

INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

ARTHUR AMARAL BATISTA TENÓRIO

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA
PRODUÇÃO DE PISO INTERTRAVADO COM AGREGADO DA CONCHA DE
SURURU**

Marechal Deodoro – AL

2023

ARTHUR AMARAL BATISTA TENÓRIO

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA
PRODUÇÃO DE PISO INTERTRAVADO COM AGREGADO DA CONCHA DE
SURURU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sheyla Karolina Justino Marques

Marechal Deodoro – AL

2023



**Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Marechal Deodoro
Biblioteca Dorival Apratto**

T312a

Tenório, Arthur Amaral Batista.

Avaliação da viabilidade técnica, econômica e ambiental da produção de piso intertravado com agregado da concha de sururu / Arthur Amaral Batista Tenório. – 2023.

132 f. : il., col.

14.1 megabytes (PDF)

Inclui bibliografia e figuras.

Apêndices: p. 91-132.

Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Marechal Deodoro, Marechal Deodoro, 2023.

Orientador: Prof^a. Dra. Sheyla Karolina Justino Marques.

1. Piso intertravado . 2. Concha de sururu. 3. Construção civil.
4. Economia circular. I. Título. II. Marques, Sheyla Karolina Justino.

CDD: 620.1

**Maria Jôse Nascimento Leite Machado
Bibliotecária – CRB 4/2125**

ARTHUR AMARAL BATISTA TENÓRIO

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE PISO
INTERTRAVADO COM AGREGADO DA CONCHA DE SURURU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Aprovado em:

Orientadora:



Documento assinado digitalmente
SHEYLA KAROLINA JUSTINO MARQUES
Data: 15/02/2024 11:30:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Sheyla Karolina Justino Marques, IFAL / *campus* Palmeira dos Índios

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente
AUREA LUIZA QUIXABEIRA ROSA E SILVA RAPOSO
Data: 15/02/2024 21:37:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Áurea Luiza Quixabeira Rosa e Silva Rapôso, IFAL / *campus* Maceió



Documento assinado digitalmente
ANA PAULA DA SILVA PERES
Data: 16/02/2024 10:40:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula da Silva Peres, IFPB / *campus* Monteiro

Marechal Deodoro – AL

2023

*Dedico este trabalho aos meus pais
Luciana e Ailton, a meu irmão Lucas e ao meu
avô Manoel.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus, por me abençoar com o dom da sabedoria e por estar sempre ao meu lado nessa trajetória.

Aos meus pais, Luciana e Ailton, por sempre acreditarem e confiarem em mim. Por todo o amor e ensinamentos que compartilharam e por sempre me levantar nos momentos de fraqueza.

Ao meu irmão Lucas, por ser minha maior fonte de inspiração e ser detentor das minhas melhores lembranças.

Aos meus primos, Filipe, Tayná, Pablo e Thulio, por serem o sinônimo de união, e nunca ter soltado a minha mão.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão às minhas professoras, Sheyla Marques e Áurea Rapôso, por todo o apoio, encorajamento e orientação que me forneceram durante a elaboração deste trabalho. Elas me ensinaram muito, compartilharam suas valiosas experiências comigo e estiveram sempre disponíveis para me ajudar. Sou eternamente grato por tudo o que fizeram por mim.

Agradeço a todos os meus amigos, que mesmo de longe estavam me apoiando e vibrando por cada conquista minha, em especial, Thamyres, Jesiele, Amanda, Thereza, Clarice, Luiz, Nikollas, Kamila, Mayara, Nívia, Lucas e Hanna.

Aos membros da banca examinadora, Áurea Luiza Quixabeira Rosa e Silva Rapôso e Ana Paula da Silva Peres, que tão gentilmente aceitaram participar e contribuir com esta dissertação.

Por fim, gostaria de expressar meu sincero agradecimento a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, tanto de forma direta quanto indireta. Registro aqui a minha gratidão por cada um de vocês.

“Não importa o que aconteça, continue a nadar”.

(WALTER, G. Procurando Nemo, 2003).

TENÓRIO, Arthur Amaral Batista. **Avaliação da viabilidade técnica, econômica e ambiental da produção de piso intertravado com agregado de concha de Sururu**. 131 f. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Campus Marechal Deodoro, Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2023.

RESUMO

Neste estudo, foi explorada a reutilização sustentável de conchas de Sururu (*Mytella falcata*) na construção civil, destacando não apenas a abordagem dos problemas ambientais resultantes do descarte inadequado, mas também a promoção de parcerias locais que geram empregos e impulsionam a economia regional. O presente invento consistiu na análise do piso intertravado com substituição parcial do agregado miúdo (areia média natural) por grãos de conchas de Sururu. Uma abordagem sustentável foi buscada, analisando a viabilidade técnica, econômica e ambiental. Foram realizadas análises físico-químicas detalhadas, incluindo Granulometria, Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX) e Análise Termogravimétrica (ATG), para caracterizar as propriedades das conchas. Ao definir o traço do concreto, foi estabelecida uma proporção em volume de 1:2,33:0,37:2,00:0,43 (cimento: areia: pó de brita: brita 0: água). Foram também examinadas diversas formulações de substituição da areia, variando entre 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10,0%. Durante os ensaios laboratoriais, os resultados atenderam às especificações técnicas de maneira favorável. A composição C-5% apresentou uma resistência à compressão de 37,87 MPa, atendendo aos requisitos técnicos estabelecidos pela norma para peças de concreto destinadas à pavimentação, que exige resistência igual ou superior a 35 MPa. Os ensaios de absorção de água demonstraram eficácia na promoção de drenagem adequada, com variações de absorção de água dentro da faixa aceitável, mantendo-se abaixo de 0,77%. Estes resultados destacaram o potencial das conchas de Sururu como uma fonte de interesse técnico, econômico e ambiental na fabricação de pavimentos intertravados. Este estudo não apenas contribuiu para o desenvolvimento de materiais técnicos inovadores no mercado de pavimentos intertravados, mas também enfatizou a importância das práticas sustentáveis na construção civil e reforça a Economia Circular.

Palavras-chave: Piso intertravado; Concha de Sururu; Construção civil; Economia Circular.

TENÓRIO, Arthur Amaral Batista. **Assessment of the technical, economic and environmental viability of the production of interlocking flooring with Sururu shell aggregate.** 131 f. 2023. Final Paper (Master's Degree in Environmental Technologies) - Campus Marechal Deodoro, Federal Institute of Alagoas, Marechal Deodoro, 2023.

ABSTRACT

In this study, the sustainable reuse of Sururu shells (*Mytella falcata*) in civil construction was explored, highlighting not only the approach to environmental problems resulting from inadequate disposal, but also the promotion of local partnerships that generate jobs and boost the regional economy. The present invention consisted of analyzing the interlocking floor with partial replacement of the fine aggregate (natural medium sand) with grains of Sururu shells. A sustainable approach was sought, analyzing technical, economic and environmental feasibility. Detailed physicochemical analyzes were carried out, including Granulometry, X-ray Fluorescence (XRF), X-ray Diffraction (XRD) and Thermogravimetric Analysis (ATG), to characterize the properties of the shells. When defining the concrete mix, a volume ratio of 1:2.33:0.37:2.00:0.43 (cement: sand: crushed stone powder: crushed stone 0: water) was established. Various sand replacement formulations were also examined, varying between 2.5%, 5.0%, 7.5% and 10.0%. During laboratory tests, the results met technical specifications favorably. The C-5% composition presented a compressive strength of 37.87 MPa, meeting the technical requirements established by the standard for concrete pieces intended for paving, which requires resistance equal to or greater than 35 MPa. Water absorption tests demonstrated effectiveness in promoting adequate drainage, with water absorption variations within the acceptable range, remaining below 0.77%. These results highlighted the potential of Sururu shells as a source of technical, economic and environmental interest in the manufacture of interlocking pavements. This study not only contributed to the development of innovative technical materials in the interlocking flooring market, but also emphasized the importance of sustainable practices in construction and reinforces the Circular Economy.

