiras com abertura de 4,76mm e abertura de 0,30mm.

Figura 14 – Conchas a) antes da estufa e b) depois de 24h em estufa a 100°C



Fonte: Acervo pessoal.

O material retido na peneira de abertura de 4,76mm passou para a próxima etapa do beneficiamento, enquanto o material passante a peneira de abertura de 4,76mm e retido na peneira de abertura 0,30mm não foi utilizado no restante da pesquisa. Enquanto o material passante nas duas peneiras (abertura 4,76mm e 0,30mm) foi descartado devido a quantidade de finos. A figura 15 ilustra o resultado desse procedimento.

Como descrito na seção 3.1 do capítulo 3, após o material estar seco em estufa e peneirado iniciou o processo de moagem. Primeiramente ficou definida a quantidade por porção de conchas que seriam inseridas no copo de liquidificador. Por análise visual, notou-se que duas porções (duas mãos cheias) de conchas foi o ideal para que as conchas pudessem ser trituradas pela hélice do liquidificador. Segundamente, com a porção a ser utilizada definida, foram feitos estudos experimentais dos resultados encontrados em diferentes tempos de moagem. Os tempos definidos para análise foram de 15 segundos, 20 segundos e 25 segundos.

Figura 15 – Peneiramento para remoção de impurezas a) material com granulometria superior a 4,76mm b) material com granulometria inferior a 4,76mm e superior a 0,30mm c) material com granulometria inferior a 0,30mm

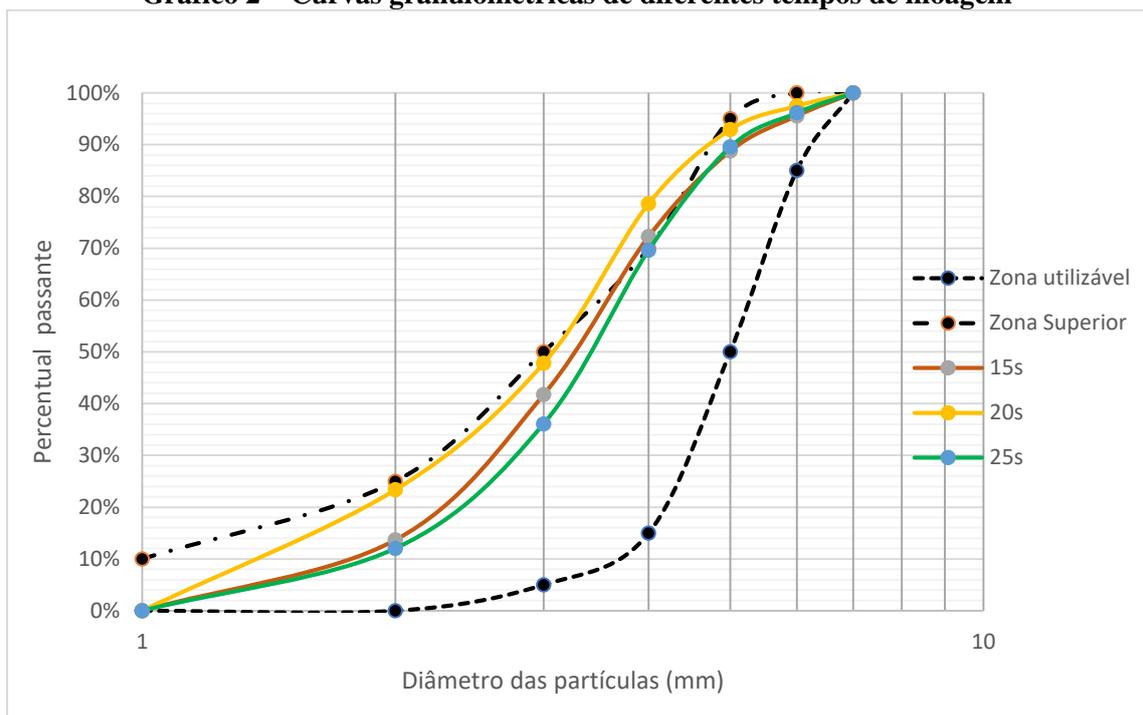


Fonte: Acervo pessoal.

O gráfico 2 demonstra as curvas granulométricas dos resíduos triturados em diferentes tempos de moagem a partir da norma NBR NM 248 (ABNT,2003). Como o RCS será utilizado em substituição ao agregado miúdo natural, o gráfico 2 apresenta também as curvas de limite de zona superior ótimo e zona de limite inferior de agregados miúdos para utilização em materiais cimentícios definidos pela NBR NM 248 (ABNT, 2003).

As conchas foram moídas nos tempos determinados (15s, 20s e 25s), foram feitos o peneiramento na peneira de abertura de 4,76mm e foram coletados 300g de cada amostra após a moagem. Dessa maneira, nota-se que as curvas de 15s e de 20s apresentam distribuição granulométrica superior ao da zona superior ótima determinada pela norma e foi observado maior quantidade retida na peneira de abertura 4,76mm. Assim, para a pesquisa foi utilizado o tempo de 25s de moagem. O resíduo retido na peneira #4 com abertura de 4,76mm retornou a etapa de moagem e o passante da peneira #200 com abertura de 0,075mm foi descartado, conforme determinação da norma de agregados que estipula o tamanho dos grãos para agregados miúdos. Assim, o RCS foi beneficiado e utilizado nos concretos.

Gráfico 2 – Curvas granulométricas de diferentes tempos de moagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Caracterização dos materiais

4.2.1 Resíduo de Concha de Sururu

O resíduo foi retirado da mesma região que os estudos de Pedrosa Junior (2022), Santos (2019) e Cardoso (2019). A tabela 3 apresenta os resultados obtidos em suas pesquisas com o ensaio de espectrometria de fluorescência de raio-x em que estão expressos em peso percentual:

Tabela 3 - Resultados do ensaio de espectrometria de raios-x

Elemento	Peso (%)	Elemento	Peso (%)
CaO	49,52	P ₂ O ₅	0,07
Na ₂ O	0,46	MgO	0,06
SO ₃	0,44	BaO	0,05
SiO ₂	0,43	K ₂ O	0,02
SrO	0,25	ZnO	0,02
Al ₂ O ₃	0,24	Perda ao fogo	48,34
Fe ₂ O ₃	0,12	Total	100

Fonte: Cardoso (2019).

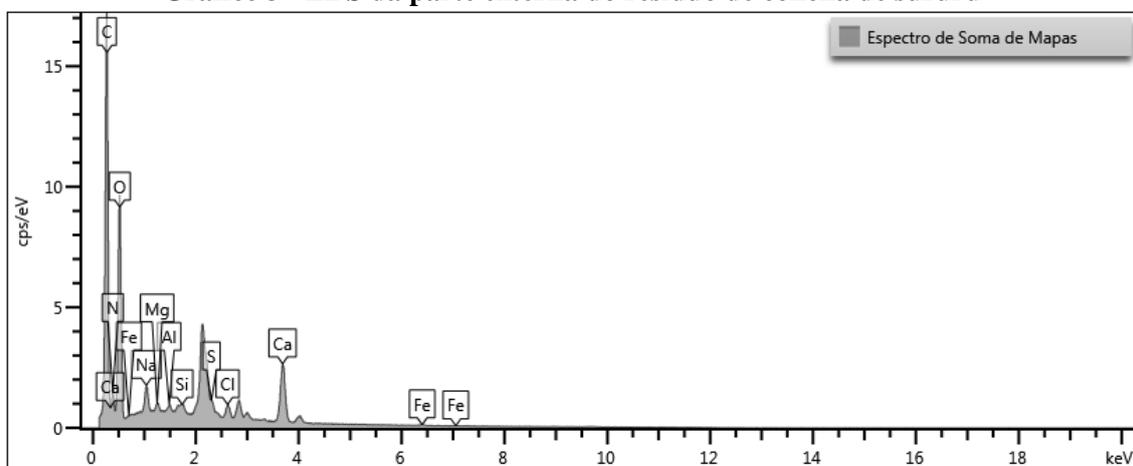
Nota-se que a maior parte de RCS é composto por óxido de cálcio (CaO) com pequenas frações de outros óxidos, sendo a composição química muito próxima ao calcário. Pela

análise química, o RCS apresenta cerca de 97% de carbonato de cálcio (CaCO_3) em sua composição (BIRIANE; BARBACHI, 2021).

Além disso, pode-se ser notada a composição do RCS no ensaio de Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) pela análise dos elementos da parte interna e da parte externa da concha de sururu após o processo de beneficiamento. Os resultados gerais estão dispostos em ANEXO A – Espectroscopia por energia dispersiva da parte externa do resíduo de concha de sururu e em ANEXO B – Espectroscopia por energia dispersiva da parte interna do resíduo de concha de sururu.

O gráfico 3 apresenta o espectro de soma da parte externa do resíduo de concha de sururu e o gráfico 4 da parte interna de forma qualitativa. Em ambos os gráficos pode-se perceber a identificação dos elementos C, N, O, Na, Mg, Al, Si, S, Cl, Ca, Fe e P, o que corrobora com os resultados do ensaio de espectrometria de fluorescência de raio-x (CARDOSO, 2019; RAVI et al., 2021) e apresenta analogia entre a parte interna e externa da concha.

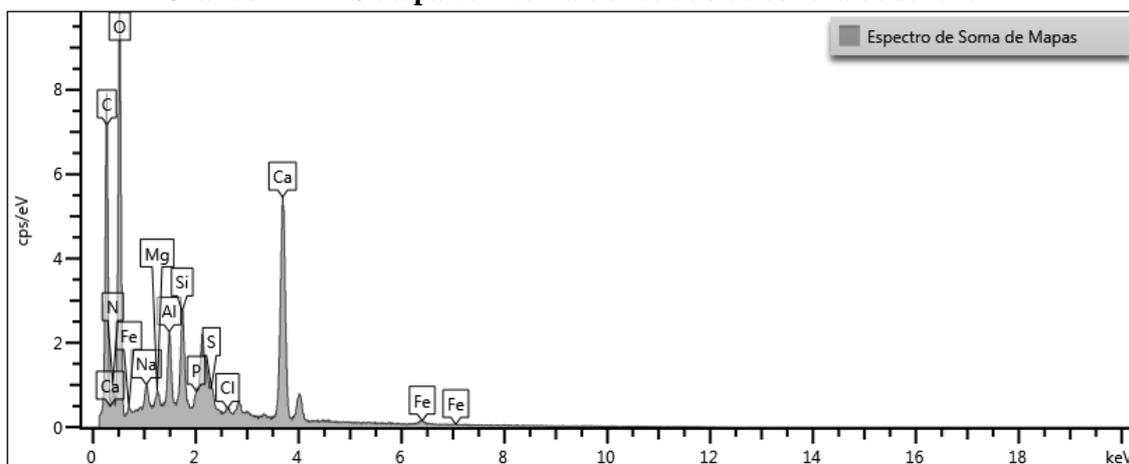
Gráfico 3 - EDS da parte externa do resíduo de concha de sururu



Fonte: Resultados obtidos a partir de ensaio laboratorial no Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

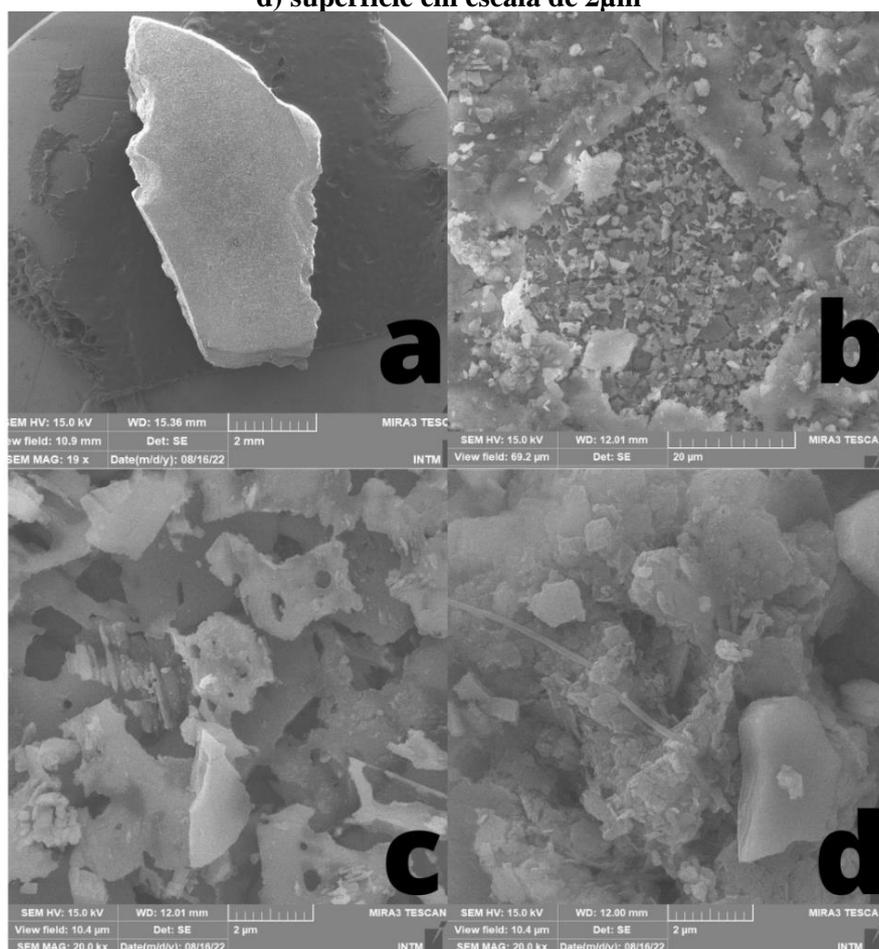
O ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da parte interna e externa do RCS é representado pela Figura 16 e os resultados gerais estão no ANEXO C – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da parte interna do resíduo de concha de sururu e no ANEXO D – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da parte externa do resíduo de concha de sururu.

Gráfico 4 – EDS da parte interna do resíduo de concha de sururu



Fonte: Resultados obtidos a partir de ensaio laboratorial no Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Figura 16 – MEV do RCS: a) Região estudada do RCS com escala de 2mm; b) superfície heterogênea com escala de 20 μ m; c) superfície com escala de 2 μ m; d) superfície em escala de 2 μ m

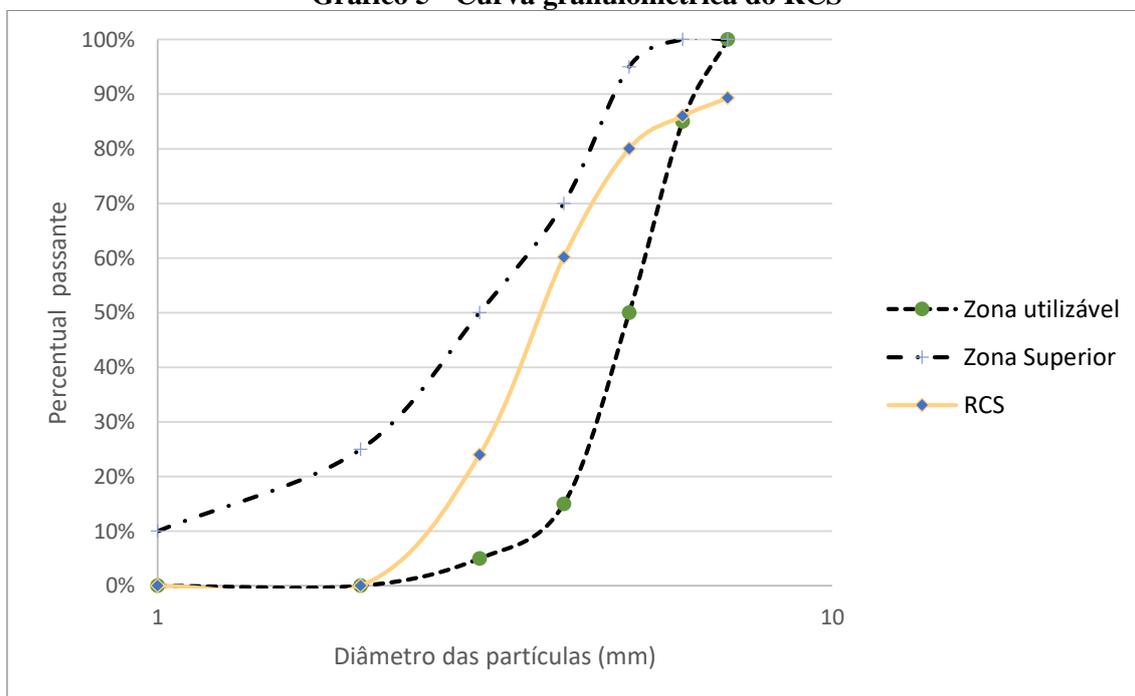


Fonte: Resultados obtidos a partir de ensaio laboratorial no Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Assim como no resíduo de concha abordado por Quintela (2020) e Cavalcanti (2020), o RCS da comunidade da Ilha de Deus possui morfologia com estrutura porosa e rugosidade. Pela figura 16, pode-se notar partículas heterogêneas em sua superfície além da estrutura lamelar sobreposta. Esse tipo de estrutura é ideal para adsorção desse material em compósitos cimentícios, visto que se adere a pasta de cimento.

Para a curva granulométrica do RCS foi realizado o procedimento da NBR NM 248 (ABNT, 2003) e apresenta-se no gráfico 3. Pelo tempo de moagem e o método de beneficiamento, o diâmetro das partículas tendem a curva granulométrica a proximidade da zona superior determinada pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009) e o módulo de finura a ser muito diferente do agregado miúdo natural. Devido a isso, o material retido na peneira de abertura de 4,76mm e 2,38mm e o material passante a 0,075mm não foram utilizados fazendo com que o módulo de finura obtido foi de 3,39. Dentre outros resultados, tem-se que o RCS apresenta 2,66 g/cm³ e massa unitária de 1,45g/cm³.

Gráfico 5 - Curva granulométrica do RCS



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Cimento

O aglomerante escolhido foi o Cimento Portland tipo II com adição de Pozzolana (tipo Z) e resistência característica de 32 MPa. Os dados foram adquiridos pelo fabricante.