Keywords: Interlocking floor; Sururu Shell; Construction; Circular Economy.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

% - Porcentagem

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI - *American Concrete Institute*

a/c – Fator água/cimento

AG – Análise granulométrica

Al₂O₃ – Óxido de alumínio

ANP – Agência Nacional do Petróleo

ATG – Análise Termogravimétrica

BEN – Balanço Energético Nacional

Ca – Cálcio

CaCO₃ – Carbonato de Cálcio

CEC – Conselho Estadual da Cultura

CELMM – Complexo Estuarino e Lagunar Mundaú Manguaba

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética

CP – Corpo de prova

CuO – Óxido de cobre

DRX – Difração de Raios X

EC– Economia Circular

E&P – Exploração e produção

EL – Economia Linear

EUA – Estados Unidos da América

Fe₂O₃ – Óxido de ferro

FEA – Escória de forno elétrico

FRX – Fluorescência de Raios X

GCS – Grãos de Conchas de Sururu

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

K₂O – Óxido de potássio

MEV– Microscopia Eletrônica de Varredura

MnO – Molibdênio

MPA – Ministério da Pesca e Aquicultura

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

PPC – Peças Pré-moldadas de Concreto

RCO- Resíduo de conchas de ostras

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

Sc₂O₃ – Óxido de escândio

SiO₂ – Dióxido de silício

SO₃ – Trióxido de enxofre

SrO – Óxido de estrôncio

TiO₂ – Dióxido de titânio

UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sururu <i>Mytella falcata</i>	21
Figura 2 - Mapa de localização do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba.....	25
Figura 3 - Fluxograma da cadeia extrativista do Sururu.....	28
Figura 4 - Fluxo da Economia Circular	31
Figura 5 - Mapeamento do fluxo de processo do molusco e da concha.....	32
Figura 6 - Seção típica do pavimento intertravado.....	34
Figura 7 - Blocos de concreto intertravado ou pavers.....	36
Figura 8 - Pavimento Intertravado aplicado em escola pública no Agreste Alagoano.....	37
Figura 9 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	43
Figura 10 - Síntese das metas alcançadas no desenvolvimento do piso intertravado com a incorporação do grão da concha do Sururu.....	45
Figura 11 – Fluxograma do Procedimento Experimental.....	48
Figura 12 - Pescadores coletando Sururu às margens da lagoa Mundaú, Maceió-AL.....	49
Figura 13 – Fluxo do processo de limpeza e higienização.....	50
Figura 14 – Trituração da concha de Sururu em liquidificador comum.....	51
Figura 15 - Análises técnicas realizadas no subproduto.....	52
Figura 16 – Granulometria das matérias-primas (grãos das conchas de Sururu, pó de brita , areia).....	54
Figura 17 – Rompimento dos corpos de prova durante ensaio de resistência à compressão....	60
Figura 18 – Ilustração de uma possível comercialização dos grãos de Sururu.....	77
Figura 19 – Análise mercadológica da comercialização dos GCS.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aspectos socioeconômicos dos pescadores de <i>Mytella falcata</i> do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú/Manguaba.....	25
Tabela 2 - Resistência característica à compressão das peças de concreto para pavimentação.....	41
Tabela 3 - Composições utilizadas para fabricação do concreto.....	58
Tabela 4 – Pesagem dos Corpos de prova secos e úmidos.....	62
Tabela 5 – Características da areia comercializada na cidade de Palmeira dos Índios-AL.....	63
Tabela 6 – Comparativo entre os percentuais de granulometria da areia e da concha de Sururu triturada.....	67
Tabela 7 - Análise de Fluorescência de Raios X da concha de Sururu triturada.....	68
Tabela 8 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão.....	73
Tabela 9 – Resultados do ensaio de absorção de água.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aspectos socioeconômico da cadeia produtiva do Sururu no Complexo Estuarino Lagunar Mundaú/Manguaba.....	23
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise granulométrica da concha do Sururu.....	65
Gráfico 2 – Análise granulométrica da areia.....	66
Gráfico 3 – Comparativo Areia x Concha de Sururu.....	67
Gráfico 4 – Análise granulométrica do pó de brita	68
Gráfico 5 – Análise de DRX da amostra da concha de Sururu triturada.....	70
Gráfico 6 – Análise Termogravimétrica da amostra da concha de Sururu triturada.....	71
Gráfico 7 – Resultado do ensaio de resistência à compressão com 28 dias.....	74
Gráfico 8 – Resultados do ensaio de absorção de água.....	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1. JUSTIFICATIVA.....	19
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	20
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 O SURURU MYTELLA FALCATA.....	21
2.2 PRODUÇÃO E EXTRATIVISMO EM ALAGOAS.....	24
2.3 O DESCARTE DAS CONCHAS.....	29
2.4 ECONOMIA CIRCULAR E ECODESIGN.....	30
2.5 ECONOMIA CIRCULAR E O APROVEITAMENTO DAS CONCHAS DE SURURU.....	31
2.6 PAVIMENTO INTERTRAVADO.....	33
2.6.1 Definição	33
2.6.2 Blocos de Concreto intertravado	35
2.6.3 Composição do intertravado	38
2.6.4 Dosagem	38
2.6.5 Confeção do bloco de piso intertravado com a inserção de subprodutos	40
2.7 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS.....	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1 COLETA DA MATÉRIA-PRIMA.....	49
3.2. LIMPEZA E HIGIENIZAÇÃO DAS CONCHAS.....	49
3.3 TRITURAÇÃO DAS CONCHAS.....	51
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO SUBPRODUTO.....	52
3.4.1 Análise granulométrica	53
3.4.2 Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX)	55
3.4.3 Difração de Raios X (DRX)	55
3.4.4 Análise Termogravimétrica (ATG)	56
3.5 DOSAGEM DO TRAÇO.....	57
3.6 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	58
3.7 ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	59
3.7.1 Ensaio Mecânico de Resistência à compressão	59
3.7.2 Ensaio de absorção de água	60
3.8 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	62
3.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	64
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	65

4.2 ANÁLISE QUÍMICA POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X – FRX.....	68
4.3 DIFRAÇÃO DE RAIOS X – DRX.....	69
4.4 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA - ATG.....	71
4.5 ENSAIO MECÂNICO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	72
4.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	74
4.7 VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL.....	76
5 CONCLUSÕES.....	79
6 REFERÊNCIAS.....	81
APÊNDICE 1 – PEDIDO DE PATENTE.....	91
APÊNDICE 2 – CATÁLOGO TÉCNICO.....	92
APÊNDICE 3 – ARTIGO CIENTÍFICO.....	115

1. INTRODUÇÃO

O Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM) é uma área importante do estuário, localizado em Alagoas, Brasil. Segundo Ramos (2021), o CELMM compreende as lagoas Mundaú e Manguaba, que possuem área total de aproximadamente 320 km² e estão distribuídas por vários municípios da região. Essa área tem grande relevância ecológica, abrigando diversas espécies de fauna e flora, além de ser responsável pela subsistência de atividades pesqueiras e turísticas locais. Em todo o território de manguezais alagoanos, acontece a produção de peixes, crustáceos e moluscos típicos da região, como a lambreta, o maçunim e o Sururu¹, respectivamente.

Segundo Coutinho (2014), o Sururu, espécie *Mytella falcata*, pertence ao Filo Mollusca, que abrange aproximadamente 120 mil espécies, o segundo grupo de maior diversidade animal, ficando atrás apenas do grupo dos insetos. O Sururu destaca-se por ser um dos pescados mais populares encontrados na capital Maceió, apreciado tanto por moradores locais como por turistas, considerado patrimônio gastronômico do estado. Assim como as ostras, consiste em molusco bivalve, que apresenta duas conchas chamadas valvas. Encontrado na água salobra, vive em numerosas colônias e prolifera nas partes mais rasas da laguna (FERREIRA, 2019). Ainda segundo Ferreira (2019), o Sururu cresce, e engorda dentro da lama e sobrevive conforme o teor de salinidade da água, que não deve ser muito doce ou salgada, padrão encontrado nas lagoas do estado de Alagoas.

Na cadeia extrativista do Sururu, depois do pescado, o molusco, desprende-se da concha. As conchas do Sururu, quando não retornam às margens das lagoas, assoreando-as; são depositadas junto aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU); muitas vezes, em terrenos baldios ou mesmo nos canteiros centrais das avenidas, que costeiam as lagoas. Além da poluição visual, pode atrair roedores e insetos, causadores de doenças infecciosas; e, em virtude de sua característica cortante, também gera risco de acidentes (COUTINHO, 2014).

Dentro desse contexto, a fabricação de piso intertravado incorporado com os grãos das conchas de Sururu tem potencial não só de reduzir os impactos causados pelo descarte inadequado, como de viabilizar parcerias com associações e/ou cooperativas de pescadores e marisqueiros locais, gerando emprego e renda. Essa forma de produção está alinhada com os atuais modelos de economia e gestão ambiental, que substituem a abordagem de "fim de vida"

¹ Nesse trabalho, adota-se a escrita e refere-se ao molusco Sururu com letra maiúscula, por se tratar de patrimônio imaterial de Alagoas.

do produto, característica da Economia Linear (EL). Ao contrário do modelo linear, baseado na extração, fabricação, uso e descarte, a Economia Circular (EC) atribui valor contínuo ao produto, buscando minimizar desperdícios e promover a reutilização, reciclagem e recuperação de materiais. Essa abordagem visa a sustentabilidade, onde os derivados podem ser recuperados, reutilizados ou reciclados, integrando-se como insumos em novos processos (MENEZES, 2019).

Atualmente, o país experimenta demanda crescente nas políticas públicas, que exige, cada vez mais, produtos conforme às normas de qualidade existentes, além de consumidores mais exigentes em relação à busca de novos produtos. Em contrapartida, as empresas apresentam pouca oferta de produtos e muita concorrência entre as próprias indústrias de pré-moldados para cobertura e pavimentação de áreas públicas e de grande tráfego (DIAS, 2016).

Os pisos intertravados de concreto sobreviveram como alternativa viável e sustentável para pavimentação de vias, estacionamentos e calçadas. A necessidade de pavimentação rápida no pós-guerra impulsionou a fabricação industrial de peças pré-moldadas de concreto (PPC), permitindo a popularização do uso de pisos intertravados de concreto em diversas regiões do mundo (CARASEK, 2021).

Esse estudo visa avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição do agregado miúdo por grãos da concha de Sururu (GCS) na composição do concreto aplicado na produção de piso intertravado. O desenvolvimento de piso intertravado, a partir da substituição da areia pelos GCS em diferentes traços de concreto, apresenta-se como alternativa técnica para reutilização desse subproduto, em busca de mitigar os impactos ambientais causados por essa atividade.

Além dos aspectos técnicos e ambientais, o piso pode vir a contribuir com a qualidade de vida da população ribeirinha e em situação de vulnerabilidade social, por meio da potencial geração de empregos e renda, através da sua produção, da melhoria da infraestrutura da orla lagunar e também da redução de custos de produção, por se tratar da reutilização de subproduto, apresentando benefícios nas esferas socioambientais e econômicas da região.

Diante do exposto, esta pesquisa apresenta como pergunta investigativa: **Qual a viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição do agregado miúdo por grãos das conchas de Sururu na produção de piso intertravado?**

1.1. JUSTIFICATIVA

A problemática da exploração indiscriminada de matérias-primas finitas tem levado diversos pesquisadores a buscarem alternativas sustentáveis para a reutilização de subprodutos, como as conchas de moluscos bivalves, que são, rotineiramente, descartadas de maneira inadequada. Atualmente, há demanda crescente no desenvolvimento de métodos para a reinserção de subprodutos na cadeia produtiva, seja da própria indústria de origem, seja em indústrias que apresentem potencial para isso, como a da construção civil, por exemplo. Esses subprodutos são inseridos na cadeia produtiva por meio da incorporação em massa de asfalto, porcelanato e até mesmo na produção de biodiesel (RUIZ, 2020).

A legislação e as regulamentações são ferramentas que, em conjunto com a fiscalização eficiente das áreas de produção e beneficiamento do Sururu, constituem soluções para minimizar tais impactos ambientais. A instrução normativa publicada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instrução normativa nº 105 de 20 de julho de 2006, estabelece regras em relação à destinação de resíduos provenientes da atividade de cultivo de moluscos bivalves. O documento proíbe a deposição no mar de resíduos provenientes dessa atividade, como: conchas, restos de cordas, cabos e panos de rede (IBAMA, 2006).

Nessa perspectiva, a justificativa para utilização da concha do Sururu reside na possibilidade de contribuir para a transformação ambiental do subproduto por meio da agregação de valor enquanto material para a construção civil, com o intuito de implementar a Economia Circular na cadeia extrativista do Sururu.

A importância deste estudo na esfera acadêmica relaciona-se ao fato da baixa produção científica no Brasil, sobre a utilização dos grãos da concha de Sururu (GCS) na confecção de novos produtos voltados para construção civil. Esta situação caracteriza-se em oportunidade de gerar inovações tecnológicas e de transmitir conhecimento que possa subsidiar novas pesquisas relacionadas ao tema.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

- Avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição do agregado miúdo por grãos da concha de Sururu na composição do concreto para a produção de piso intertravado.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são de aspectos exploratórios, descritivos e explicativos.

- Caracterizar o subproduto da cadeia extrativista do Sururu através das análises de granulometria, análise de Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX), Termogravimetria (ATG);
- Elaborar traços com e sem a incorporação dos GCS;
- Confeccionar os corpos de prova das formulações de referência e em substituição do agregado miúdo por GCS para realização dos ensaios tecnológicos;
- Realizar os ensaios tecnológicos de resistência à compressão, e absorção de água.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido e organizado com a seguinte estrutura:

A primeira etapa apresenta ao leitor características que guiam a pesquisa como introdução, objetivo geral, objetivos específicos e justificativa.

Na segunda etapa está contida revisão bibliográfica sobre temas relevantes ao trabalho como: anatomia e reprodução do Sururu *Mytella falcata*, a cadeia extrativista do Sururu em Alagoas, descarte das conchas, Economia Circular, aproveitamento de conchas de moluscos no Brasil e no mundo, parâmetros técnicos do bloco do piso intertravado e os objetivos de desenvolvimento sustentável atingidos com a elaboração do trabalho.

A etapa três apresenta descrição dos materiais e métodos empregados na etapa experimental para confecção do bloco de piso intertravado, descrevendo de forma detalhada os processos realizados, equipamentos utilizados, ensaios e parâmetros adotados durante o desenvolvimento do produto.

Na quarta etapa são abordados os resultados experimentais da pesquisa, subdivididos de acordo com os diferentes parâmetros analisados e referenciados com os ensaios de validação contidos nas normas brasileiras vigentes.

Já a etapa cinco, apresenta as principais conclusões encontradas durante a elaboração e desenvolvimento do bloco de piso intertravado com a inserção do grão da concha do Sururu, indicando os pontos positivos e os pontos que precisavam ser aprimorados, além de sugerir caminhos para desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas ao tema.