Quadro 14 - Caracterização física, química e mecânica do cimento

Ensaio	Resultado
Massa Específica	2,92 g/cm ³
Tempo de pega	Início: 255 min Fim: 310 min
Consistência normal	28,5%
Perda ao fogo	7,12%
Resíduo Insolúvel	10,92 %
Óxido de Magnésio – MgO	2,69 %
Trióxido de Enxofre - SO ₃	2,55 %
Resistência à compressão aos 7 dias	34,4 Mpa
Resistência à compressão aos 28 dias	42,4 Mpa

Fonte: Fornecido pelo Fabricante e disponível em <https://www.cimentoitambe.com.br/produtos/cp-ii-z-32/>

4.2.3 Agregado graúdo

Tabela 4 - Composição granulométrica do agregado graúdo

Abertura Peneira (mm)	Peneiramento - Peso Retido (g)			Percentual retido (%)	Percentual Acumulado (%)
	Amostra 1	Amostra 2	Média		
25	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0,0
15,9	37,2	29,6	33,4	3,3	3,3
12,5	29,8	32,3	31,0	3,1	6,4
9,52	226,4	219,0	222,7	22,3	28,7
4,8	639,7	656,6	648,2	64,8	93,5
2,4	57,0	59,3	58,2	5,8	99,4
Fundo	9,8	3,1	6,4	0,6	100,0
Total	1000	1000	1000	100	
Módulo de Finura					3,28
Dimensão máxima do agregado (mm)					19,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

A composição granulométrica está contida na tabela 4, onde a dimensão máxima do agregado encontrada foi de 19,0mm seguindo a série normal e de 12,5mm seguindo a série intermediária na NBR 7211 (ABNT, 2009). Devido ao método de dosagem da ABCP utilizar apenas a série normal, a dimensão máxima do agregado será de 19mm.

Outros resultados para o agregado graúdo utilizados para o método de dosagem: massa específica: 2,70 g/cm³, Massa unitária compactada média: 1596,5 g/cm³.

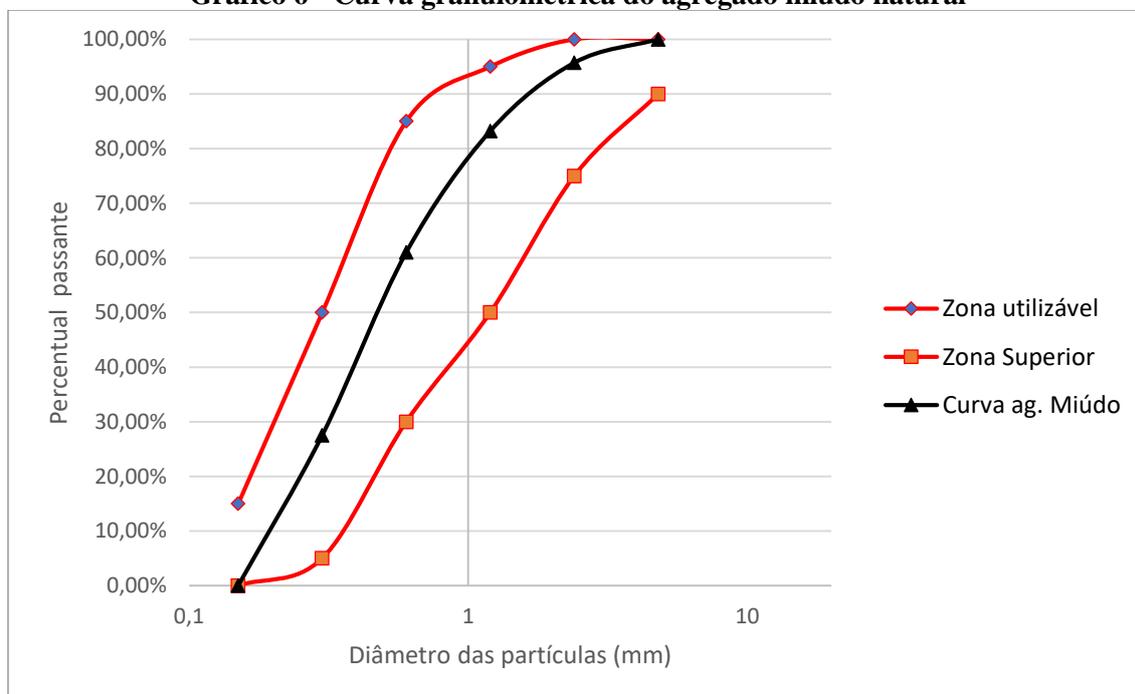
4.2.4 Agregado miúdo

Tabela 5 - Composição granulométrica do agregado miúdo

Abertura Peneira (mm)	Peneiramento - Peso Retido (g)			Percentual retido (%)	Percentual acumulado (%)
	Amostra 1	Amostra 2	Média		
4,76	0,00	0,00	0,00	0%	0%
2,36	12,84	12,96	12,90	4%	4%
1,18	36,66	38,34	37,50	13%	17%
0,6	66,78	66,45	66,62	22%	39%
0,3	100,22	100,58	100,40	33%	72%
0,15	65,69	66,05	65,87	22%	94%
0,075	17,81	15,62	16,72	6%	100%
Fundo			-		
Total	300	300	300		100%
Módulo de Finura					3,27
Dimensão máxima do agregado (mm)					2,36

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 6 - Curva granulométrica do agregado miúdo natural



Fonte: Elaborado pelo autor.

A composição granulométrica do agregado miúdo natural apresentada na tabela 5 e a curva granulométrica no gráfico 4. Observando os resultados, o módulo de finura é de

3,27, a dimensão máxima do agregado de 2,36mm. Além desses resultados, tem-se que a massa específica é de 2,57 g/cm³ e massa unitária compactada de 1,56 g/cm³.

4.3. Dosagem do concreto pelo método da ABCP

A tabela 6 apresenta os dados de forma geral obtidos pela caracterização dos materiais utilizados para o método de dosagem da ABCP.

Tabela 6– Caracterização dos materiais para a dosagem do ABCP

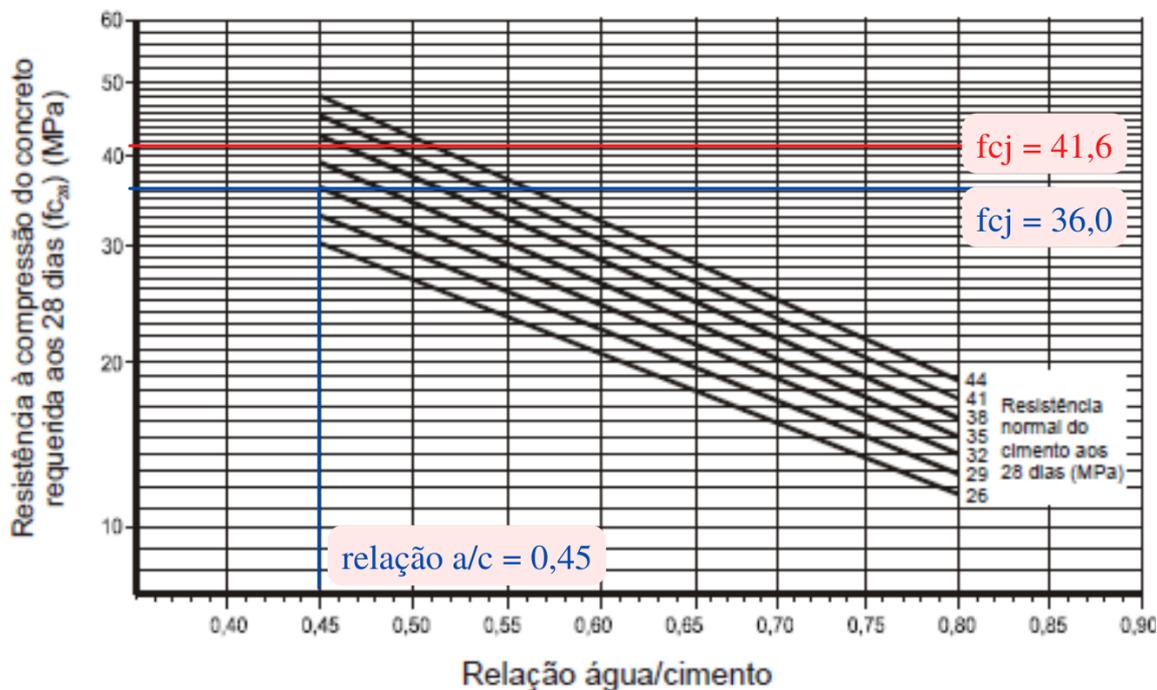
Ensaio	RCS	Agregado miúdo	Agregado Graúdo	Cimento
Massa Específica (kg/m ³)	2,66	2,57	2,7	2,92
Massa Unitária Compactada (kg/m ³)	-	1,561	1,596	-
Módulo de Finura	3,39	3,27	3,28	-
Dimensão máxima característica (mm)	1,18	4,76	19,0	-
Resistência característica (MPa)	-	-	-	32

Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente foi feito o cálculo para determinar a resistência do concreto pela equação 1. Partindo da NBR 9781 (ABNT, 2013) tem-se que a resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias para Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha superior ou igual a 35 MPa, já para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados superior ou igual a 50 MPa. Como o produto final é concreto para pavimentos em que sejam de tráfego leve e a pesquisa está sendo realizada com pesagem em massa e por controle laboratorial, tem-se que f_{ck} da equação 1 com o valor de 35MPa e o Sd (desvio padrão) determinado pelo valor de 4,0. Assim, $f_{cj} = 35 + 1,65 * 4,0 = 41,6$ MPa.

Para encontrar o tipo de cimento com a resistência característica de 41,6 MPa o gráfico 7 baseado em Rodrigues (1998) apresenta apenas 3 tipos de concretos que podem atingir esta resistência que são os com resistência normal aos 28 dias de 38MPa, 41MPa e 44 MPa. A escolha do cimento deu-se pelo mais comercializado na região metropolitana de Recife, sendo o cimento adotado para o estudo o CP II Z-32 com resistência característica de 32MPa. Nota-se que o gráfico apresenta a possibilidade de resistência máxima à compressão aos 28 dias de 36MPa com relação água/cimento fixada em 0,45. Assim, ficou definida a relação água/cimento de 0,45 ciente de que com o valor de f_{cj} máximo de 36MPa, o f_{ck} do concreto ficará em torno de 29,4 MPa, utilizando a mesma Equação 1 com o valor de desvio padrão determinado por norma (Sd) de 4,0.

Gráfico 7 – Determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências dos concretos.



Fonte: Adaptado de Rodrigues (1998).

Com a relação água/cimento fixada em 0,45 e o cimento com resistência normal aos 28 dias de 32 MPa, foi estimado o consumo de água a partir do Tabela 1 adaptado de Rodrigues (1998) em que o abatimento do tronco de cone foi estipulado entre 60 a 80mm e a dimensão máxima característica do agregado graúdo encontrada foi de 12,5mm, porém foi adotado o valor para a série normal de peneiras em 19,0mm que é definida pela NBR NM 248 (ABNT,2003). Dessa maneira, o consumo de água tabelado é de 200 L/m³. Com o consumo de água (C_a), tem-se então o consumo de cimento a partir da equação 2, em que $C_c = 200 / 0,45 = 444,44 \text{ kg/m}^3$.

Para a estimativa do consumo de agregado graúdo (C_p) utilizou-se a tabela 2 em que foi estipulado o volume compactado seco (V_{pc}) a partir da dimensão máxima característica do agregado graúdo e do módulo de finura da areia com valores de 19,0 mm e 3,27 respectivamente. Como o valor de 3,27 está entre os valores de 3,20 e 3,40, foi realizada a interpolação dos valores na tabela 2 resultando no valor de 0,637. Como a massa unitária compactada do agregado graúdo possui 1596,50 kg/m³, pela equação 3 tem-se que o consumo de agregado graúdo é 817,41 kg/m³.

Com todos os consumos estimados, as massas específicas dos materiais determinadas e utilizando a Equação 4, tem-se que o consumo de agregado miúdo é de 887,25 kg/m³. Assim, a tabela 7 apresenta os consumos e o traço a partir do método de dosagem da ABCP:

Tabela 7 - Consumos e traço estimado pelo método de dosagem da ABCP

Parâmetro	Cimento	Água	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Consumo	444,44 kg/m ³	200,00 L/m ³	887,25 kg/m ³	817,41 kg/m ³
Traço (kg/kg)	1,00	0,45	2,0	1,84

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando o traço obtido pelo método de dosagem, nota-se que a relação água/cimento, por ser a de menor valor no gráfico 1 de Rodrigues (1998), acarreta no alto consumo de cimento. Buscando diminuir o consumo de cimento e promover maior sustentabilidade na incorporação do resíduo, tem-se a tabela 8 em que são apresentados os valores de proporcionalidade de agregados, porcentagem de areia na mistura e os conceitos de teor de argamassa (α) e o fator de água/materiais secos (H). Essas correlações são comumente encontradas no método de dosagem do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (ITP) e que estão nas equações 7 e 8.

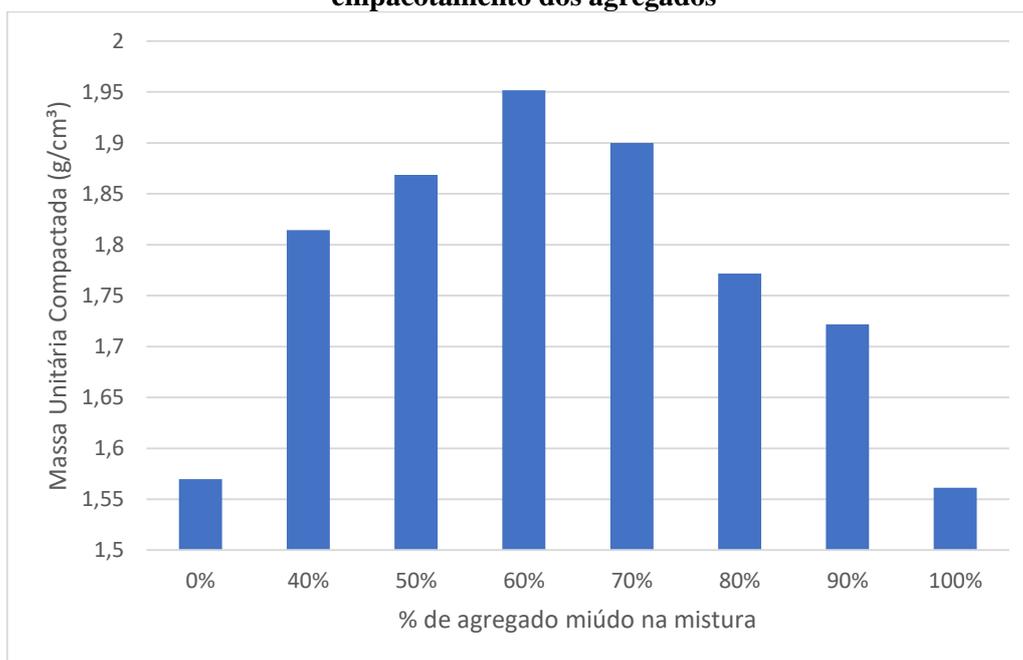
Tabela 8 – Traço estimado pelo método de dosagem da ABCP

Item	Cimento	Água	Agr. Miúdo	Agr. graúdo	Soma dos agregados	% de areia na mistura	Teor de argamassa (α)	Fator de água/ materiais secos (H)
Traço (kg/kg)	1,00	0,45	2,00	1,84	3,84	0,52	62%	9%

Fonte: Elaborado pelo autor.

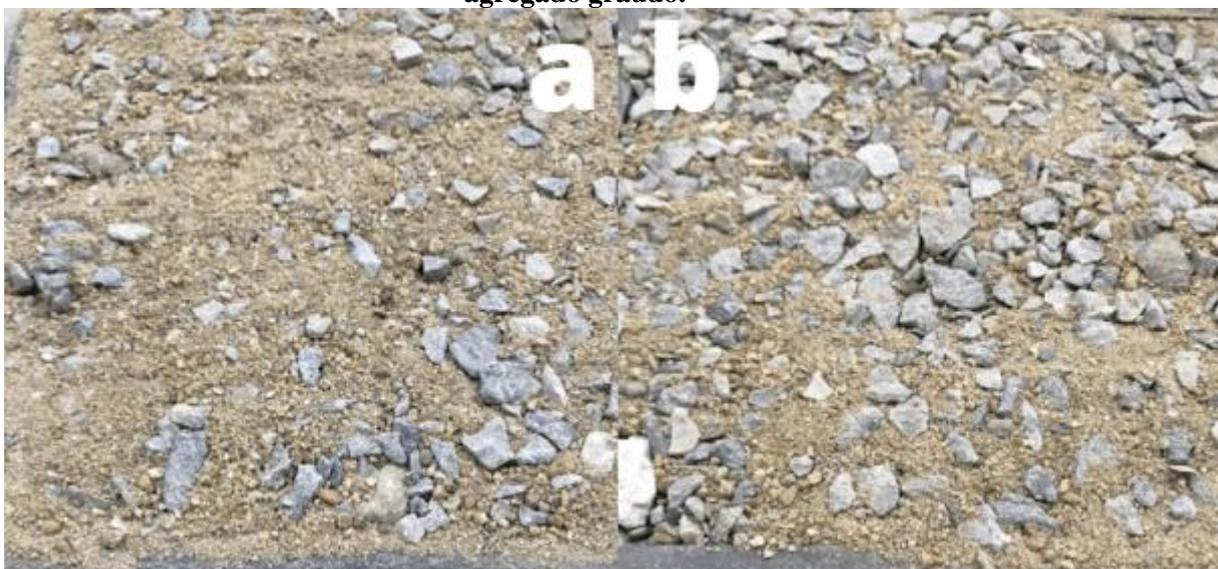
Para contextualizar as proporções de agregados na dosagem estimada foi realizado o ensaio de empacotamento dos grãos. Foram realizados ensaios a partir da NBR NM 45 (ABNT,2006) relativo as massas específicas da combinação entre agregado miúdo e agregado graúdo. As proporções foram pré-determinadas conforme o Quadro 10. O Gráfico 8 apresenta os resultados obtidos em diferentes proporções enquanto a Figura 17 ilustra o procedimento de ensaio.

Gráfico 8 – Massa unitária compactada da combinação entre os agregados para empacotamento dos agregados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 – Mistura de agregados graúdo e miúdo; a) proporção de 80% de agregado miúdo e 20% de agregado graúdo; b) proporção de 40% de agregado miúdo e 60% de agregado graúdo.



Fonte: Acervo pessoal.

Analisando o gráfico 2 e o Gráfico 8 nota-se que a proporção de agregado miúdo pelo método de dosagem da ABCP está abaixo do valor de máxima massa unitária compactada, visto que o valor ideal está entre 50% a 70% agregado miúdo. Dessa maneira, o ideal é aumentar a proporção de agregado miúdo entre a proporção dos

agregados para promover um maior tamponamento e empacotamento dos grãos da mistura de agregados.

Buscando reduzir o consumo de cimento da mistura, o fator de água/materiais secos, aumentar o teor de argamassa e otimizar o empacotamento dos grãos, houve a adaptação do método de dosagem da ABCP sendo apresentado o traço utilizado para o concreto de referência (CR) a tabela 9.