Na sexta e última etapa, estão relacionadas todas as referências utilizadas durante a elaboração desta dissertação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O SURURU *MYTELLA FALCATA*

O Sururu (*M. falcata*) é um animal pertencente ao filo Mollusca, cujas três classes mais conhecidas incluem os polvos e lulas (Cephalopoda), os caracóis e as lesmas (Gastropoda) e as ostras, mexilhões e o Sururu, a classe Bivalvia (ALMEIDA, 2014). A principal característica da classe são os corpos comprimidos lateralmente e protegidos por duas conchas, conforme apresentado na Figura 1, chamadas valvas, articuladas na região dorsal e conectadas por ligamento elástico, possuem capacidade de aderência e fixação aos substratos, constituídos de lama ou rocha por meio do bisso (filamento proteico), onde formam colônias de até 10 metros de profundidade em zonas entre-marés (REIS, *et al.*, 2016).

Figura 1 - Sururu *Mytella falcata*



Fonte: Coutinho, 2014.

Existem, aproximadamente, cerca de 9.200 espécies vivas de moluscos bivalves, com animais que podem habitar todas as profundidades de ambientes marinhos e também muitos ambientes de água doce. As conchas desses organismos são normalmente formadas por carbonato de cálcio (BRUSCA; MOORE; SHUSTER, 2018).

A espécie *M. falcata* encontra-se distribuída, geograficamente, ao longo da costa da América, entre o México e o Equador, no Oceano Pacífico, e entre a Venezuela e a Argentina, no Atlântico (RIOS, 1994). A classificação taxonômica do *M. falcata*, segundo Mollusca Base (2022) é: Reino Animalia; Filo Mollusca; Classe Bivalvia; Ordem Mytilida; Família Mytilidae;

Gênero *Mytella*; Espécie *Mytella falcata*. Assim como outros moluscos bivalves, o Sururu caracteriza-se por ser filtrador, isto é, sua alimentação é tida por meio da captura de material particulado presente na coluna d'água (GALVÃO *et al.*, 2009). Em virtude dos seus hábitos alimentares e sua capacidade de filtração, podem acumular substâncias em seus tecidos, por isso são frequentemente utilizados como bioindicadores para a presença de metais (PEREIRA *et al.*, 2002) ou poluentes (DAVID; FONTANETTI, 2009).

O *Mytella falcata*, no Brasil, é encontrado na região Nordeste, em especial nos estados de Alagoas e Pernambuco. É muito consumido na culinária local, sendo importante produto da pesca artesanal. Além disso, o Sururu tem grande importância ecológica, servindo como alimento para diversas espécies de animais marinhos e para a manutenção da biodiversidade na região (LIMA, 2012).

No estado de Alagoas, o Sururu é encontrado em abundância e tem grande relevância na cultura e culinária local, tendo sido reconhecido como Patrimônio Imaterial de Alagoas pelo Conselho Estadual da Cultura (CEC), por meio da Resolução nº 08/2014 (ALAGOAS, 2014). O molusco possui grande representatividade socioeconômica para muitas famílias que dependem exclusivamente do extrativismo e pesca do molusco e que em diversas situações representa a única fonte de renda e alimentação (COUTINHO *et al.*, 2014).

O Sururu possui boa palatabilidade e elevado valor nutricional, pois se trata de alimento que contém proteína de alto valor biológico e de ácidos graxos poli-insaturados (LIRA *et al.*, 2004), além de apresentar micronutrientes essenciais para o metabolismo humano, como os minerais ferro, zinco e a vitamina A, entre outras qualidades nutricionais (SANTOS *et al.*, 2014).

No entanto, o Sururu enfrenta diversos problemas devido à sobrepesca e à degradação ambiental, o que tem levado à redução das populações da espécie e à diminuição da qualidade dos ecossistemas onde vive. Por isso, torna-se necessário o esforço conjunto de gestão pesqueira e ambiental para garantir a sustentabilidade da pesca de Sururu e a conservação dos ecossistemas costeiros onde a espécie vive (LIMA, 2012).

Muito se tem estudado sobre a biologia, ecologia e pesca do Sururu, com o objetivo de fornecer benefícios para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de conservação da espécie. Dentre os principais pesquisadores que contribuíram para o conhecimento sobre o Sururu, destacam-se Lima-Verde *et al.* (2012), que investigaram a estrutura populacional e a pesca do Sururu no litoral de Alagoas, e Silva *et al.* (2014), que avaliaram a relação entre a pesca do Sururu e a conservação dos manguezais na região.

O Quadro 1 reúne aspectos socioeconômicos da cadeia produtiva do Sururu no Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba, que compreende uma série de lagunas, canais e estuários interligados, formando um ecossistema costeiro único e diversificado no estado de Alagoas (COUTINHO *et al.*, 2014).

Quadro 1 - Aspectos socioeconômicos da cadeia produtiva do Sururu no Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba

SURURU <i>(Mytella falcata)</i>	DADOS	FONTE
	Principal local de extração do Sururu é a Laguna Mundaú, que corresponde a uma área de 23 Km ² .	(TAMANO <i>et al.</i> , 2015)
	As valvas dos bivalves são constituídas por proteínas, polissacarídeos e carbonato de cálcio (CaCO ₃).	(CANZI, 2011)
	O ciclo de vida do Sururu é curto com a duração de 12 meses. O período reprodutivo da espécie é ocorrido entre os meses de dezembro e maio.	(PEREIRA <i>et al.</i> , 2003)
ATIVIDADE PESQUEIRA	Em 2008 que o maçunim foi a espécie mais capturada, com 317,4 toneladas, seguida pelo Sururu, com 217,9 toneladas, e pela ostra, com 95,8 toneladas.	(ALAGOAS, 2008)
	As atividades da cadeia produtiva do Sururu possuem uma sobrecarga de trabalho superior a 12 horas diárias.	(TAMANO <i>et al.</i> , 2015)
	Tempo de extração dura cerca de 05 horas e 26 minutos. Média Diária, 18,61 latas de 20 litros, contendo Sururus inteiros. 48% dos pescadores retornam para laguna para mais extração do molusco.	
	Nas primeiras décadas deste século foram explorados 2.026.270 kg de Sururu, que resultaram em 1.136.737 kg de carne e 889.532 kg de subproduto (conchas). Em nível nacional, no período de 2007 a 2011, foram explorados 9.814.000 kg de Sururus, resultando em 5.505.654 kg de carne, 4.308.346 kg de conchas.	(TAMANO <i>et al.</i> , 2015)
REAPROVEITAMENTO DO SUBPRODUTO	97,37% dos pescadores não utilizam as conchas oriundas do processamento.	(TAMANO <i>et al.</i> , 2015)
	Com relação às quantidades de Sururus processadas pelas marisqueiras, 7,14% delas processam até duas latas de 18lt, 50,00% das marisqueiras despincam diariamente entre três e quatro latas de Sururu, 25,00% entre cinco e seis latas e 17,86% mais que seis latas	(NASCIMENTO, 2021)

	Cada lata de 18L cheia de Sururus inteiros (na concha), após processamento, resulta em média 4 kg do molusco inteiro limpo que se converterá em 2 kg de filé.	
	Considerando que elas trabalham, em média, entre 5 a 6 vezes por semana, sua produção semanal seria de 8 a 10 latas por pessoa.	
	São recolhidos diariamente 6 Ton da concha de Sururu na região do Vergel do Lago, esse subproduto representa 5% do volume total de resíduos sólidos coletados em Maceió-AL.	(PREFEITURA DE MACEIÓ, 2019)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

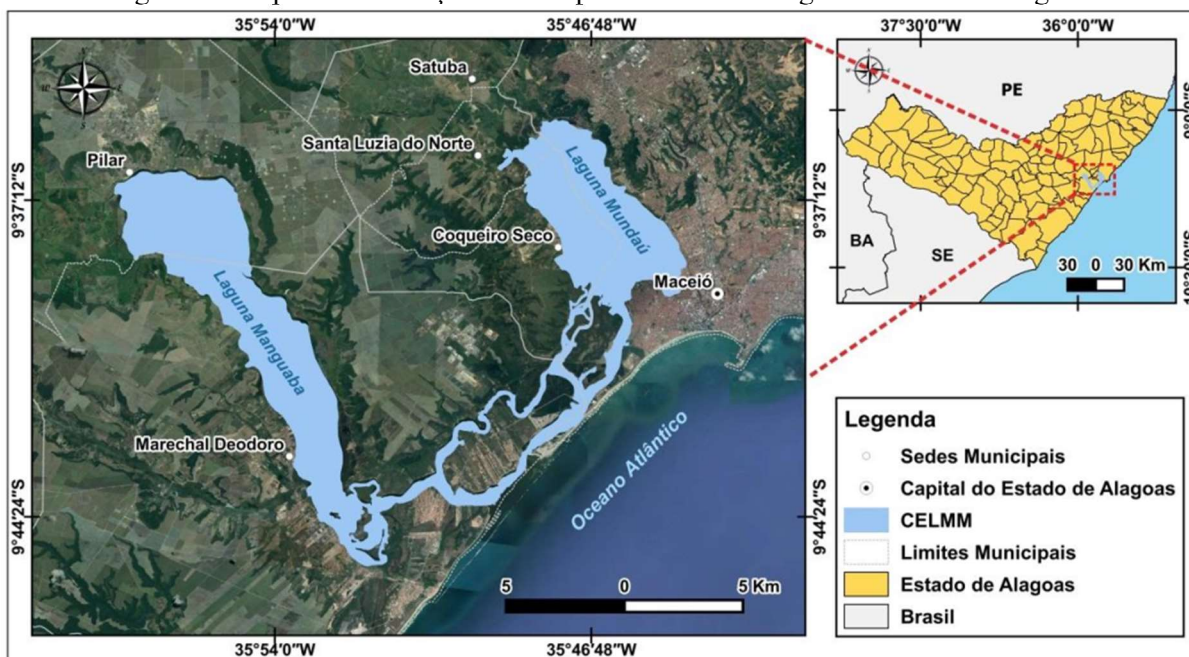
O quadro síntese (Quadro 1) apresenta o resumo de trabalhos que abordaram o Sururu (*Mytella falcata*), a atividade pesqueira e o aproveitamento para o reuso ou reprocessamento do subproduto. É possível observar que os estudos sobre o Sururu se concentraram, principalmente, em aspectos relacionados à biologia, ecologia e manejo da espécie, além de sua importância socioeconômica para as comunidades pesqueiras. Já em relação à atividade pesqueira, os trabalhos se voltaram para análises dos impactos ambientais, a gestão dos recursos pesqueiros e a dinâmica das comunidades pesqueiras. No que se refere ao reprocessamento do subproduto, os estudos se concentraram no processo produtivo. Esses trabalhos demonstraram em volumes e massas, o fluxo gerado pelas atividades pesqueiras, além de contribuir para a redução do impacto ambiental gerado pela produção do material.

Assim, o quadro síntese emerge como uma ferramenta crucial para a compreensão aprofundada em uma área específica, proporcionando aos pesquisadores e profissionais uma visão mais nítida e abrangente do estado atual da pesquisa e desenvolvimento. Esse contexto de conhecimento servirá como ponto de partida relevante para a posterior exploração dos temas relacionados à produção e extrativismo em Alagoas.

2.2 PRODUÇÃO E EXTRATIVISMO EM ALAGOAS

O Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba – CELMM, apresentado na Figura 2, abrange área de aproximadamente 55 km² e está localizado ao sul do de Maceió, capital do estado de Alagoas, com canais que ligam as Lagunas Mundaú e Manguaba em desembocadura no Oceano Atlântico (TAMANO *et al.*, 2015). Considerado ecossistema de fundamental importância biológica e de interesse cultural e acadêmico (FERREIRA *et al.*, 2019), que compreende seis municípios da região metropolitana de Maceió, sendo eles: Rio Largo, Satuba, Santa Luzia do Norte, Coqueiro Seco, Marechal Deodoro e Pilar e o próprio município de Maceió (COUTINHO *et al.*, 2014).

Figura 2 - Mapa de localização do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba



Fonte: Silva e Ferreira, 2021.

O complexo abrange um dos sistemas estuarinos mais importantes do país e do estado de Alagoas. A conservação do CELMM tem grande relevância de modo que cerca de 260 mil habitantes vivem no seu entorno, além dos 5.000 pescadores (BRASIL, 2006). Mais de 90% dos pescadores que exercem suas atividades no CELMM são do sexo masculino, 73,3% não possuem o segundo grau completo e, correlata ao nível de escolaridade, a grande maioria do grupo possui renda máxima de até um salário-mínimo (TAMANO *et al.*, 2015). Os dados socioeconômicos dessa população estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Aspectos socioeconômicos dos pescadores de Sururu do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba

Variável	% entre a população estudada*
Gênero	
Masculino	94,87
Feminino	5,13
Estado civil	
Casado ou com companheiro(a)	55
Solteiro	45
Raça	
Branca	20,51
Preta	17,95
Parda	56,41
Outra	5,13
Escolaridade	

Nenhuma	15,38
Analfabetismo funcional	10,26
Fundamental incompleto	46,15
Médio incompleto	28,21
Renda familiar	
Menos que um salário-mínimo	46,15
Um salário-mínimo	51,28
Dois salários-mínimos	2,56

*Os percentuais foram calculados de acordo com o total de respostas para cada questão, nem sempre representando o total de entrevistados.

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Tamano *et al.*, 2015.

A tabela Aspectos socioeconômicos dos pescadores de *Mytella falcata* do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú/Manguaba (Tabela 1), apresenta informações relevantes sobre a realidade dos pescadores que participam na captura do Sururu nesta região. Apesar dos dados disponíveis do ano de 2015, eles oferecem insights importantes sobre o cenário e o contexto socioeconômico e ambiental da cadeia produtiva no CELMM. O levantamento de dados sobre aspectos socioeconômicos, como renda familiar, escolaridade e atividades complementares, foi fundamental para compreender a situação desses trabalhadores e orientar políticas públicas que podem contribuir para o desenvolvimento sustentável da atividade pesqueira.

Além disso, esses dados são importantes para a valorização da pesca artesanal e dos atores envolvidos na atividade, já que muitas vezes eles são marginalizados e não recebem o reconhecimento merecido pelo trabalho. A partir da compreensão das condições socioeconômicas desses pescadores, é possível desenvolver estratégias de renda para melhoria da qualidade de vida, incentivo à educação e geração de empregos, de modo a promover a sustentabilidade da pesca e garantir a manutenção dos recursos naturais.