Tabela 9 – Traço em massa do concreto de referência com alterações nas proporções dos agregados em relação ao método de dosagem da ABCP

	Cimento	Água	Agr. miúdo	Agr. gráuado	Soma dos agregados	% de areia na mistura	Teor de argamassa (α)	Fator de água/ materiais secos (H)
Traço (kg/kg)	1,00	0,45	2,40	1,65	4,05	0,59	67%	9%

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Confeção dos concretos

Os concretos foram confeccionados seguindo os traços da tabela 10 e o método adaptado de Vasconcelos (2019) descrito no Quadro 11. Devido a capacidade máxima do misturador mecânico e da quantidade de moldes de pavimentos intertravados utilizados, foram feitas duas produções de 32L, totalizando 64L. Cada produção foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) sendo moldados no mínimo 50 corpos-de-prova para cada uma das quatro produções distintas: CR (Concreto de Referência – 0% de RCS), C5 (Concreto com 5% de RCS), C10 (Concreto com 10% de RCS) e C12,5 (Concreto com 12,5% de RCS).

Os valores de substituição adotados estão de acordo com outros estudos com resíduos de marisco (RAVI et al., 2021; PECEÑO, 2019) e com as recomendações futuras de estudos realizados na UPE (SANTOS, 2019; CARDOSO, 2019). O estudo produziu no total 200 blocos de concreto para pavimentos de piso intertravado.

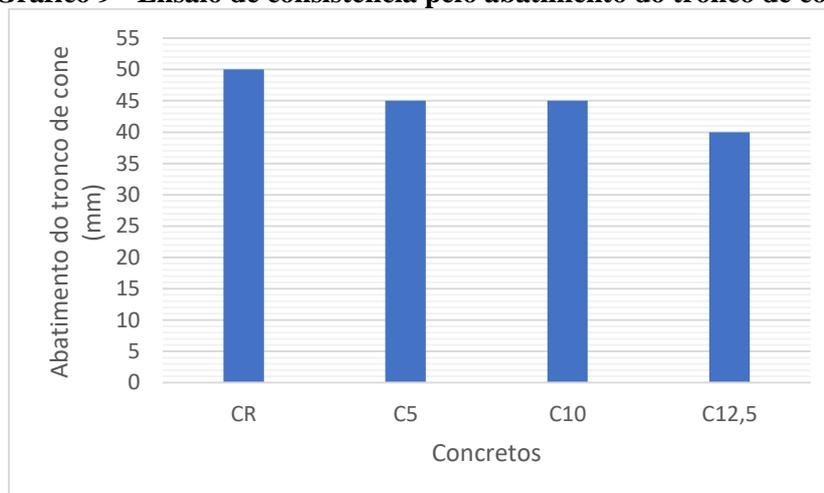
Tabela 10 – Traço em massa utilizado na confecção dos concretos

Nomenclatura do Concreto	Cimento	Água	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	RCS	% de RCS
CR	1,00	0,45	2,40	1,65	0,00	0,0%
C5	1,00	0,45	2,28	1,65	0,12	5,0%
C10	1,00	0,45	2,16	1,65	0,24	10,0%
C12,5	1,00	0,45	2,10	1,65	0,30	12,50%

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Ensaio no estado fresco

Após a produção os concretos foram transportados para realização do ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, conforme NBR 16889 (ABNT,2020). Os resultados estão apresentados no gráfico 9, salientando que foram feitas duas produções e ambas apresentaram os mesmos resultados de abatimento, sendo as médias representadas pelos mesmos valores individuais.

Gráfico 9 - Ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os concretos foram idealizados pelo método de dosagem da ABCP para abatimentos entre 40mm e 60mm, evidenciando que os resultados foram próximos aos estipulados visto que os resultados apresentaram valores entre 40mm (C12,5) e 50mm (CR). Uma questão a ser observada é a tendência de redução da trabalhabilidade desses concretos com o aumento da adição de RCS (RAVI et al., 2021). Os concretos com maiores teores de resíduo apresentaram-se com consistência mais seca do que o concreto de referência, como pode ser visualizado na figura 18. Os ensaios de MEV (Figura 16) realizados para avaliar as conchas na parte interna e externa foram importantes para o entendimento do

comportamento do concreto com resíduo, visto que a estrutura porosa da concha tende a absorver mais pasta e tornar a consistência do concreto mais seca.

Figura 18 – Slump test a) Concreto de Referência sem RCS; b) Concreto com 10% de RCS



Fonte: Acervo pessoal.

4.6 Blocos de concreto para pavimentos

Para determinar o adensamento dos moldes prismáticos tem-se o Quadro 12 e o Quadro 13 oriundos da NBR 5738 (ABNT, 2015). Dessa forma, o abatimento de CR é classificado como S10 enquanto C5, C10 e C12,5 são classificados como S50 de acordo com a norma. Além disso, como o concreto é lançado em moldes com dimensões de 200mm x 100mm x 60mm, tem-se que a dimensão básica é de 100mm e o adensamento para o caso manual de apenas uma camada com 75 golpes.

Para padronizar a moldagem de todas as produções de concreto e supondo a situação de menor investimento financeiro para a produção dos blocos, houve a adaptação do procedimento normativo em que o adensamento foi realizado de forma manual com haste de socamento em duas camadas com 25 golpes cada, totalizando 50 golpes. Isso se deu por ser realizado adensamento manual na produção teste e notou-se que o concreto de referência CR ficou com consistência mais seca com maior número de golpes em relação ao CR com 50 golpes divididos em duas camadas. A figura 19 apresenta os concretos moldados após 24h e antes da desmoldagem.

Figura 19 – CR após 24h de moldagem

Fonte: Acervo pessoal.

4.7 Ensaio no estado endurecido

Com a demoldagem dos concretos após 24h, os corpos-de-prova foram colocados em tanques com a mistura de água e cal para promover cura das amostras no Laboratório de Materiais de Construção (LMC). Após 28 dias no tanque, os corpos-de-prova foram transportados para a câmara úmida como ilustrados na figura 20.

Figura 20 – Cura dos concretos a) tanques de cura; b) câmara úmida

Fonte: Acervo pessoal.

4.7.1 Análise dos pesos das amostras

As amostras após 24h de moldagem e em umidade higroscópica além das amostras após 28 dias e em condição saturada foram pesadas e todos os resultados estão dispostos no Apêndice A e no Apêndice B. As médias estão apresentadas nas tabelas 11 e 12. Nota-se que os valores médios dos pesos apresentam a tendência de quanto maior a quantidade de resíduo, menor o peso em média, já os saturados houveram alterações, principalmente por estarem saturados e variarem a absorção de água.

Tabela 11 – Pesos dos concretos após 24 horas de moldados

Parâmetro	CR	C5	C10	C12,5
Peso médio (g)	2787,1	2736,8	2724,0	2712,9
Desvio padrão	43,80	61,89	102,84	70,23
Coefficiente de variação	1,57	2,26	3,77	2,59

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 12 - Pesos dos concretos saturados após 28 dias de moldados

Parâmetro	CR	C5	C10	C12,5
Peso médio (g)	2841,3	2814,6	2784,9	2740,2
Desvio padrão	55,48	69,72	85,78	66,26
Coefficiente de variação	1,95	2,48	3,08	2,38

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7.2 Determinação da resistência característica à compressão

Os corpos-de-prova foram para a empresa especializada para o ensaio de resistência à compressão seguindo a NBR 9781 (ABNT, 2013), em que foram levadas 10 amostras de cada tipo de concreto. Os resultados dos ensaios estão apresentados na Tabela 13 e estão no ANEXO E – Resultados de resistência à compressão.

Os ensaios foram realizados na idade de 151 dias após a confecção dos concretos. A norma NBR 6118 (ABNT,2014) apresenta a equação 12 e a equação 13 para o envelhecimento que ocorre durante praticamente toda a vida útil da estrutura. As propriedades do concreto em uma idade t dependem do tipo de cimento e das condições de cura.

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) * f_{cm} \quad (12)$$

Onde: f_{cm} - é a resistência média aos 28 dias de idade; $\beta_{cc}(t)$ – função que representa a evolução da resistência no tempo; $f_{cm}(t)$ - resistência média à compressão do concreto em uma idade t dias.

$$\beta_{cc}(t) = e^{[s*\left(1-\sqrt{\frac{28}{t}}\right)]} \quad (13)$$

Onde: $\beta_{cc}(t)$ – função que representa a evolução da resistência no tempo; s – é uma variável definida pela NBR 6118 (ABNT, 2014) que para este estudo é o valor de 0,25 para cimento Portland comum (CP I) e cimento composto (CP II).

Tabela 13 – Resultados de Resistência à compressão em MPa

Amostras	CR	C5	C10	C12,5
CP1	38,7	33,7	32,4	32,5
CP2	32,2	34,9	31,7	25,4
CP3	30,9	31,5	28,7	26,6
CP4	31,6	32,9	29,7	25,1
CP5	30,0	35,8	29,8	29,3
CP6	41,1	37,1	39,2	24,4
CP7	41,0	35,6	34,8	30,4
CP8	38,8	35,6	36,0	26,4
CP9	31,1	36,6	33,8	20,5
CP10	36,6	31,0	33,1	34,9
Média (MPa)	35,2	34,5	32,9	27,6
Desvio Padrão	4,5	2,1	3,2	4,2
Coefficiente de Variação	12,7	6,1	9,8	15,4

Fonte: Resultados laboratoriais obtidos na empresa Tecomat Engenharia.

Dessa maneira, padronizando o valor de t para 151 dias, $s = 0,25$ e o $f_{cm}(151)$ sendo o valor médio determinado nos ensaios do quadro 21, tem-se o quadro 28 com os resultados da resistência à compressão média aos 28 dias calculado.

Na tabela 14, observando agora as médias das 10 amostras, pode-se notar que houve redução na resistência com o incremento de resíduo em que C5 reduziu em 2,09%, C10 em 6,99% e C12,5 em 27,54%, pelo qual os concretos CR, C5 e C10 são classificados com a classe C25 e C12,5 como C20 pela NBR 8953 – Concreto para fins estruturais (ABNT,2015).

Tabela 14 - Resistência à compressão média calculada aos 28 dias

Parâmetro	CR	C5	C10	C12,5
Média das 10 amostras aos 151 dias em Mpa	35,2	34,5	32,9	27,6
Valor médio das 10 amostras aos 28 dias em Mpa	28,1	27,5	26,2	22,0
Média de 6 amostras aos 151 dias em Mpa	38,1	35,9	34,9	30,0
Valor médio de 6 amostras aos 28 dias em Mpa	30,3	28,6	27,8	23,9

Fonte: Elaborado pelo autor.

Abrindo parênteses nos resultados das 10 amostras ensaiadas e idealizando a situação em que os 6 maiores valores são os representativos da amostra, tem-se que a redução para C5 em 6,13%, C10 em 9,17% e C12,5 em 27,00%, pelo qual os concretos C5 e C10 são classificados com a classe C25, C12,5 como C20 e CR como C30 pela NBR 8953 – Concreto para fins estruturais (ABNT,2015). Foram escolhidos os 6 maiores valores por ser a quantidade mínima pedida pela NBR 9781 (ABNT,2013) e pela diferença da precisão dos resultados estar mais associada pelo método de produção e preparo dos concretos e pelo adensamento manual adotado pela pesquisa.

4.7.3 Determinação da Absorção de água

A tabela 15 apresenta a média dos resultados obtidos em 12 amostras de cada concreto e no apêndice C possui os resultados de todas as amostras. Observando os resultados, a absorção de água aos 28 dias não corresponde a uma tendência entre a proporção de resíduo de concha da comunidade da Ilha de Deus e a absorção como apontado em outros estudos (CARDOSO, 2019; PEDROSA JUNIOR, 2022).

A NBR 9781 (ABNT, 2013) estabelece que a absorção com valor médio menor ou igual a 6 %, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7 %, a partir de ensaios realizados. Os concretos C5 e C12,5 foram os que mais aproximaram-se da norma brasileira e o C10 o que menos se adequou ao proposto.

Tabela 15 – Absorção de água aos 28 dias

Médias	CR	C5	C10	C12,5
Peso Umidade Higroscópica (g)	2787,06	2736,83	2724,04	2712,86
Peso Saturado (g)	2860,28	2837,53	2812,43	2851,67
Peso seco (g)	2683,95	2670,97	2628,08	2685,03
Absorção de água (%)	6,57%	6,24%	7,02%	6,21%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando a absorção de água do concreto de referência com os concretos com RCS, tem-se que houve redução de absorção em C5 e C12,5, em 5,38% e 5,87% respectivamente, e aumento de 6,41% para o C10.

4.7.4 Análise estatística: Resistência à compressão

A análise estatística visa avaliar se a resistência à compressão de CR é igual as resistências à compressão de C5, C10 e C12,5. A tabela 16 apresenta os dados de resistências à compressão dos concretos além dos dados iniciais para o teste de distribuição normal do teste de Shapiro-Wilk.

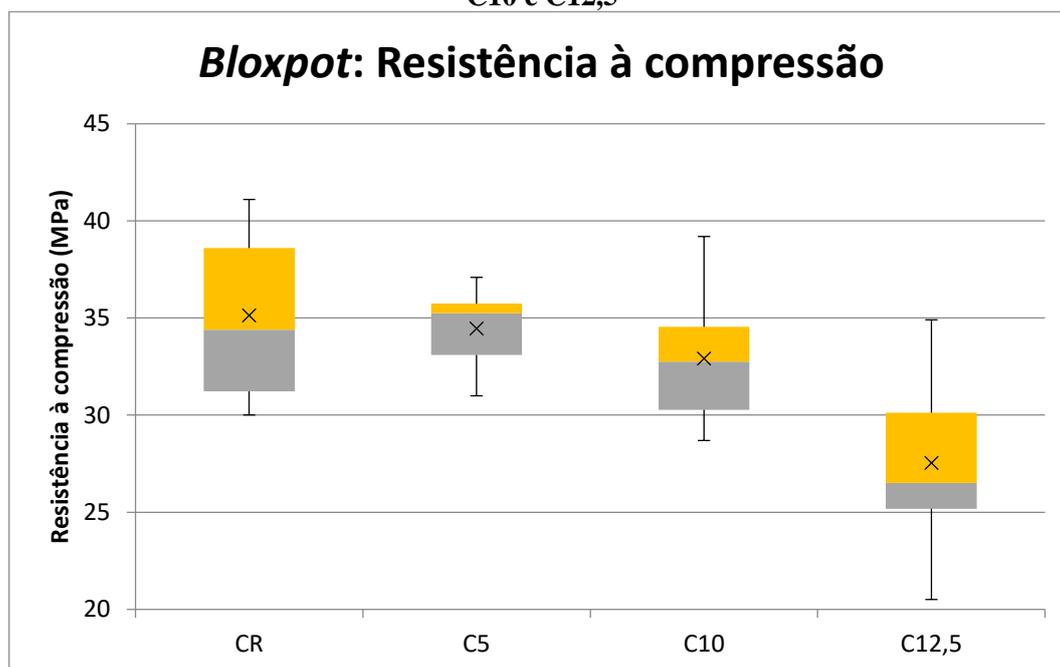
Tabela 16 – Cálculos iniciais para análise estatística

Descrição	CR	C5	C10	C12,5
Média (MPa)	35,1	34,5	32,9	27,6
Erro padrão	1,396269	0,665674	1,01618	1,342407
Mediana (MPa)	34,4	35,3	32,8	26,5
Desvio-padrão	4,41539	2,105047	3,213444	4,245062
Variância (%)	19,49567	4,431222	10,32622	18,02056
Amplitude (MPa)	11,1	6,1	10,5	14,4
Máximo (MPa)	41,1	37,1	39,2	34,9
Mínimo (MPa)	30	31	28,7	20,5
Soma (MPa)	351,3	344,7	329,2	275,5
Tamanho da amostra	10	10	10	10
Amplitude Interquartil	7,375	2,65	4,275	4,95

Fonte: Resultados obtidos através da ferramenta de cálculo Microsoft Excel com o suplemento *Real Statics*.

Com a ferramenta de cálculo Microsoft Excel e o suplemento *Real Statistics* foi construído o gráfico *bloxpot* para representar a variação dos dados de cada resultado de resistência à compressão. Pode-se notar que não há nenhum *outlier*, ou seja, valores discrepantes e que a estatística descritiva no gráfico apresenta a resistência à compressão máxima, mínima, mediana além do primeiro e do terceiro quartil.

Gráfico 10 – Estatística descritiva dos resultados de resistência à compressão de CR, C5, C10 e C12,5



Fonte: Resultados obtidos através da ferramenta de cálculo Microsoft Excel com o suplemento *Real Statics*.

Para descobrir se a distribuição dos resultados de resistência à compressão é normal, o teste de Shapiro-Wilk foi escolhido em que a hipótese adotada (H_0) os resultados possuem a distribuição normal e na hipótese alternativa (H_1) que a distribuição não é normal. Ou seja, para a hipótese adotada H_0 , tem-se que o p-valor deve ser maior que o nível de significância (α) definido por 5% ou 0,05 e para a hipótese H_1 o p-valor deve ser menor ou igual ao nível de significância de 5% ou 0,05. A tabela 17 apresenta os resultados obtidos do teste de Shapiro-Wilk em que todos apresentam p-valor maior do que o nível de significância de 5%, sendo-os assim de distribuição normal.

Tabela 17 – Teste de Shapiro-Wilk para resistências à compressão

Descrição	CR	C5	C10	C12,5
Estatística teste (W-Start)	0,862743	0,920946	0,961754	0,970989
p-valor	0,082201	0,364912	0,805675	0,899864
Nível de significância (α)	0,05	0,05	0,05	0,05
A distribuição é normal?	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Resultados obtidos através da ferramenta de cálculo Microsoft Excel com o suplemento *Real Statics*.

Observando os dados a serem analisados, tem-se que as resistências à compressão são amostras independentes entre o concreto de referência e os demais concretos com RCS. Para este teste tem-se as possibilidades de utilizar o teste t paramétrico e o teste U de Mann-Whitney. Para atender aos requisitos do teste t paramétrico, os dados devem possuir homogeneidade de variâncias. Utilizando novamente a ferramenta de cálculo Microsoft Excel com o suplemento *Real Statistics*, foi realizado o teste de Levene para verificar a homogeneidade das amostras. A tabela 18 apresenta os resultados em que a hipótese adotada (H_0) a variância dos dados possui homogeneidade e a hipótese alternativa (H_1) não possui homogeneidade nos dados. Ou seja, o p-valor do teste de Levene sendo superior a 0,05 (com nível de significância de 5%) a hipótese adotada H_0 é aceita e p-valor sendo inferior ou igual a 0,05 a hipótese alternativa H_1 é a aceita.

Tabela 18 – Teste de Levene para homogeneidade das resistências à compressão

Tipo	CR e C5	CR e C10	CR e C12,5
p-valor das médias	0,000752	0,498961	0,058479
Há homogeneidade de variância? p-valor > 0,05?	Não	Sim	Sim

Fonte: Resultados obtidos através da ferramenta de cálculo Microsoft Excel com o suplemento *Real Statics*.