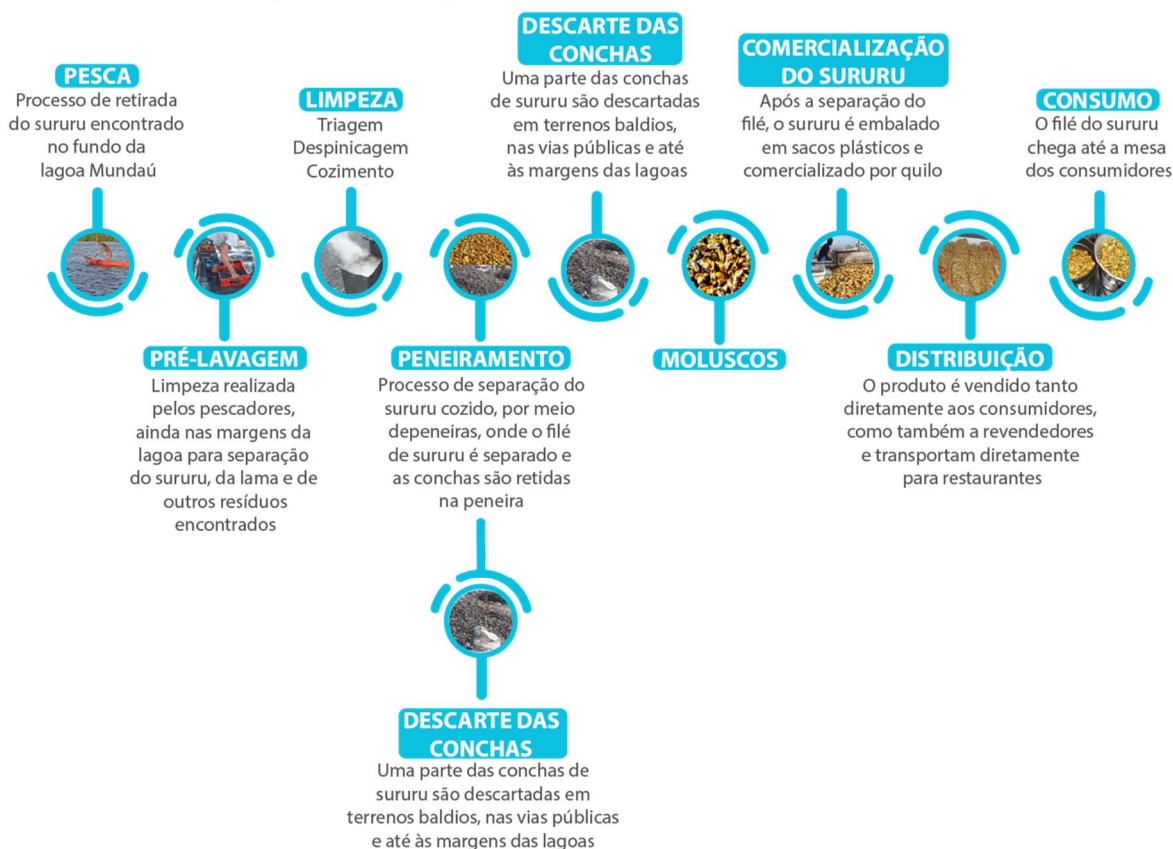
De acordo com o extinto Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) do Brasil, em 2011, o Sururu representava mais de 15% dentre as espécies de moluscos mais capturados, com valor de 2.133,3 toneladas produzidas, ficando atrás apenas do Mexilhão.

Segundo com Nascimento (2021), na fase adulta, as conchas do Sururu, a depender das condições ambientais onde a espécie está inserida, apresentam variedade de altura. Na literatura são descritos valores com média de altura da concha do Sururu entre 27,43 mm e 37,63 mm (TAMANO *et al.*, 2020) até 46,93 mm (CRISTO, S.; FERREIRA-JR, A.; ABSTER, 2016). Comercialmente, conforme Pereira *et al.* (2003) o tamanho encontrado do molusco é a partir de 30 mm, porém não há legislação que define valor mínimo do molusco para extração de bancos naturais e, conseqüentemente, comercialização.

Segundo Almeida (2014), a atividade de mariscagem do Sururu depende de condições favoráveis de produção, sendo tanto fatores bióticos quanto abióticos cruciais para seu desenvolvimento e reprodução. Entre os fatores bióticos, a predação é apontada como um dos principais limitantes. Quanto aos fatores abióticos, destaca-se na literatura a importância da salinidade e da temperatura para o Sururu. Esses fatores desempenham papéis significativos no ecossistema e podem afetar diretamente a abundância e a distribuição dessa espécie. Os autores Silva, Silva e Sousa (2008), Pereira *et al.* (2003) retrataram a salinidade como fator abiótico limitante para o desenvolvimento do molusco, identificando que valores abaixo de 5% de salinidade são prejudiciais para a espécie, além disso França *et al.* (2013) relataram que altas temperaturas $> 33^{\circ}\text{C}$ são letais para o metabolismo do Sururu.

Embora a mariscagem fosse uma prática comum no Estado de Alagoas, Nascimento (2021) em seu estudo apresentou as falhas do processo que incorporadas na cadeia produtiva do Sururu, o que contribuiu severamente para a desigualdade socioeconômica entre as famílias dependentes da mariscagem. Os impactos ambientais sofridos na região do CELMM colaboraram para a economia do molusco, gerando diversos problemas de cunho econômico, social e ambiental. Diante dessa realidade, tornou-se necessário pensar em um modelo de produção circular para a economia da cadeia extrativista do Sururu. Na Figura 3, a seguir, é possível identificar o fluxo do processo da cadeia extrativista do Sururu, desde a extração na laguna até a distribuição e consumo que segue modelo de da Economia Linear (EL), promovendo impactos ambientais e sanitários na região.

Figura 3 - Fluxograma da cadeia extrativista do Sururu



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A quantidade de subprodutos gerados, decorrente de várias etapas da cadeia, contribui com a poluição do ambiente e compromete a qualidade da água. Além disso, as conchas podem se acumular nas margens dos rios e lagoas, prejudicando a navegação e a pesca. Também é importante destacar que as conchas podem atrair vetores de doenças, como mosquitos e ratos, aumentando o risco de transmissão de doenças para a população local, afirma Lira (2021). A Figura 3 apresenta o fluxograma da cadeia extrativista do Sururu, desde a captura até a comercialização do produto. O Sururu é capturado por meio da mariscagem, atividade realizada por pescadores artesanais, principalmente mulheres, em áreas de manguezal.

Após a coleta, os moluscos são levados para o beneficiamento, que consiste na retirada do Sururu da concha e categorização por tamanho. Em seguida, são lavados e embalados em sacos de rede ou caixas de isopor, podendo ser comercializados *in natura* ou beneficiados, como em conservas ou congelados. O fluxo elaborado também apresenta a ruptura no processo, que acontece na etapa onde realiza-se o descarte irregular das conchas do Sururu.

Segundo Maran (2017) a cadeia produtiva do Sururu começa com a coleta dos moluscos nas áreas de cultivo ou nos bancos naturais. Em seguida, os Sururus são levados para limpeza inicial, realizada ainda às margens da lagoa. Após a limpeza, o molusco é cozido para abertura

das conchas e, posteriormente, são separados da concha; que, em seguida, são postos para venda. No entanto, segundo Araújo (2018), o descarte inadequado das conchas do Sururu pode representar problemas ambientais significativos. Como apontado por Maran (2017) e Araújo (2018), as conchas de moluscos bivalves, como o Sururu, possuem decomposição natural lenta, podendo permanecer no ambiente por anos. Quando descartadas de forma inadequada, as conchas podem contribuir para a poluição ambiental e causar impactos negativos à fauna e flora marinha.

2.3 O DESCARTE DAS CONCHAS

O descarte de conchas de Sururu é prática comum na região Nordeste do Brasil, onde a espécie é bastante consumida. Segundo Santos (2018), o descarte frequente das conchas em praias, rios e manguezais pode ter efeitos negativos no ambiente marinho, como a preservação e a retenção de canais de água. Essa prática pode prejudicar a circulação de nutrientes e comprometer a qualidade da água, afetando o equilíbrio dos ecossistemas costeiros. No entanto, as conchas de Sururu têm valor ecológico e econômico significativo. Estudos têm mostrado que as conchas podem ser utilizadas como substrato para o crescimento de ostras, que também são importantes para a economia local e para a biodiversidade dos ecossistemas costeiros. Além disso, as conchas de Sururu podem ser utilizadas na produção de cal, produto amplamente utilizado na construção civil (SILVA, 2019).