Devido aos dados possuírem homogeneidade de variâncias entre CR e C10 e entre CR e C12,5, o teste t paramétrico foi utilizado, pois os dados além da homogeneidade possuem distribuição normal e ausências de *outliers*. Já para CR e C5 não houve a homogeneidade de variância, sendo o teste U de Mann-Whitney adotado e ausências de *outliers*.

Para o teste U de Mann-Whitney, a hipótese adotada (H_0) foi que a mediana da resistência à compressão de CR é igual a mediana da resistência à compressão de C5 e a hipótese alternativa (H_1) foi que as medianas das resistências são diferentes. A tabela 19 demonstra que a hipótese adotada H_0 é significativa para CR e C5.

O teste U para duas amostras independentes mostrou que a substituição em 5% de agregado miúdo natural por resíduo de concha de sururu no bloco de pavimento intertravado de concreto em comparação ao concreto de referência sem substituição tem resultados iguais em mediana para a resistência à compressão.

Tabela 19 – Teste de Mann-Whitney para duas amostras independentes

Teste U de Mann-Whitney	CR	C5
Tamanho da amostra	10	10
Mediana	34,4	35,25
Somatório	108,5	101,5
U	46,5	
p-valor	0,820463099	
A hipótese H_0 é significativa? P-valor>0,05?	Sim	

Fonte: Resultados obtidos através da ferramenta de cálculo Microsoft Excel com o suplemento *Real Statics*.

Para o teste T de amostras independentes, a hipótese adotada (H_0) foi que a média da resistência à compressão de CR é igual a média da resistência à compressão de C10 e C12,5, onde a hipótese alternativa (H_1) foi que as médias das resistências são diferentes. A tabela 20 demonstra que a hipótese adotada H_0 é significativa para CR e C10 enquanto a hipótese alternativa é significativa para CR e C12,5.

Tabela 20 – Teste T para amostras independentes entre as resistências à compressão

Teste T amostra independente	CR e C10	CR e C12,5
Valor de T	1,279749	3,913449
Grau de liberdade	18	18
p-valor	0,216883	0,001018
A hipótese H_0 é significativa? P-valor>0,05?	Sim	Não

Fonte: Resultados obtidos através da ferramenta de cálculo Microsoft Excel com o suplemento *Real Statics*.

O teste t para amostras independentes mostrou que a substituição em 10% de agregado miúdo natural por resíduo de concha de sururu no bloco de pavimento intertravado de concreto em comparação ao concreto de referência sem substituição tem em média resultados iguais para a resistência à compressão. Ou seja, o valor de t com 18 graus de liberdade é maior do que o nível de significância. Já para a substituição com o teor de resíduos em 12,5%, de forma análoga, não tem em média resultados iguais para a resistência à compressão, sendo a média de C12,5 inferior à média de CR.

4.7.5 Quadro geral com os resultados obtidos no estudo

Dessa maneira, tem-se as tabelas 21 e 22 contendo os resultados gerais obtidos por CR, C5, C10 e C12,5 com os ensaios realizados no estudo, além do comparativo com diferentes normas técnicas internacionais de pisos intertravados de concreto.

O gráfico 11 correlaciona os valores de resistência à compressão e o peso dos pisos intertravados. Nota-se que com o aumento do teor de resíduo, há a diminuição do valor absoluto de resistência à compressão e do peso do piso intertravado, como encontrado em trabalhos com concretos adensados manualmente.

Tabela 21 – Resultados do estudo

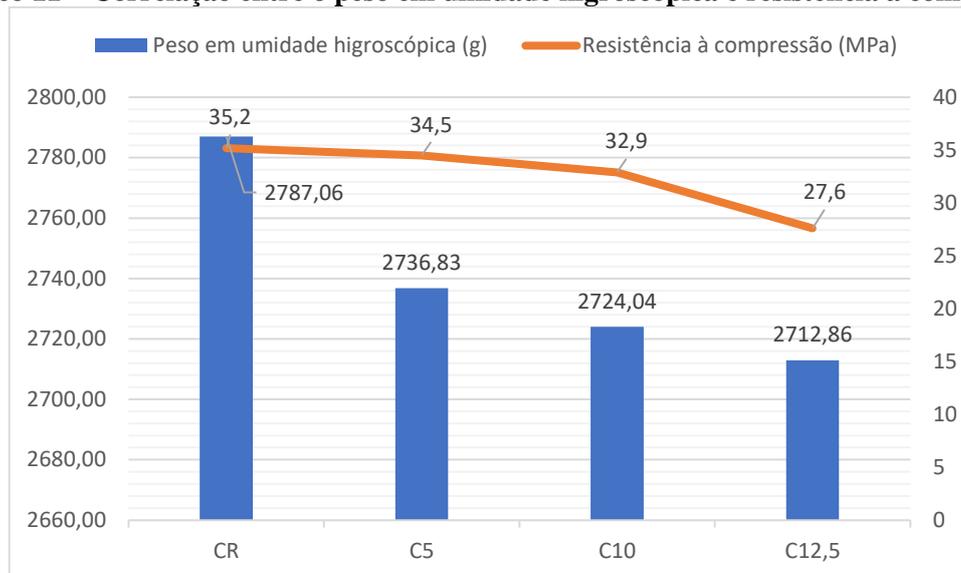
Parâmetro	CR	C5	C10	C12,5
Peso Umidade Higroscópica (g)	2787,06	2736,83	2724,04	2712,86
Peso Saturado (g)	2860,28	2837,53	2812,43	2851,67
Peso seco (g)	2683,95	2670,97	2628,08	2685,03
Absorção de água (%)	6,57%	6,24%	7,02%	6,21%
Média das 10 amostras aos 151 dias (MPa)	35,2	34,5	32,9	27,6
Valor médio calculado pela NBR 6118 das 10 amostras aos 28 dias (MPa)	28,1	27,5	26,2	22,0
<i>Slump test</i> (mm)	50	45	45	40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 22 – Comparativo dos resultados com as normas

Norma	Resistência à compressão (MPa)	Conformidade com a norma	Absorção de água (%)	Conformidade com a norma
NBR 9781 (ABNT, 2013)	> 35MPa (tráfego leve); > 50 MPa (tráfego pesado)	CR (tráfego leve)	< 6%	Não houve conformidade
SANS 1058 (2009)	> 25 MPa (tráfego leve); > 35 MPa (tráfego pesado)	Todos (tráfego leve) e CR (tráfego pesado)	< 6,5%	C5 e C12,5
ASTM C936 (2012)	> 55 Mpa	Não houve conformidade	< 5%	Não houve conformidade
A231.2-95	> 50 Mpa	Não houve conformidade	-	Não houve conformidade

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 11 – Correlação entre o peso em unidade higroscópica e resistência à compressão

Fonte: Elaborado pelo autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ter dado celeridade no processo de beneficiamento, a etapa de apiloamento das conchas reduziu a quantidade de resíduo utilizado nos concretos em comparação ao método utilizado por Cardoso (2019). Há a necessidade de novos estudos para a etapa de moagem utilizando o liquidificador, como tempo necessário no equipamento e a quantidade ideal por porção para a atingir a granulometria adequada. Novas propostas poderão ser utilizadas para diminuir a perda de material e que haja celeridade no processo de secagem em estufa.

Outro critério a ser observado está na possibilidade dos trituradores utilizados na etapa de moagem. Pensando em produções de larga escala, a utilização de liquidificadores com capacidade limitada inviabiliza a produção de grandes quantidades no beneficiamento do RCS. O tipo de moagem interfere no índice de forma do RCS, que pode ser fator na formação de maior espaçamento entre os grãos do concreto. Isso tende a acarretar maior proporção de vazios no concreto com conseqüente aumento na absorção de água e menor resistência mecânica.

Observando os corpos-de-prova produzidos em formato de piso intertravado, nota-se que o método de dosagem da ABCP foi eficiente para a confecção dos concretos dentro da proposta do trabalho. A utilização do cimento do tipo CP II Z32, a relação água/cimento adotada e a não utilização de aditivos químicos (como superplastificantes) na mistura são alguns dos fatores que podem ter conduzido os resultados encontrados de resistência à compressão e absorção de água.

Os pesos das amostras apresentaram a tendência de quanto maior a substituição de agregado miúdo natural por RCS menor a massa do piso intertravado de concreto e menor a resistência à compressão. Os pisos intertravados são constantemente manejados pelos trabalhadores em diferentes etapas, como preparo, transporte e assentamento, conforme NBR 15953 (ABNT, 2011). Esse é um dado importante observando os riscos pelo esforço físico exercido pelo trabalhador ao manusear os pisos intertravados do concreto.

Buscando referências em normas internacionais, tem-se diferentes parâmetros para os pisos intertravados como a SANS 1058 (2009) da África do Sul que apresenta a

resistência à compressão para tráfegos leves superior a 25MPa, sendo o critério atendido pelos concretos CR, C5 e C10, e absorção de água inferior a 6,5%, tornando os concretos C5 e C12,5 atendidos e o CR muito próximo do ideal, como demonstra a Tabela 22. Dessa maneira, os pisos intertravados de concreto no estudo podem ser produzidos para regiões com pouco tráfego, como passagens para pedestres e estacionamentos. Esse tipo de situação é o encontrado na Comunidade da Ilha de Deus, sendo indicada a utilização do resíduo de concha de sururu para a pavimentação do local.

Analisando a proposta de substituição, nota-se que há viabilidade do RCS ser incorporado em materiais cimentícios em que houve pouca redução na resistência à compressão nas proporções até 10% de RCS em relação ao concreto de referência e menor absorção de água em C5 e C12,5 também em relação a CR. A análise estatística foi importante para apresentar os dados dos resultados e corroborar com as substituições propostas. Dessa forma, visando um ambiente mais sustentável, com menos utilização de materiais naturais e com maior incorporação de resíduos, a proporção de 10% é a mais indicada para a substituição.

Por fim, o reuso de resíduos de casca de sururu além fornecer uma destinação ambientalmente mais adequada para a comunidade da Ilha de Deus, possibilita o uso de pisos intertravados de concretos sustentáveis com alto impacto social e ecológico.

6. RECOMENDAÇÕES A TRABALHOS FUTUROS

- Aprofundar sobre o método de beneficiamento focando na celeridade das etapas e em diferentes métodos de moagem visando produções em larga escala;

- Avaliar os percentuais de resíduos utilizados nas dosagens. Houve uma diferença significativa nos resultados dos concretos com adição de resíduo entre 10% e 12,5% sendo interessante variar mais séries entre 0% a 10%

- Observar a possibilidade de obtenção de concretos celulares ou concretos autoadensáveis com resíduos de casca de sururu;

- Propor combinações de substituições de resíduos entre agregado miúdo e aglomerante em diferentes séries de análises.

- Propor a substituição de resíduos entre agregado graúdos.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, P. S. X. de **Blocos intertravados coloridos para pavimentação com incorporação de resíduos de cerâmica vermelha em prol da redução de pigmentos**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro., 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: AGREGADOS PARA CONCRETO- Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: CIMENTO PORTLAND: Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: – Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953**: Pavimento intertravado com peças de concreto — Execução. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16137**: Ensaio não destrutivos - Identificação de materiais por teste por pontos, espectrometria por fluorescência de raios X e espectrometria por emissão óptica Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 14**: Cimento Portland - Análise química - Método de arbitragem para determinação de dióxido de silício, óxido férrico, óxido de alumínio, óxido de cálcio e óxido de magnésio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 15**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de resíduo insolúvel. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 16**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 18**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: AGREGADOS – Determinação da massa unitária e dos espaços vazios. Rio de Janeiro, 2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65**: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2002.

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

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

BACCHI, A. V.; ALEXANDRE, J.; XAVIER, G. C. de; AZEVEDO, A. R. G. de; MONTEIRO, S. N. Dosage of interlocking paving with ornamental rock waste: An experimental design approach, particle packing and polluting potential. **Case Studies in Construction Materials** **15**. e00596. 2021.

BIRIANE, M. E.; BARBACHI, M. State of the art review on recycled mussel shell waste in concrete and mortar. **Innovative Infrastructure Solutions**. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00394-9>.

Brasil. Resolução CONAMA No 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, no.307. 17 de julho de 2002.

Brasil. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2010a.

Brasil. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2010b.

CAETANO, J. A.; SCHALCH, V.; PABLOS, J. M.. Characterization and recycling of the fine fraction of automotive shredder residue (ASR) for concrete paving blocks production. **Clean Technologies and Environmental Policy**. 835-847p. 2020.

CANTARELLI, V. de O. **Pavimento em piso intertravado de concreto**. 2013. 71 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

CARDOSO, A. S. **Avaliação do comportamento de compósitos cimentícios produzidos com conchas de sururu**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Pernambuco, Recife, p. 120. 2019.

CARVALHO JUNIOR, A. N. de. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CAVALCANTI, D. U. **Utilização da concha de sururu (*mytella falcata*) na remoção de corantes de solução aquosa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, p. 89. 2020.

FAGUNDES, T. F. S. da; SILVA, L. B. da. Potential use of shellfish waste: a review. **Research, Society and Development**. v. 11, n.3. 11p. 2022.

FEDIUK, R.; AMRAN, M.; VATIN, N.; VASILEV, Y.; LESOVIK, V.; OZBAKKALOGLU, T. Acoustic Properties of Innovative Concretes: A Review. **Materials** **2021**. 2021, v. 14, p. 398. <https://doi.org/10.3390/ma14020398>

FIRIOTI, C. F. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FOTI D, CAVALLO D (2018) Mechanical behavior of concretes made with non-conventional organic origin calcareous aggregates. **Construction and Building Materials** **179**. p100–106. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.042>

FRASÃO, A. V. **Aplicação de fibras de coco e fibras poliméricas em concreto para pisos intertravados**. 2017. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

JAMSHIDI A et al. State-of-the-art of interlocking concrete block pavement technology in Japan as a post-modern pavement. **Construction and Building Materials** **200**. 713-755p. 2019.

MAURY, M. B.; BLUSMENSCHHEIN. **Produção de cimento: IMPactos à saúde e ao meio ambiente. Sustentabilidade em Debate** - Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, jan/jun 2012.

MELO, C. V. A. de. **Avaliação e determinação de parâmetros para otimização de esqueleto granular em atendimento à autoadensabilidade de concretos**. 2019. 246 f. Tese (Doutorado em Materiais) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Materiais, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

OLOFINNADE, O.; MORAWO, A., OKEDAİRO O., KIM, B. Solid waste management in developing countries: Reusing of steel slag aggregate in eco-friendly interlocking concrete paving blocks production. **Case Studies in Construction Materials** **14**. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00532>

PATIL. A. R.; SHEETAL. B. S. Feasibility of sustainable construction materials for concrete paving blocks: A review on waste foundry sand and other materials. **Materials Today: Proceedings** **43**. 1552-1561p. 2021.

PECEÑO, B.; ARENAS, C.; ALONSO-FARIÑAS, B.; LEIVA, C. Substitution of Coarse Aggregates with Mollusk-Shell Waste in Acoustic-Absorbing Concrete. **American Society of Civil Engineers**. 2019. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002719.

PEDROSA JUNIOR, M. C. **Utilização de resíduo de concha de sururu da comunidade pesqueira Ilha de Deus em substituição Parcial à areia na fabricação de peças de piso Intertravado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade de Pernambuco, Recife, p. 83. 2022.

QUINTELA, D. U. **Utilização da concha de sururu (*Mytella falcata*) na remoção de corantes de solução aquosa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, p. 88. 2020.

RAVI, M.; MURUGESAN B.; JEYAKUMAR, A.; RAPARTHI K. A review on utilizing the marine biorefinery waste in construction raw materials to reduce land pollution and enhance green environment. **Advances in Materials Science**, Vol. 21, No. 3 (69), 2021. DOI: 10.2478/adms-2021-0017

RECIFE. Lei nº 14.511/1983 - Define Diretrizes para o Uso e Ocupação do Solo, e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pe/r/recife/leiordinaria/1983/1451/14511/lei-ordinaria-n-14511-1983-define-diretrizes-para-o-uso-e-ocupacao-do-solo-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 4 abr. 2022.

RECIFE. Secretaria de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Relatório Ilha de Deus: 02/2017. Recife, 2017. 12 p.

REIS, M. J.; COLLARES, E. G.; REIS, F. M. D. Technological assessment of tailings from quartzite mining sites in Alpinoópolis (Minas Gerais–Brazil) as aggregates in concrete block paving (CBP). **Bull Eng Geol Environ** **77**. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1015-6>

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET-67. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998

SANTOS, A. L. S. F. dos. **Análise da viabilidade técnica da substituição parcial do cimento na argamassa pelo pó da casca de sururu beneficiada**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade de Pernambuco, Recife, p. 61. 2019.

SILVA, B. C. L. da. **Avaliação de piso intertravado de concreto de cimento Portland branco pigmentado com resíduos de borracha.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, São Paulo, p. 121. 2019.

SILVA, A. L. da. **Reaproveitamento do resíduo da pesca de moluscos bivalves na construção civil: uma revisão de literatura.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade de Pernambuco, Recife, p. 45. 2022.

VASCONCELOS, C. V. S. A. de. **Reologia de concretos autoadensáveis utilizando o reômetro ICAR.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal de Alagoas, Maceió, p. 62. 2019.