Conforme descrito pelos autores Nascimento (2021) e Lemos-Freire *et al.* (2011) a atividade extrativista do Sururu confere o beneficiamento de 50,00% do filé em relação ao peso total do molusco e, mesmo sendo muito apreciado na gastronomia local. De acordo com Silva *et al.* (2010) os subprodutos da cadeia extrativista do Sururu resultam em problemas ambientais na região, visto que há o descarte diário de 6 toneladas (Quadro 01) das conchas nos locais de comercialização em via pública e nos ambientes de extração, contribuindo segundo Fulgêncio (2015) para o assoreamento da laguna.

Araújo e Pimentel (2015) demonstram em seu estudo que o descarte de conchas também é questão de saúde pública, visto que o subproduto depositado a céu aberto promove o surgimento de patógenos relacionados a diversas doenças de caráter sanitário.

Além disso, as conchas de Sururu podem demorar muitos anos para se decompor, o que pode afetar a paisagem natural da região e reduzir a qualidade da areia das praias, isso ocorre porque as conchas, ao se acumularem na praia, podem interferir no processo natural de erosão e deposição de sedimentos. Ao longo do tempo, esse acúmulo excessivo de conchas pode resultar na redução da quantidade de areia disponível, afetando a extensão e a qualidade das

praias. Ainda, o descarte incorreto pode afetar a segurança das pessoas que frequentam as praias, já que as conchas podem se tornar objetos cortantes e perigosos (SALES, 2007).

O descarte inadequado das conchas de Sururu, como foi visto, figura como problema ambiental que pode impactar a fauna e a flora marinha. Diante disso, torna-se importante o estudo de alternativas para o aproveitamento do subproduto, por meio do reuso ou reprocessamento do subproduto, a fim de reduzir o impacto ambiental e contribuir para o Desenvolvimento Sustentável e para Economia Circular da cadeia extrativista do Sururu.

2.4 ECONOMIA CIRCULAR E ECODESIGN

Segundo Sehnem e Pereira (2019) a preocupação de cientistas e ativistas com o uso das limitações e escassez dos recursos naturais nos meios de produção data-se desde o final da década de 1960. O modelo tradicional de produção, conhecido como Economia Linear (EL) consiste em: (1) extração dos recursos naturais; (2) produção de bens; (3) consumo; e (4) descarte dos subprodutos.

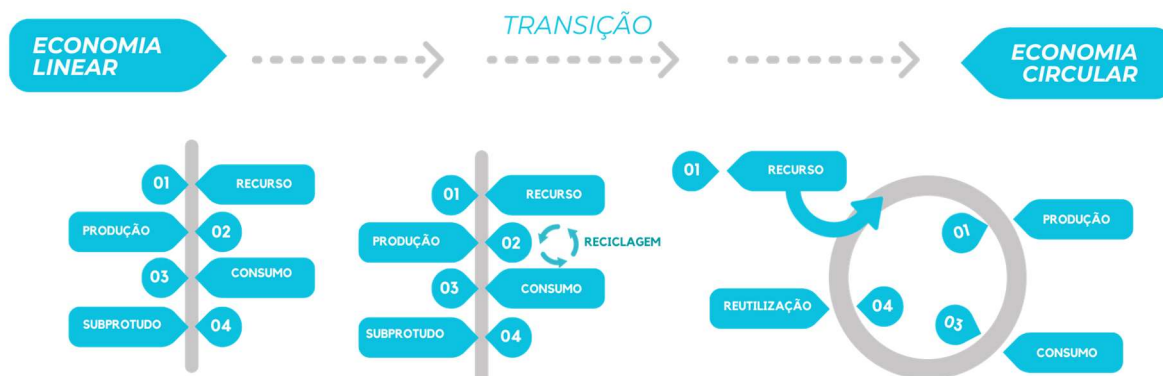
Ao longo dos anos, têm-se estudado modelos de produção que visem a diminuição dos subprodutos e renovação dos recursos naturais para substituição do modelo de produção linear. A Economia Circular (EC) surge para reduzir os impactos ambientais gerados pela exploração e consumo produzidos na EL. De acordo com Ribeiro e Kruglianskas (2014) a EC pode ser definida como o aproveitamento da máxima totalidade dos materiais utilizados na produção, propondo a redução de subprodutos e gerando benefícios econômicos, ambientais e sociais. Ollis-Munoz e Cogollo-Florez (2021) definem que a utilização da EC predispõe dos princípios de Reduzir, Reutilizar, Reciclar (3R).

Porcelli e Martínez (2018) corroboram com os autores supracitados, definindo os três princípios da EC: o Princípio 1: Preservação do ambiente natural e utilização na produção de energia renovável; o Princípio 2 consiste na durabilidade do produto gerado, onde deve existir grande rentabilidade e quando o produto não estiver mais em condições deve ser reparado ou restaurado a sua forma original, deverá haver a possibilidade de ser reciclado e seus subprodutos transformados em matéria-prima; por último, o princípio 3 consiste na redução de danos de uso ao ser humano.

Correlacionando todos os princípios discutidos, o ecodesign surge como uma ferramenta essencial de gestão ambiental na EC que busca conceber produtos e serviços, integrando o meio ambiente, reduzindo os impactos, ao mesmo tempo em que conserva sua funcionalidade e desempenho, a fim de melhorar a qualidade de vida dos usuários de

hoje e do futuro (ZAVADIL & SILVA, 2013). A Figura 4 apresenta a possibilidade de transição do fluxo da cadeia extrativista do Sururu da EL para EC.

Figura 4 - Fluxo da Economia Circular



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

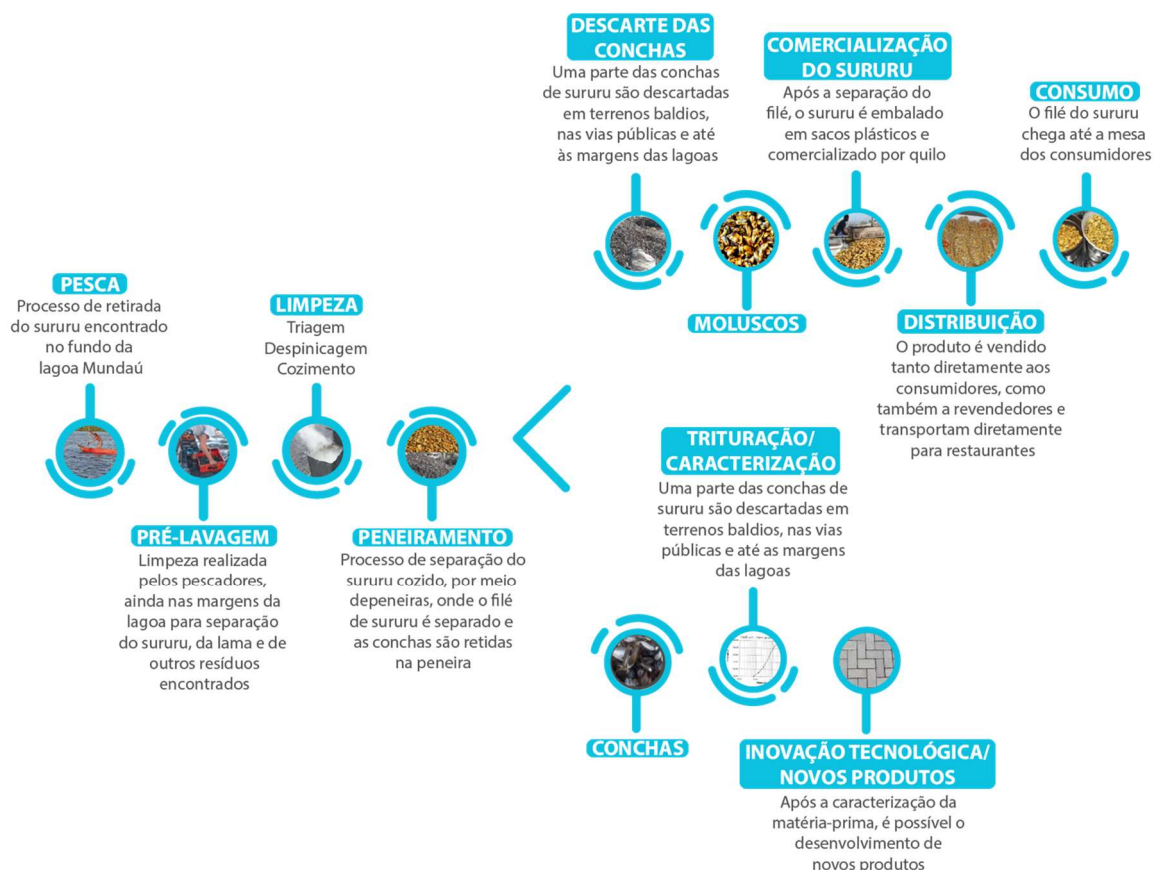
O fluxo ilustrado na Figura 4 evidencia a viabilidade da transição para uma Economia Circular, essencial para assegurar um futuro sustentável para o planeta. Essa abordagem permite a redução da geração de subprodutos, a preservação dos recursos naturais e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