ZHANG, Y. et al. Study on engineering properties of foam concrete containing waste seashell. **Construction and Building Materials** **260**. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119896>

APÊNDICE A – Pesos das amostras aos 24h após o desmolde

Amostra	CR	C5	C10	C12,5
1	2781	2671	2745	2720
2	2840	2714	2730	2765
3	2834	2739	2745	2760
4	2831	2717	2780	2765
5	2752	2665	2685	2710
6	2793	2792	2670	2705
7	2779	2798	2410	2790
8	2762	2843	2435	2805
9	2782	2779	2485	2715
10	2743	2717	2605	2750
11	2817	2734	2605	2715
12	2808	2826	2665	2675
13	2740	2630	2635	2815
14	2744	2617	2635	2790
15	2694	2728	2680	2835
16	2731	2773	2660	2780
17	2731	2789	2660	2715
18	2805	2788	2735	2720
19	2796	2764	2655	2645
20	2745	2667	2605	2630
21	2726	2692	2670	2845
22	2764	2647	2750	2810
23	2692	2622	2765	2785
24	2709	2743	2735	2780
25	2875	2664	2660	2705
26	2860	2726	2575	2740
27	2820	2720	2735	2701
28	2800	2765	2700	2708
29	2800	2760	2740	2668
30	2800	2765	2750	2745
31	2750	2710	2757	2761
32	2835	2705	2779	2742
33	2800	2790	2785	2706
34	2775	2805	2798	2772
35	2785	2715	2827	2693
36	2785	2750	2855	2633
37	2810	2715	2845	2504
38	2850	2675	2845	2566
39	2825	2815	2822	2586
40	2805	2790	2755	2629
41	2770	2835	2775	2727
42	2840	2780	2853	2729
43	2800	2715	2785	2811
44	2810	2720	2806	2693
45	2780	2645	2810	2698
46	2825	2630	2817	2660
47	2850	2845	2810	2662
48	2730	2810	2809	2659
49	-	2785	2825	2556
50	-	2780	2783	2564
51	-	2705	2748	2604
52	-	2740	2783	2700
53	-	-	2774	-
54	-	-	2747	-

APÊNDICE B – Pesos saturados com superfície seca aos 28 dias

(continua)

Amostra	CR	C5	C10	C12,5
1	2832,5	2802,3	2812,7	2798,2
2	2890,2	2724,8	2799,8	2836,6
3	2879,7	2885,1	2804,8	2834,3
4	2881,6	2756,7	2838,9	2842,2
5	2798,6	2811,4	2752,5	2786,1
6	2844,3	2788,9	2741,3	2783,0
7	2831,3	2833,7	2517,4	2862,1
8	2810,2	2731,0	2537,8	2885,6
9	2832,2	2845,7	2684,6	2788,9
10	2796,4	2709,5	2585,2	2817,5
11	2859,0	2854,7	2673,8	2783,6
12	2854,0	2837,0	2736,2	2750,3
13	2790,7	2844,4	2704,9	2883,6
14	2794,0	2841,0	2727,8	2862,2
15	2741,6	2887,3	2748,5	2911,3
16	2776,0	2771,6	2732,1	2851,3
17	2780,0	2823,9	2741,3	2786,8
18	2850,4	2821,5	2802,9	2795,2
19	2848,1	2878,4	2723,2	2726,0
20	2787,0	2764,2	2677,7	2710,2
21	2773,5	2895,0	2743,4	2915,4
22	2810,1	2778,4	2817,9	2885,5
23	2739,0	2871,8	2833,2	2856,7
24	2757,5	2823,2	2805,6	2857,9
25	2947,3	2850,2	2797,5	2778,3
26	2926,6	2695,3	2731,2	2819,9
27	2881,8	2930,2	2826,7	2761,2
28	2860,7	2682,5	2643,0	2766,7
29	2876,5	2948,6	2820,5	2718,4
30	2869,6	2771,9	2803,2	2793,2
31	2819,7	2865,9	2792,7	2812,6
32	2896,8	2816,4	2771,9	2793,2
33	2672,4	2867,7	2788,2	2761,4
34	2845,4	2772,3	2798,2	2818,0
35	2849,4	2836,4	2804,3	2752,4
36	2853,4	2827,1	2827,9	2701,3
37	2882,3	2897,0	2832,8	2608,4
38	2921,7	2831,6	2842,7	2654,4
39	2895,8	2915,2	2872,6	2684,4
40	2874,3	2843,5	2903,1	2713,2
41	2837,0	2717,6	2894,1	2787,3
42	2914,1	2820,7	2897,4	2804,3
43	2868,4	2740,0	2866,1	2860,0
44	2877,3	2920,6	2803,3	2755,6
45	2848,1	2698,5	2826,5	2753,3
46	2893,7	2915,3	2898,3	2729,0
47	2916,2	2670,1	2825,9	2733,8
48	2797,7	2788,6	2846,6	2727,3
49	*	2712,6	2852,4	2658,4
50	*	2712,6	2864,1	2666,1
51	-	-	2860,5	2690,1

(conclusão)

Amostra	CR	C5	C10	C12,5
52	-	-	2854,4	2760,3
53	-	-	2868,0	-
54	-	-	2829,2	-

APÊNDICE C – Absorção de água aos 28 dias

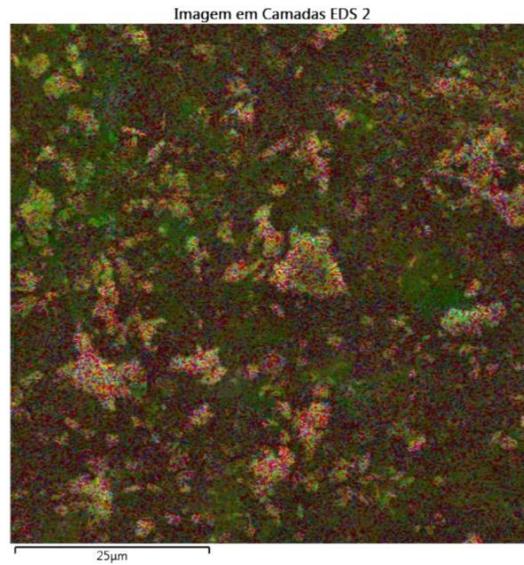
Dados	CR			C5		
	Peso Saturado (g)	Peso seco (g)	Absorção de água (%)	Peso Saturado (g)	Peso seco (g)	Absorção de água (%)
1	2897,80	2727,60	6,24%	2818,20	2665,40	5,73%
2	2881,00	2707,80	6,40%	2884,50	2721,10	6,00%
3	2812,00	2638,20	6,59%	2772,70	2615,50	6,01%
4	2852,00	2674,20	6,65%	2866,70	2693,60	6,43%
5	2883,40	2702,30	6,70%	2896,00	2716,90	6,59%
6	2835,50	2653,60	6,85%	2787,10	2613,30	6,65%
Média	2860,28	2683,95	6,57%	2837,53	2670,97	6,24%

Dados	C10			C12,5		
	Peso Saturado (g)	Peso seco (g)	Absorção de água (%)	Peso Saturado (g)	Peso seco (g)	Absorção de água (%)
1	2844,20	2693,00	5,61%	2858,40	2699,40	5,89%
2	2803,60	2616,40	7,15%	2855,80	2696,50	5,91%
3	2858,20	2663,70	7,30%	2855,80	2693,80	6,01%
4	2771,20	2581,70	7,34%	2835,00	2669,60	6,20%
5	2751,50	2563,00	7,35%	2840,50	2666,00	6,55%
6	2845,90	2650,70	7,36%	2864,50	2684,90	6,69%
Média	2812,43	2628,08	7,02%	2851,67	2685,03	6,21%

ANEXO A – Espectroscopia por energia dispersiva da parte externa do resíduo de concha de sururu

caio eds 16,08,22

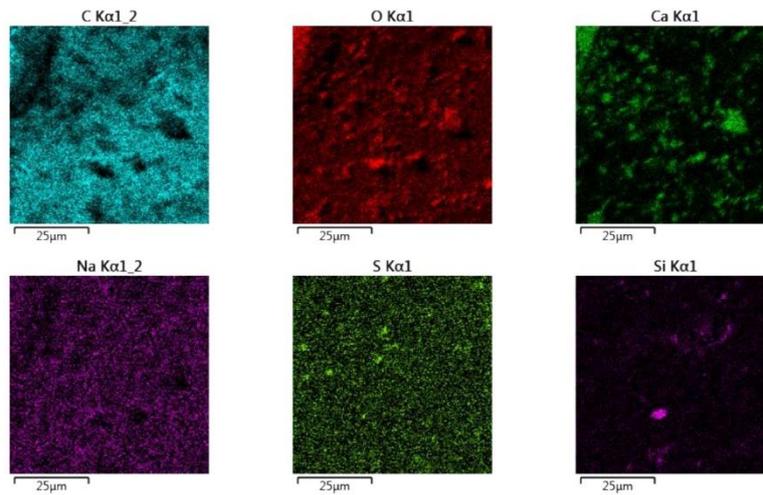
8/16/2022



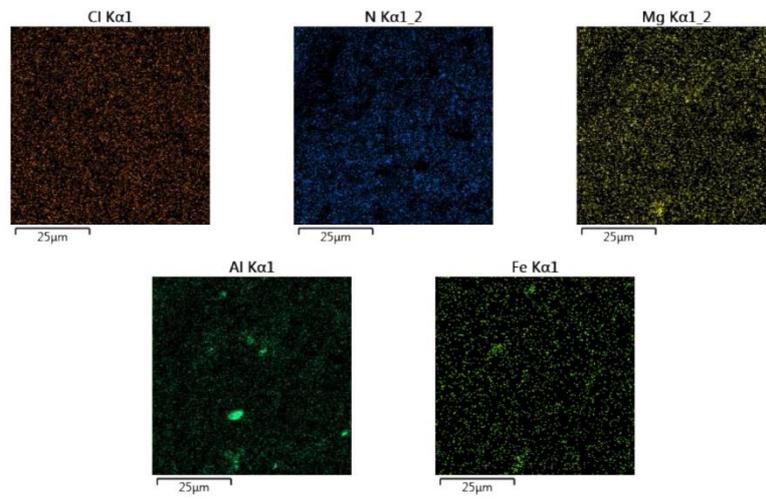
OXFORD
INSTRUMENTS
The Business of Science®

caio eds 16,08,22

8/16/2022



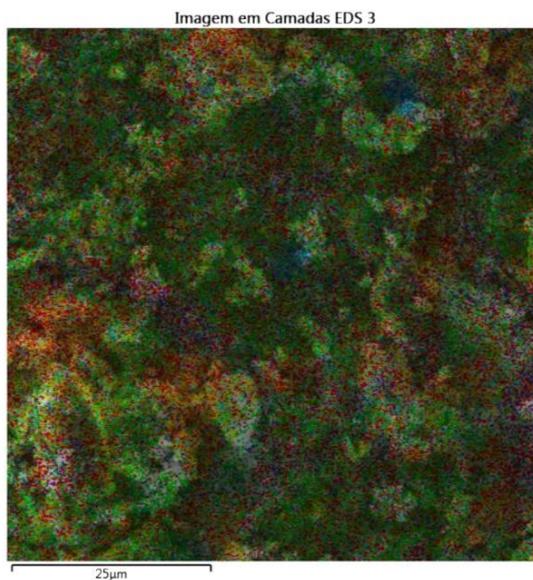
OXFORD
INSTRUMENTS
The Business of Science®



ANEXO B – Espectroscopia por energia dispersiva da parte interna do resíduo de concha de sururu

caio eds 16,08,22

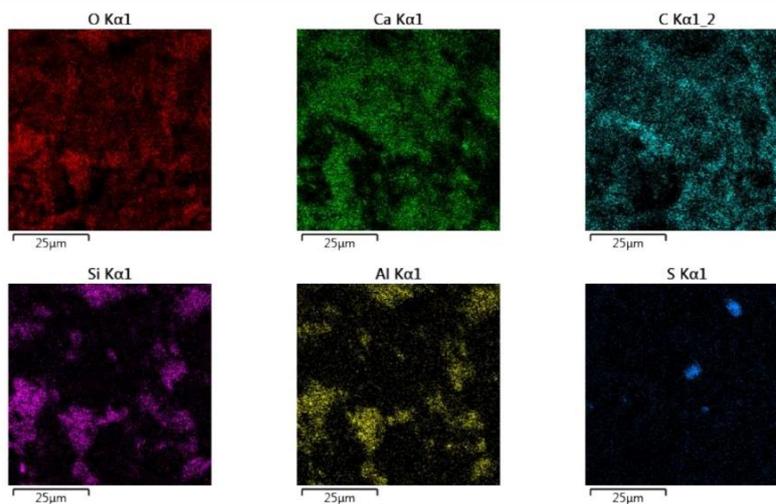
8/16/2022



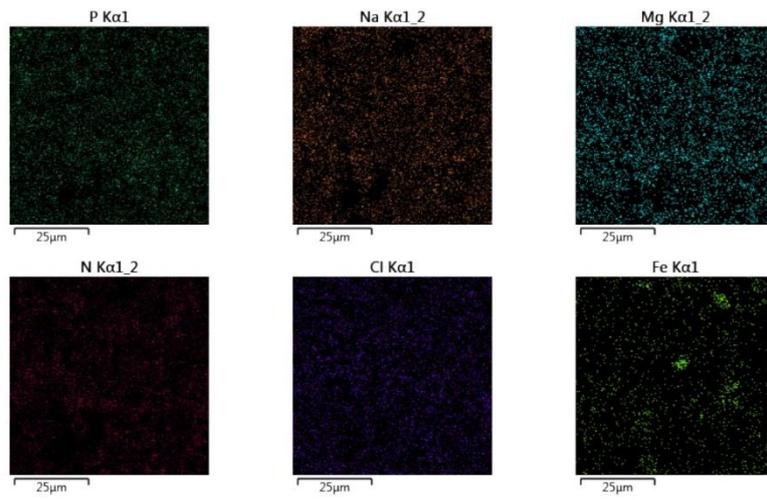
OXFORD
INSTRUMENTS
The Business of Science®

caio eds 16,08,22

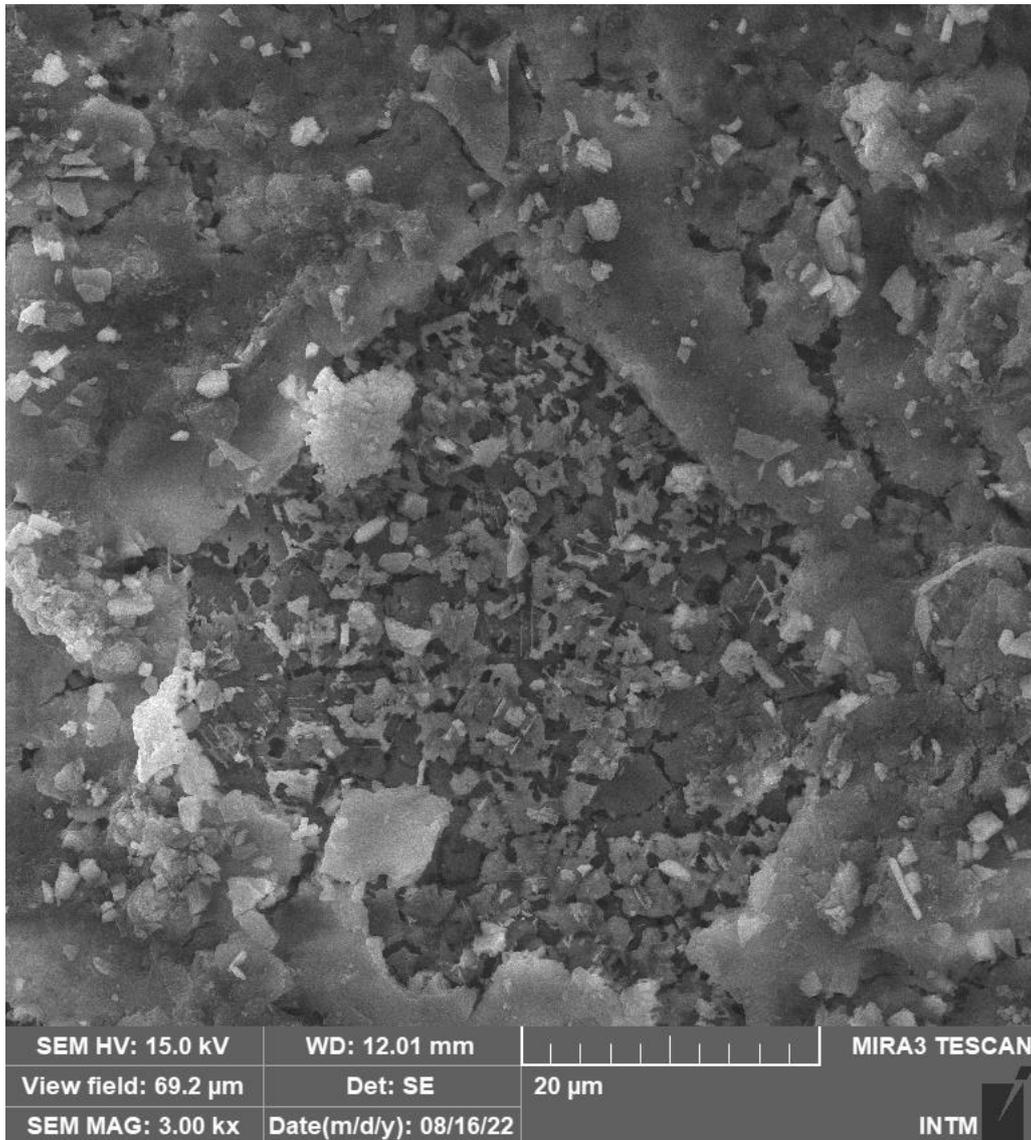
8/16/2022

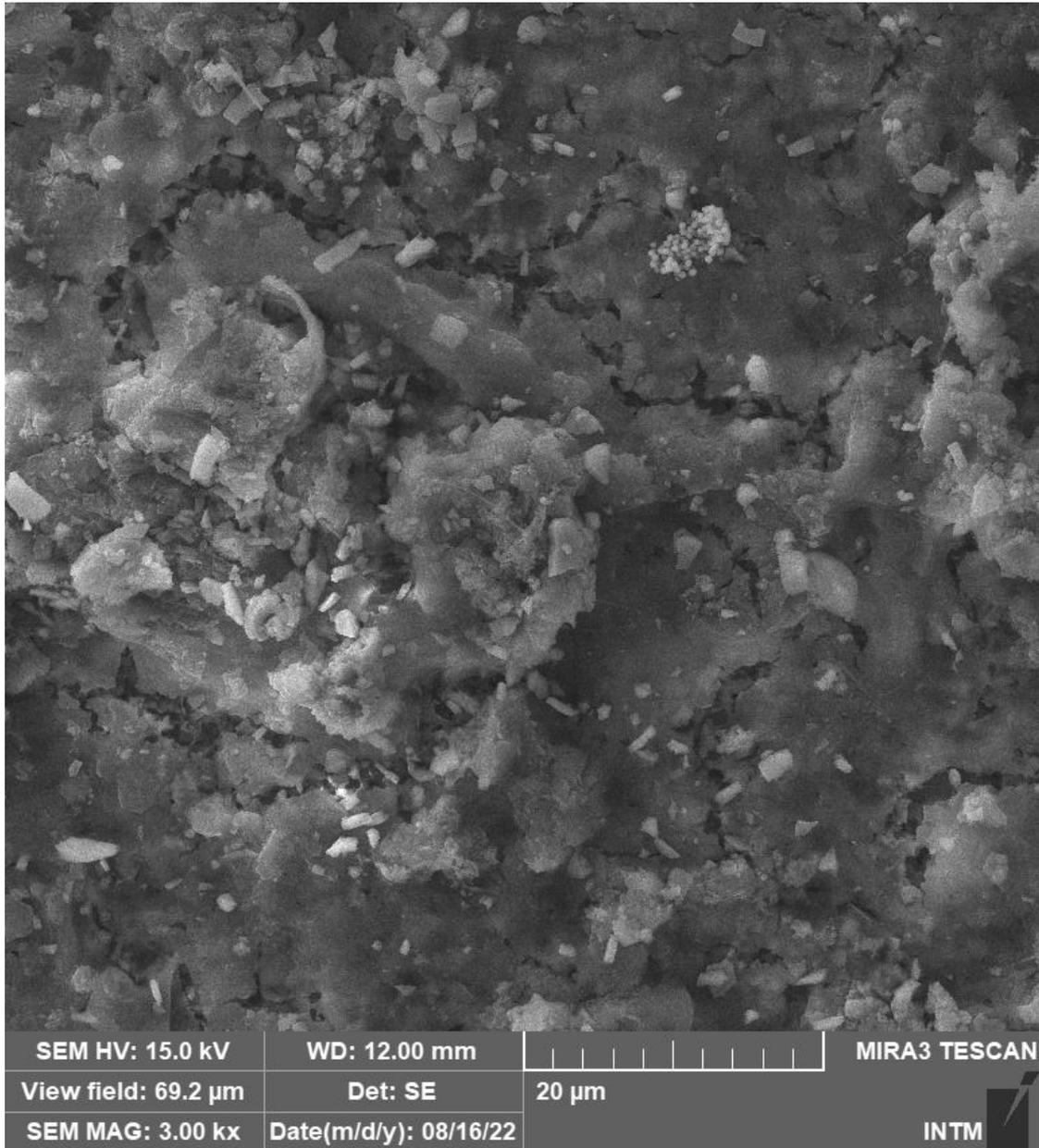


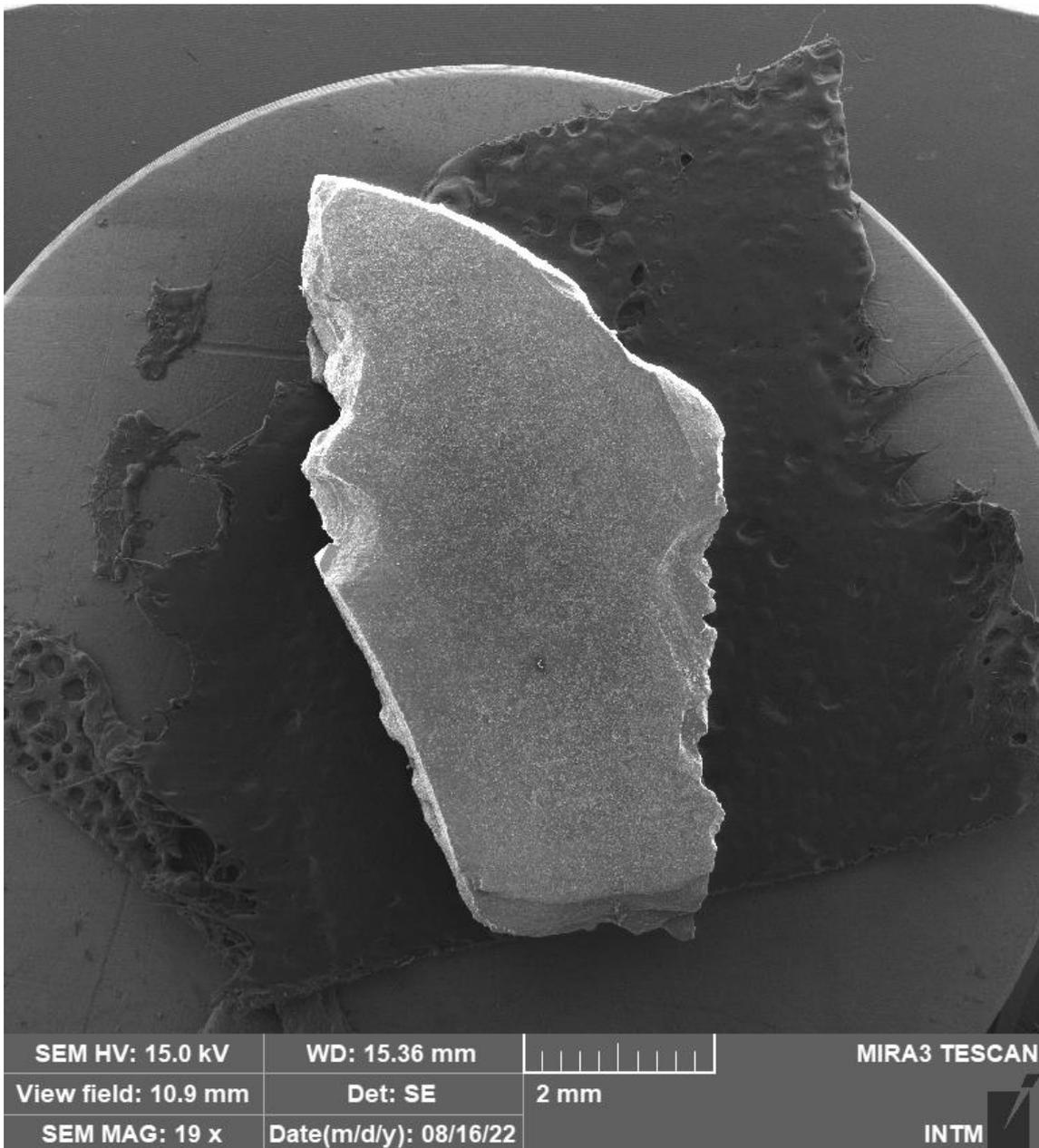
OXFORD
INSTRUMENTS
The Business of Science®

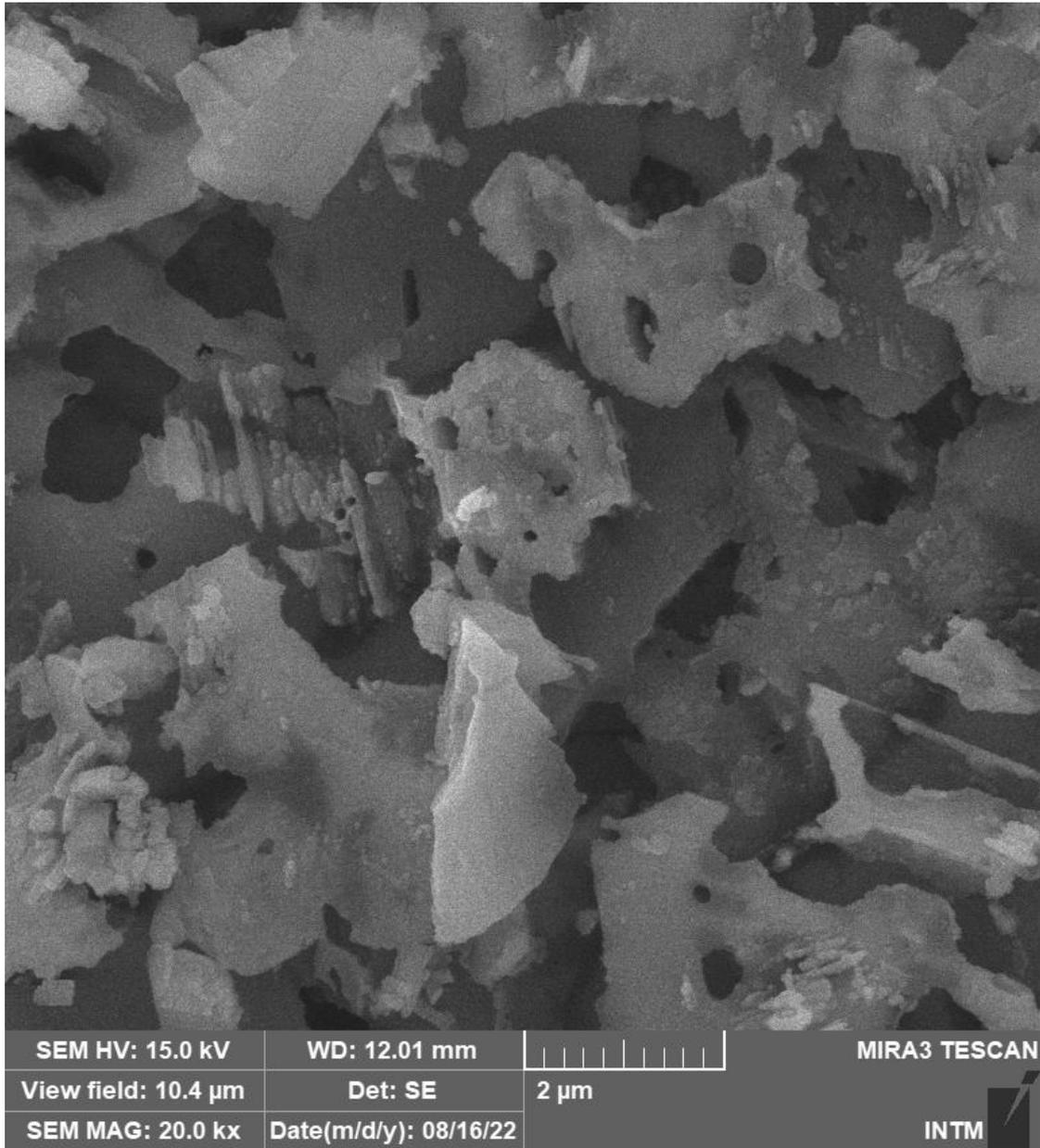


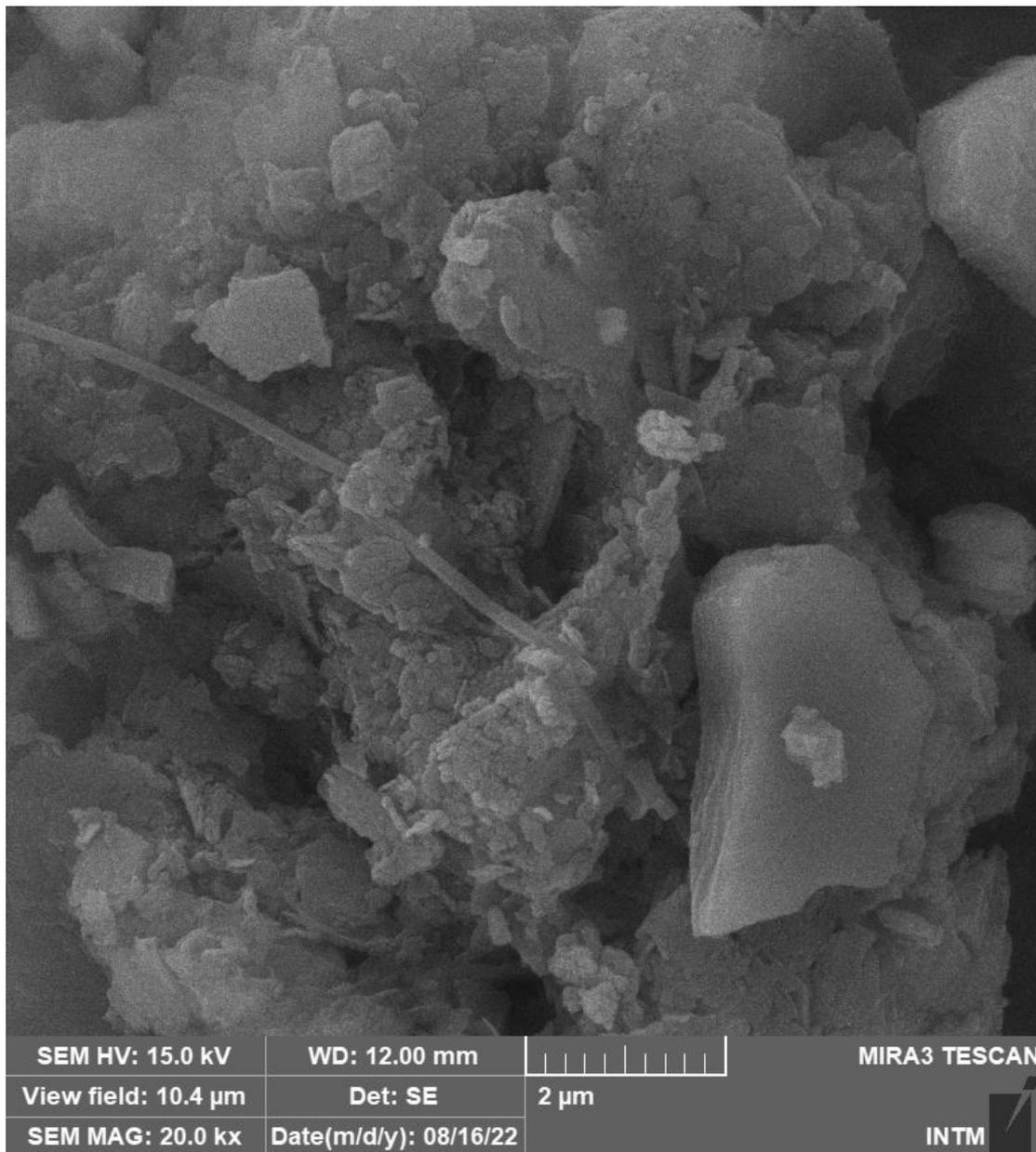
ANEXO C – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da parte interna do resíduo de concha de sururu

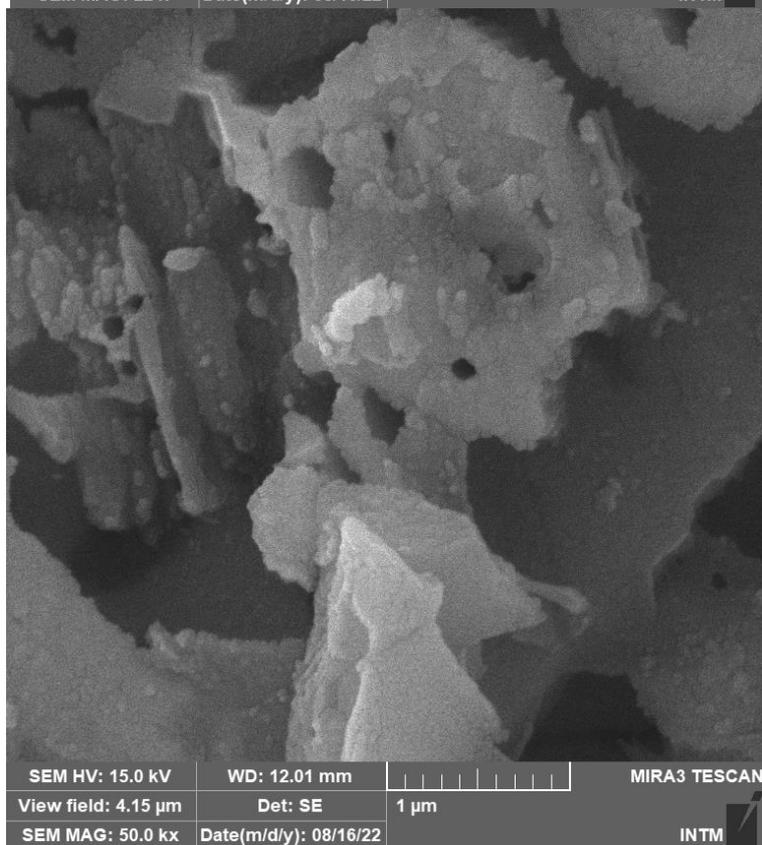
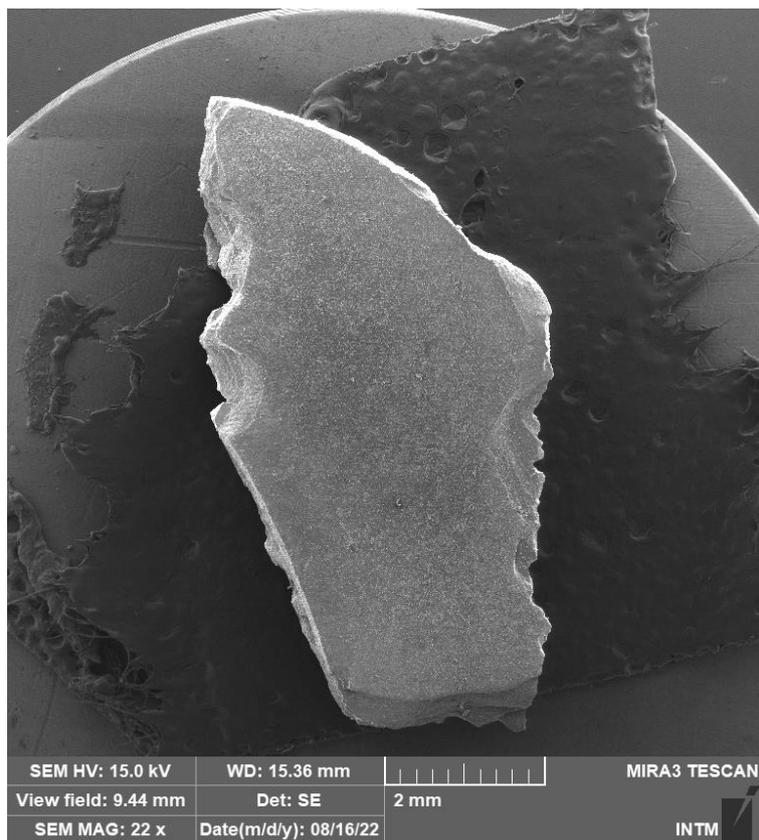


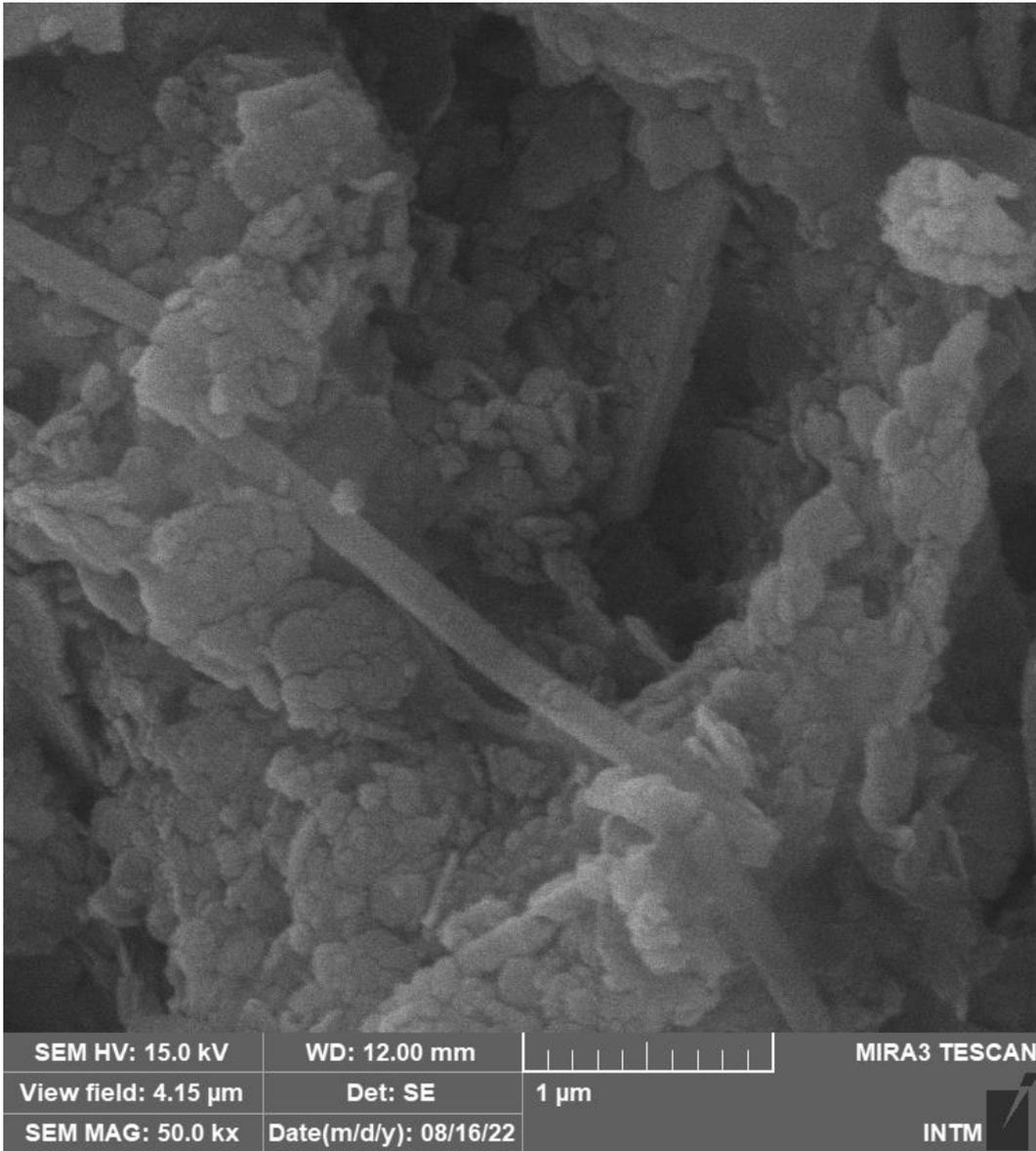




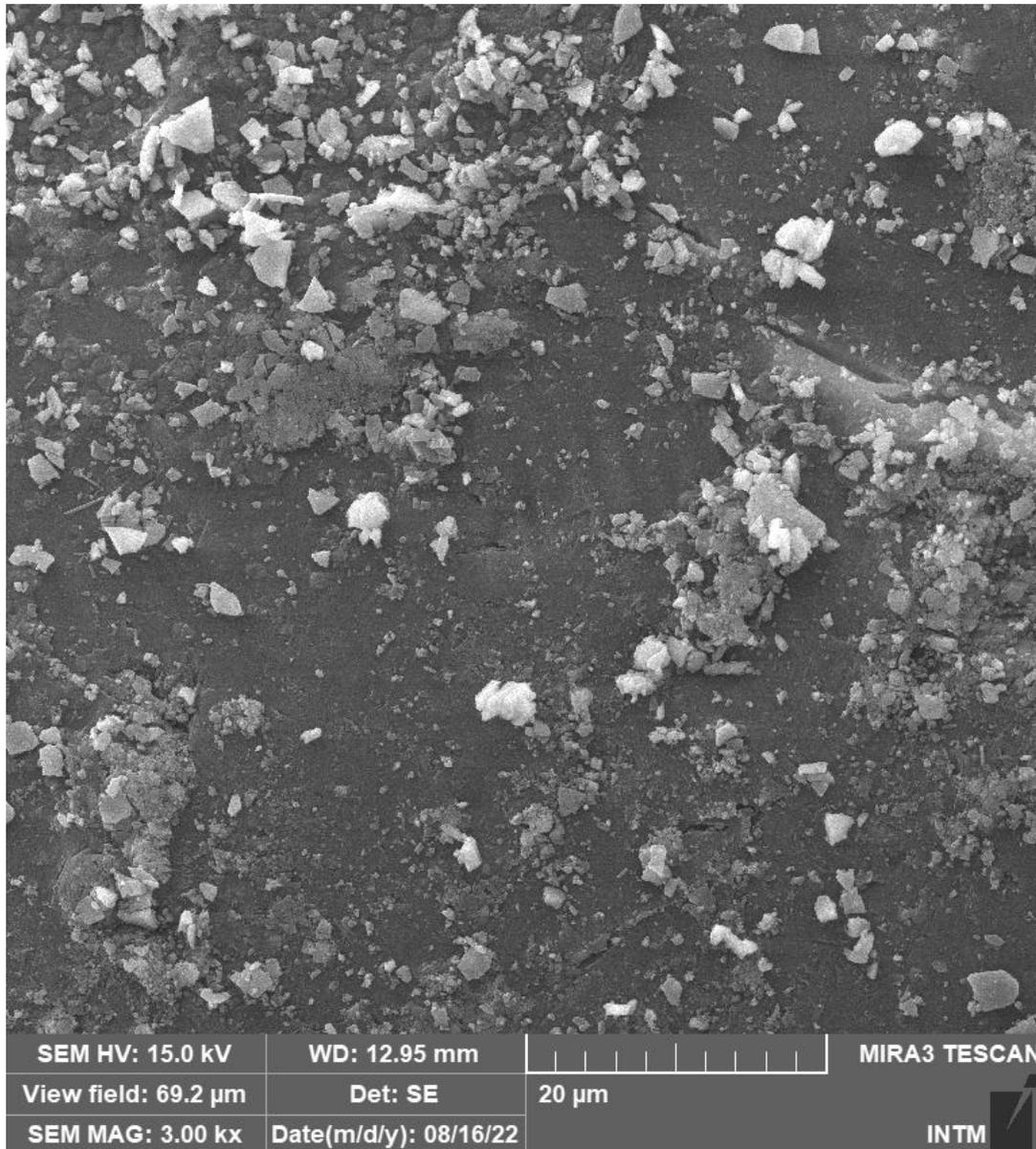


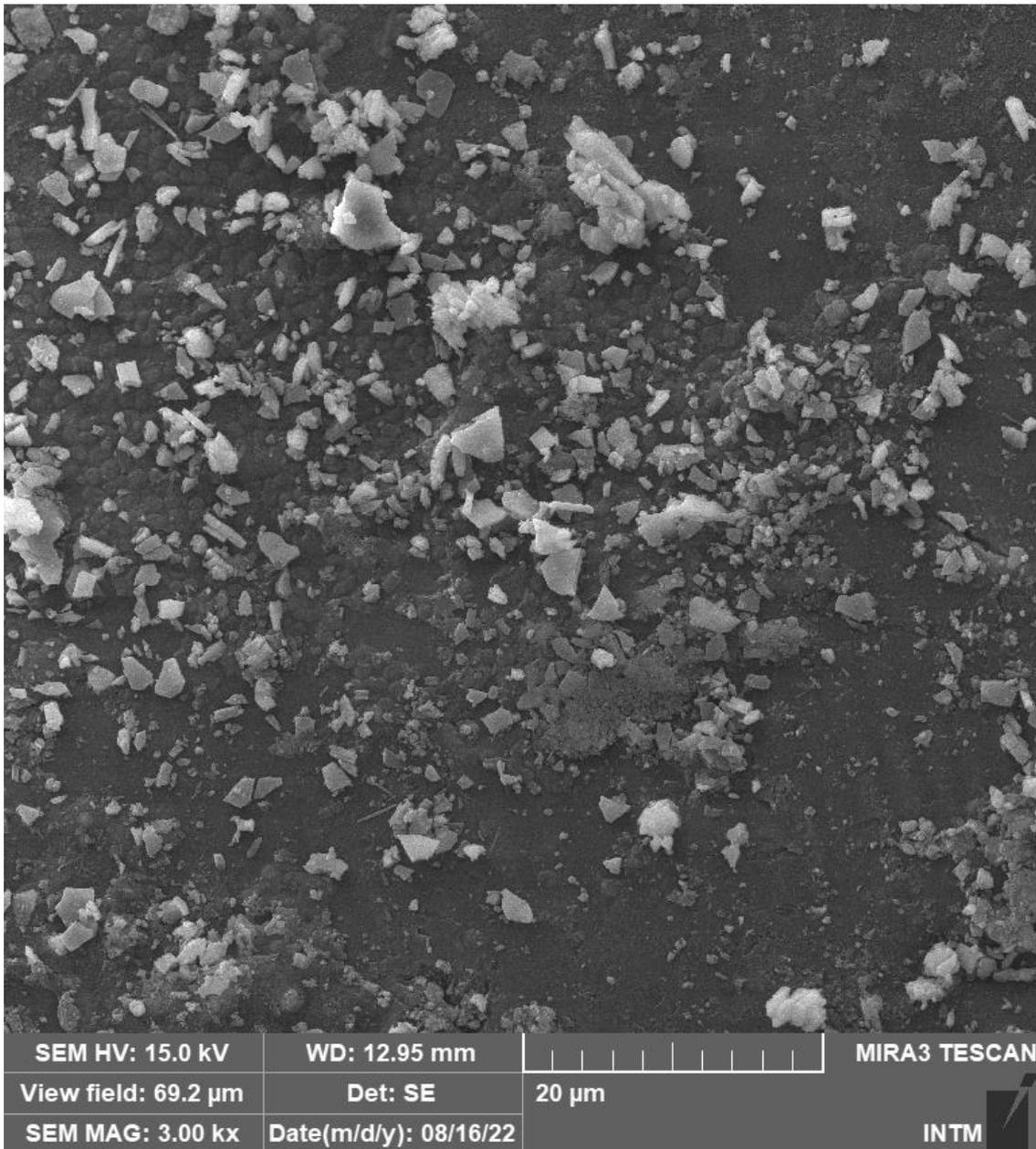


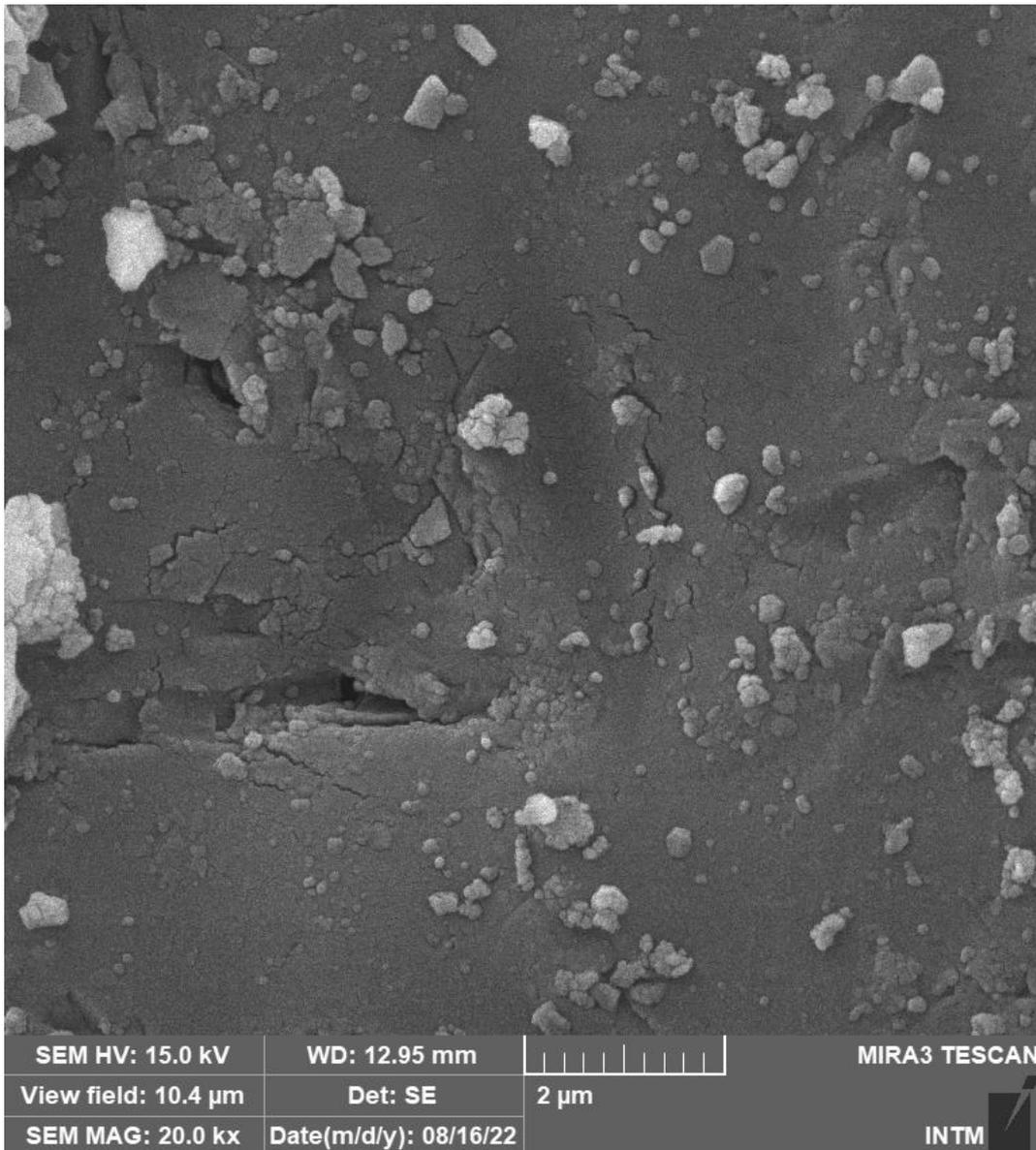


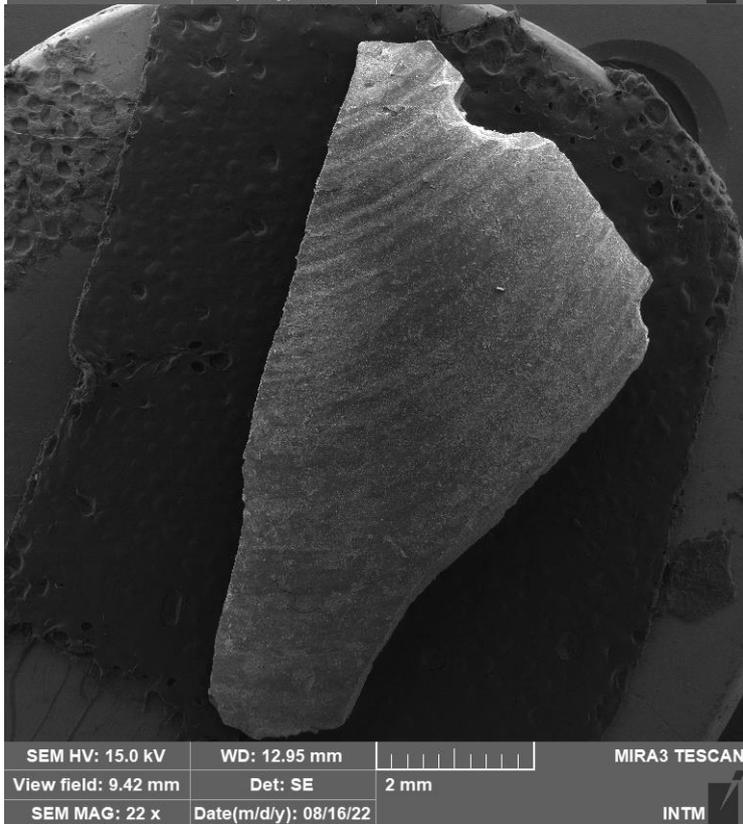
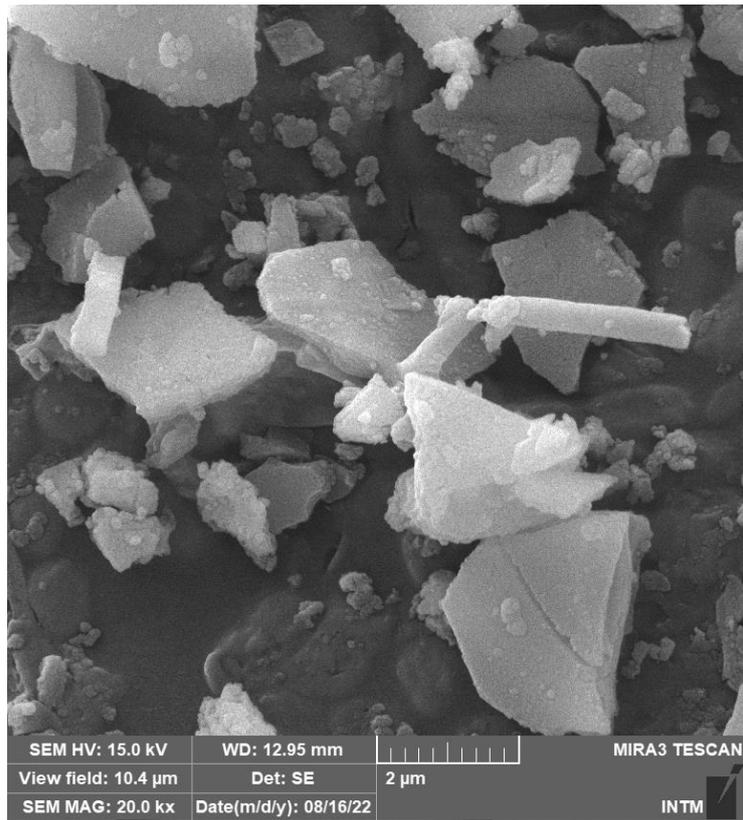


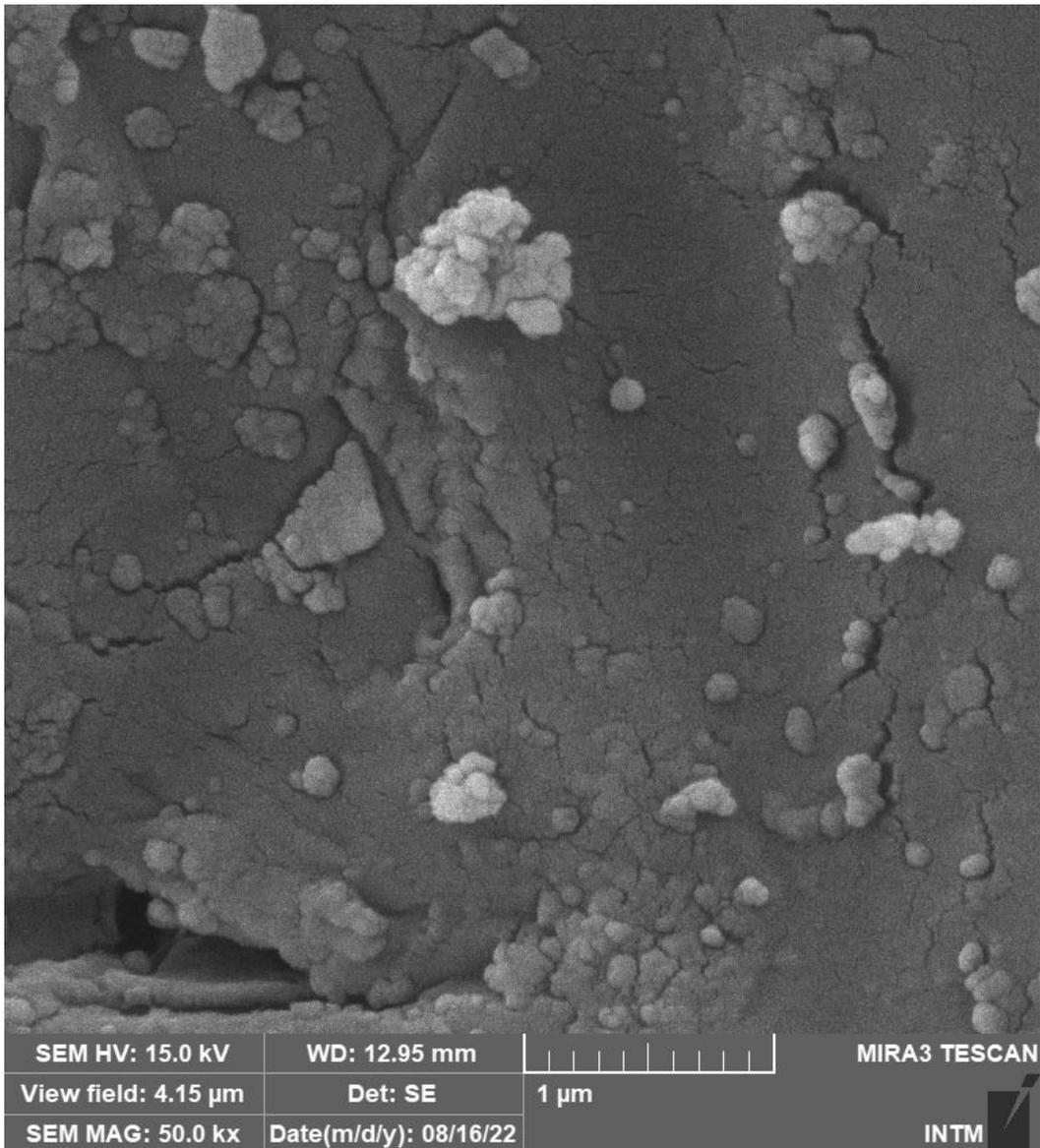
ANEXO D – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da parte externa do resíduo de concha de sururu

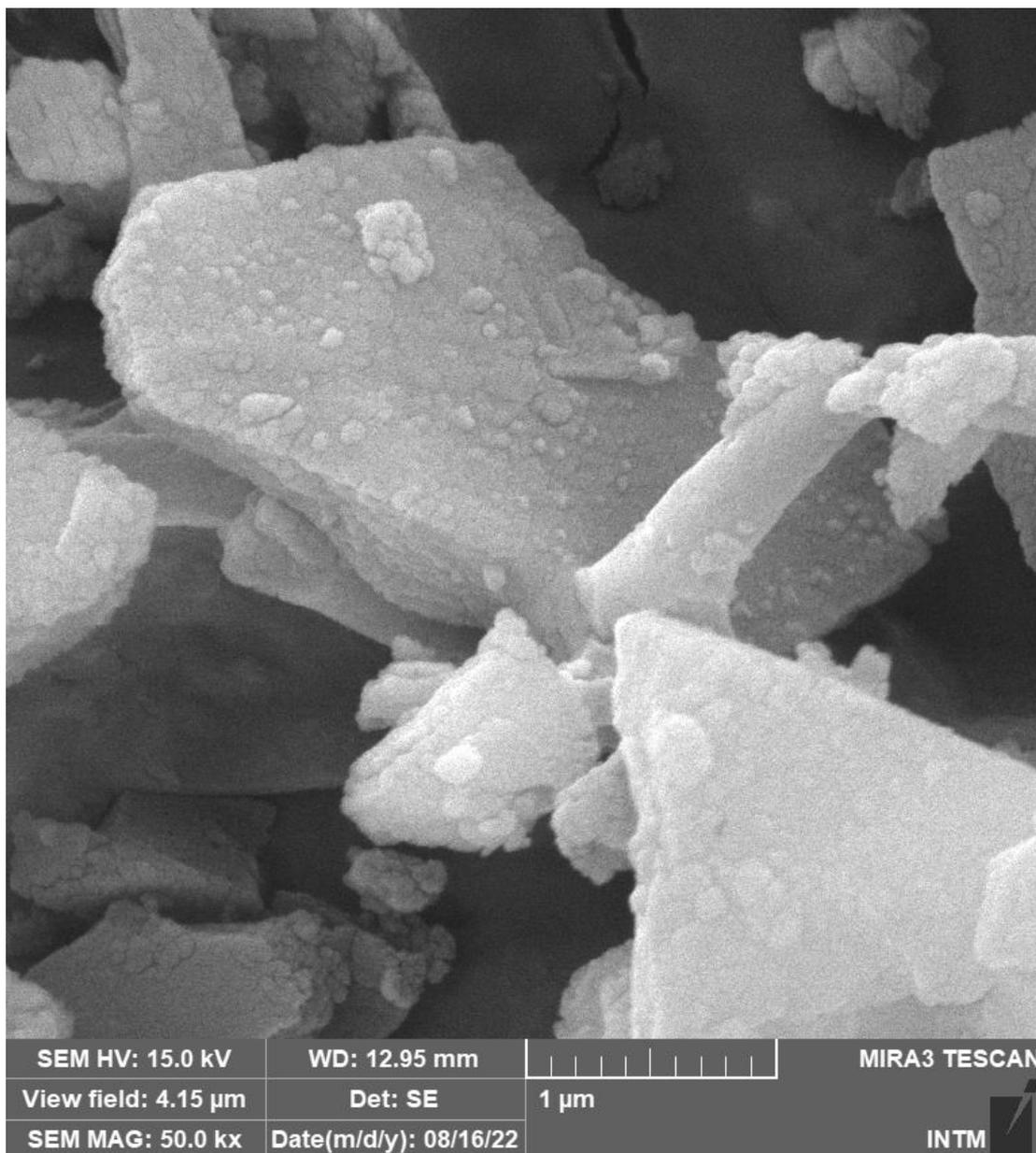












ANEXO E – Resultados de resistência à compressão



ENSAIO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

RELATÓRIO Nº. PA-013.22-00

CLIENTE: CAIO VICTOR SOUZA ABREU DE VACONCELOS

OBRA: PESQUISA RELATIVA À UTILIZAÇÃO DE CONCHA DE SURURU EM BLOCOS INTERTRAVADOS

CONSTRUTORA: CAIO VICTOR SOUZA ABREU DE VACONCELOS

DATA DE EMISSÃO: 16/03/2022

ENDEREÇO: ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO - POLI/ UPE, MADALENA, RECIFE - PE

NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimento - Especificação e método de ensaio

ENSAIO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO								
Nº DA AMOSTRA	MASSA (g)	DIMENSÕES MÉDIAS DAS PEÇAS			ÁREA DE CARREGAMENTO (mm²)	CARGA DE RUPTURA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	ÍNDICE DE FORMA
		COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)				
1	3.039	200,2	99,4	64,4	5.674,0	219.384,6	36,7	3,1
2	2.982	200,3	99,8	64,7	5.674,0	182.815,6	30,6	3,1
3	3.015	200,2	99,8	63,7	5.674,0	204.968,8	34,3	3,1
4	3.023	199,5	99,9	64,4	5.674,0	179.540,1	30,1	3,1
5	3.018	200,2	100,2	64,0	5.674,0	170.429,8	28,5	3,1
6	3.083	200,2	99,7	64,3	5.674,0	233.329,6	39,1	3,1
7	3.059	200,1	100,0	64,3	5.674,0	232.751,0	39,0	3,1
8	3.053	200,5	99,7	64,7	5.674,0	219.963,2	36,8	3,1
9	2.982	199,8	100,4	63,8	5.674,0	205.802,4	34,5	3,1
10	3.068	200,7	99,5	64,8	5.674,0	207.950,0	34,8	3,1
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-
NBR 9781:2013 - ANEXO A					RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO (MPa)			34,4
					DESVIO PADRÃO (MPa)			3,7
					RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA ESTIMADA À COMPRESSÃO (f _{pk} , est) (MPa)			31,2
INFORMAÇÕES DA AMOSTRA								
FORNECEDOR: -					LOTE: CR - CONCRETO REF.			
DATA DE MOLDAGEM: 09/10/2021		DATA DE RUPTURA: 11/03/2022		TIPO DE PEÇA: I		IDADE (DIAS): 153		
MEDIDAS INFORMADAS PELO FABRICANTE								
DIMENSÕES DA PEÇA				COMPRIMENTO (mm)		LARGURA (mm)		ESPESSURA (mm)
				200,00		100,00		60,00
OBSERVAÇÕES:								
Informado pelo cliente: 1. Resistência: 32,0 MPa. 2. Classe: A.								

NOTAS:

1. Este relatório têm resultado restrito, aplicam-se apenas às amostras enviadas pelo cliente.
2. Este relatório só deverá ser reproduzido por completo, e mediante expressa autorização do laboratório.
3. A resistência característica estimada à compressão deve ser ≥ 35 MPa para solicitações de veículos comerciais de linha, e ≥ 50 MPa quando houver tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão.
4. O índice de forma (IF) para peça de concreto utilizado em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser ≤ 4 .

PA - REV. 06 (02/06/14)

Rua Serra da Canastra, 391 Cordeiro CEP 50.640-310 Recife PE PABX 55 81 3366 6444 tecomat@tecomat.com.br www.tecomat.com.br

RESPONSÁVEL


Engº Jairo Colaço Mariz
CREA: 54.390 /PE

CLIENTE: CAIO VICTOR SOUZA ABREU DE VACONCELOS

OBRA: PESQUISA RELATIVA À UTILIZAÇÃO DE CONCHA DE SURURU EM BLOCOSINTERTRAVADOS

CONSTRUTORA: CAIO VICTOR SOUZA ABREU DE VACONCELOS

DATA DE EMISSÃO: 16/03/2022

ENDEREÇO: ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO - POLI/ UPE, MADALENA, RECIFE - PE

NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimento - Especificação e método de ensaio

ENSAIO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO								
Nº DA AMOSTRA	MASSA (g)	DIMENSÕES MÉDIAS DAS PEÇAS			ÁREA DE CARREGAMENTO (mm ²)	CARGA DE RUPTURA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	ÍNDICE DE FORMA
		COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)				
1	2.998	200,6	99,4	64,4	5.674,0	184.002,2	30,8	3,1
2	2.940	200,6	99,9	64,4	5.674,0	179.736,3	30,1	3,1
3	2.961	200,7	99,4	64,5	5.674,0	162.761,0	27,3	3,1
4	3.020	200,5	99,4	64,0	5.674,0	168.733,2	28,3	3,1
5	2.946	200,6	99,4	64,6	5.674,0	169.262,8	28,3	3,1
6	2.980	200,6	99,6	64,4	5.674,0	222.483,5	37,3	3,1
7	2.934	200,6	99,6	64,6	5.674,0	197.349,0	33,0	3,1
8	3.004	200,1	99,9	64,7	5.674,0	204.037,2	34,2	3,1
9	3.030	200,1	100,0	64,5	5.674,0	191.543,5	32,1	3,1
10	2.938	200,5	100,2	64,5	5.674,0	187.993,5	31,5	3,1
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-

NBR 9781:2013 - ANEXO A	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO (MPa)	31,3
	DESVIO PADRÃO (MPa)	3,0
	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA ESTIMADA À COMPRESSÃO (f _{pk, est}) (MPa)	28,6

INFORMAÇÕES DA AMOSTRA
FORNECEDOR: - **LOTE:** C10-CONC.10% DE RCS

DATA DE MOLDAGEM: 11/10/2021 **DATA DE RUPTURA:** 11/03/2022 **TIPO DE PEÇA:** I **IDADE (DIAS):** 151

MEDIDAS INFORMADAS PELO FABRICANTE

DIMENSÕES DA PEÇA	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)
		200,00	100,00

OBSERVAÇÕES:

Informado pelo cliente:

- Resistência: 32,0 MPa.
- Classe: A.

NOTAS:

- Este relatório têm resultado restrito, aplicam-se apenas às amostras enviadas pelo cliente.
- Este relatório só deverá ser reproduzido por completo, e mediante expressa autorização do laboratório.
- A resistência característica estimada à compressão deve ser ≥ 35 MPa para solicitações de veículos comerciais de linha, e ≥ 50 MPa quando houver tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão.
- O índice de forma (IF) para peça de concreto utilizado em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser ≤ 4 .

RESPONSÁVEL

 Engº Jairo Colaço Mariz
 CREA: 54.390 /PE

CLIENTE: CAIO VICTOR SOUZA ABREU DE VACONCELOS

OBRA: PESQUISA RELATIVA À UTILIZAÇÃO DE CONCHA DE SURURU EM BLOCOSINTERTRAVADOS

CONSTRUTORA: CAIO VICTOR SOUZA ABREU DE VACONCELOS

DATA DE EMISSÃO: 16/03/2022

ENDEREÇO: ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO - POLI/ UPE, MADALENA, RECIFE - PE

NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimento - Especificação e método de ensaio

ENSAIO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO								
Nº DA AMOSTRA	MASSA (g)	DIMENSÕES MÉDIAS DAS PEÇAS			ÁREA DE CARREGAMENTO (mm ²)	CARGA DE RUPTURA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	ÍNDICE DE FORMA
		COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)				
1	3.009	200,5	98,9	64,5	5.674,0	191.170,8	32,0	3,1
2	2.994	200,5	98,7	64,6	5.674,0	198.182,6	33,2	3,1
3	2.958	200,5	98,3	64,8	5.674,0	178.775,2	29,9	3,1
4	2.971	200,6	99,1	64,5	5.674,0	186.875,5	31,3	3,1
5	3.052	200,6	98,7	64,8	5.674,0	202.948,6	34,0	3,1
6	3.046	200,5	98,7	64,6	5.674,0	210.401,7	35,2	3,1
7	2.975	200,2	98,5	64,3	5.674,0	201.918,9	33,8	3,1
8	3.088	200,8	98,7	64,5	5.674,0	201.820,9	33,8	3,1
9	3.032	200,4	98,6	64,4	5.674,0	207.518,5	34,7	3,1
10	3.046	200,7	98,5	64,3	5.674,0	176.058,8	29,5	3,1
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-

NBR 9781:2013 - ANEXO A	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO (MPa)	32,7
	DESVIO PADRÃO (MPa)	2,0
	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA ESTIMADA À COMPRESSÃO (f _{pk, est}) (MPa)	31,0

INFORMAÇÕES DA AMOSTRA
FORNECEDOR: - **LOTE:** C5-CONC.5% DE RCS

DATA DE MOLDAGEM: 10/10/2021 **DATA DE RUPTURA:** 11/03/2022 **TIPO DE PEÇA:** I **IDADE (DIAS):** 152

MEDIDAS INFORMADAS PELO FABRICANTE

DIMENSÕES DA PEÇA	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)
		200,00	100,00

OBSERVAÇÕES:

Informado pelo cliente:

- Resistência: 32,0 MPa.
- Classe: A.

NOTAS:

- Este relatório têm resultado restrito, aplicam-se apenas às amostras enviadas pelo cliente.
- Este relatório só deverá ser reproduzido por completo, e mediante expressa autorização do laboratório.
- A resistência característica estimada à compressão deve ser ≥ 35 MPa para solicitações de veículos comerciais de linha, e ≥ 50 MPa quando houver tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão.
- O índice de forma (IF) para peça de concreto utilizado em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser ≤ 4 .

RESPONSÁVEL

 Engº Jairo Colaço Mariz
 CREA: 54.390 /PE

CLIENTE: CAIO VICTOR SOUZA ABREU DE VACONCELOS

OBRA: PESQUISA RELATIVA À UTILIZAÇÃO DE CONCHA DE SURURU EM BLOCOSINTERTRAVADOS

CONSTRUTORA: CAIO VICTOR SOUZA ABREU DE VACONCELOS

DATA DE EMISSÃO: 16/03/2022

ENDEREÇO: ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO - POLI/ UPE, MADALENA, RECIFE - PE

NORMA(S) DE REFERÊNCIA: NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimento - Especificação e método de ensaio

ENSAIO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO								
Nº DA AMOSTRA	MASSA (g)	DIMENSÕES MÉDIAS DAS PEÇAS			ÁREA DE CARREGAMENTO (mm ²)	CARGA DE RUPTURA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	ÍNDICE DE FORMA
		COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)				
1	2.983	199,9	98,8	63,1	5.674,0	184.610,2	30,9	3,2
2	2.970	200,0	99,2	64,1	5.674,0	144.079,3	24,1	3,1
3	3.043	200,5	98,4	63,9	5.674,0	150.698,8	25,2	3,1
4	2.927	200,1	99,2	62,7	5.674,0	142.598,5	23,9	3,2
5	3.013	200,6	99,0	63,0	5.674,0	166.340,4	27,9	3,2
6	2.294	200,6	98,4	63,2	5.674,0	138.283,6	23,2	3,2
7	3.014	199,8	98,7	62,9	5.674,0	172.244,0	28,8	3,2
8	2.908	200,0	99,1	63,4	5.674,0	149.933,9	25,1	3,2
9	2.905	200,5	98,5	62,3	5.674,0	116.424,5	19,5	3,2
10	3.049	200,4	98,9	62,8	5.674,0	198.084,5	33,2	3,2
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-

NBR 9781:2013 - ANEXO A	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO (MPa)	26,2
	DESVIO PADRÃO (MPa)	4,0
	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA ESTIMADA À COMPRESSÃO (f _{pk, est}) (MPa)	22,6

INFORMAÇÕES DA AMOSTRA
FORNECEDOR: - **LOTE:** C12,5-CON.12,5% RCS

DATA DE MOLDAGEM: 10/10/2021 **DATA DE RUPTURA:** 11/03/2022 **TIPO DE PEÇA:** I **IDADE (DIAS):** 152

MEDIDAS INFORMADAS PELO FABRICANTE

DIMENSÕES DA PEÇA	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ESPESSURA (mm)
		200,00	100,00

OBSERVAÇÕES:

Informado pelo cliente:

- Resistência: 32,0 MPa.
- Classe: A.

NOTAS:

- Este relatório têm resultado restrito, aplicam-se apenas às amostras enviadas pelo cliente.
- Este relatório só deverá ser reproduzido por completo, e mediante expressa autorização do laboratório.
- A resistência característica estimada à compressão deve ser ≥ 35 MPa para solicitações de veículos comerciais de linha, e ≥ 50 MPa quando houver tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão.
- O índice de forma (IF) para peça de concreto utilizado em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser ≤ 4 .

RESPONSÁVEL

 Engº Jairo Colaço Mariz
 CREA: 54.390 /PE