2.5 ECONOMIA CIRCULAR E O APROVEITAMENTO DAS CONCHAS DE SURURU

No Brasil, pesquisas recentes vêm demonstrando o grande potencial do uso das conchas de Sururu através do seu processamento, transformando-as em grãos, farinhas e pós de conchas utilizadas em diversos setores e com baixo custo de produção. Os setores em destaque são: da construção civil, como insumo em argamassa de alvenaria (LUZ, 2018); argamassa de assentamento e revestimento (MENEZES, 2019); formulações de blocos de concreto (GONÇALVES *et al.*, 2014; FONSECA *et al.*, 2016); produção de tijolo solo-cimento (COSTA, 2021); na agricultura para a correção de solos ácidos (MARTINS, 2018); nutrição animal como farinha de conchas por meio de suplementação e substituição de fontes tradicionais de cálcio nas rações de aves de corte (LANA *et al.*, 2020); em tratamento sanitário por meio da remoção de carbono e nitrificação no tratamento de esgoto sanitário (FERRO *et al.*, 2021) e também no controle de pH dos resíduos da manipueira em reator anaeróbio UASB (SILVA *et al.*, 2013).

A Figura 5 demonstra a aplicação da Economia Circular com o aproveitamento de conchas da cadeia extrativista do Sururu.

Figura 5 - Mapeamento dos fluxos de processos do molusco e da concha



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As conchas do Sururu contém altas concentrações de carbonato de cálcio (CaCO_3), em pesquisa realizada por Nascimento (2021) o percentual deste mineral encontrado nas conchas do Sururu foram de 47,05%, valores semelhantes estão dispostos em outras pesquisas descritas na literatura 43,12% (SANTOS *et al.*, 2017); 37,00% (TAMANO *et al.*, 2020). Estes valores variam de acordo com as condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento do molusco, principalmente salinidade e temperatura (NASCIMENTO, 2021).

As conchas, quando manipuladas de forma sanitária adequada, podem ser utilizadas através da produção de farinha de conchas que se adequa aos processos de tecnologia social, com baixo custo de implantação, replicável, com simplicidade de trituração e de alto impacto social (NASCIMENTO, 2021).

O fluxo de processos da cadeia do Sururu destaca a possibilidade de aproveitar as conchas como subproduto na fabricação de pisos intertravados de concreto, trazendo benefícios

econômicos e ambientais à cadeia extrativista. Essa abordagem reduz a geração de subprodutos, mitiga o impacto ambiental do descarte inadequado das conchas e se alinha aos princípios da Economia Circular na construção civil.

2.6 PAVIMENTO INTERTRAVADO

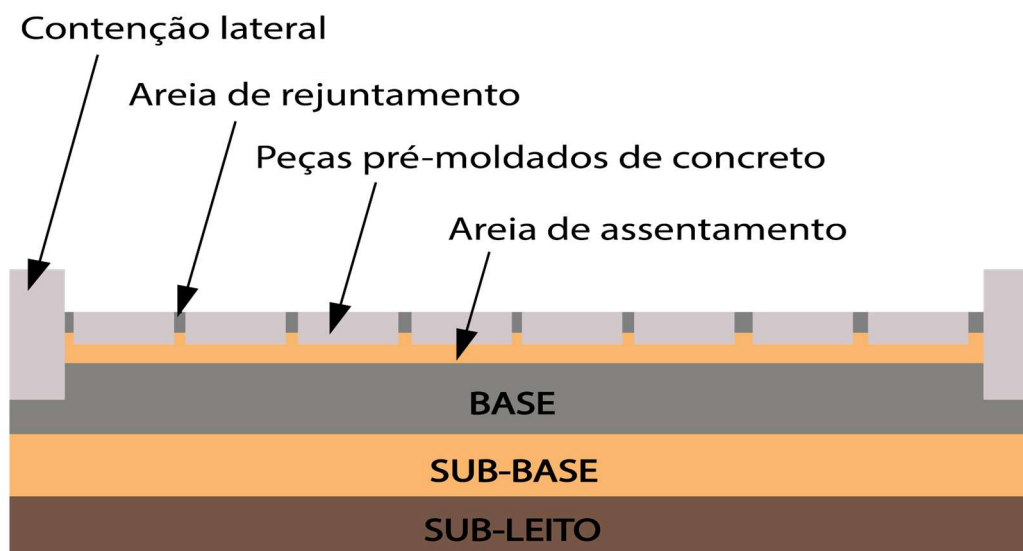
2.6.1 Definição

O pavimento intertravado caracteriza-se por ser um pavimento rígido cuja estrutura é constituída de base ou base e sub-base, continuada por revestimento de blocos de concreto sobrepostos ao pavimento. As juntas no meio dos componentes são preenchidas com material de rejunte e o intertravamento do sistema é feito por vedação, conforme especificado nas normas NBR 15953 - Pavimentos intertravados de concreto - Requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2011) e NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação-Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013).

De acordo com a NBR 15953 (ABNT, 2011), o intertravamento é baseado na capacidade dos blocos de resistir a deslocamentos individuais relacionados aos blocos adjacentes e é essencial para a boa resistência e durabilidade dos pavimentos. Segundo o Manual de Pavimentos Intertravados (ABCP, 2010), o intertravamento no meio de blocos de concreto é resultado de condições, tais como: contenção lateral e juntas preenchidas com areia. A estrutura do pavimento intertravado caracteriza-se pelo revestimento em blocos, com alta durabilidade e resistência, assentados sobre a camada de areia, a base, a sub-base e o subleito. O revestimento e a areia do assentamento são contidos lateralmente, em geral, por meio-fio e o rejuntamento entre os blocos é executado com areia.

A contenção lateral (como meios-fios) proíbe a deflexão lateral dos blocos, acomodando o intertravamento; a areia de vedação (rejunte) transfere forças entre as pavimentadoras para que possam trabalhar juntas e resistir às cargas necessárias. A seção da estrutura típica do pavimento intertravado é apresentada na Figura 6. A preparação da base para a aplicação do piso intertravado é fundamental para garantir a estabilidade e a durabilidade do pavimento, o processo envolve a remoção do solo superficial, a compactação do solo sub-base, a aplicação de camada de areia e a sua compactação.

Figura 6 - Seção típica do pavimento intertravado



Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABCP (2010), 2023.

Na Figura 6 é possível observar a seção típica da base do pavimento intertravado, mostrando as diferentes camadas que compõem o sistema. O objetivo é apresentar como as peças de concreto intertravadas são instaladas e assentadas sobre base adequada para garantir a durabilidade e resistência. Na parte inferior, há a camada de sub-base, composta de material granular e com função de distribuir a carga do transporte e evitar a migração de materiais do solo. Em seguida, a camada de base será a responsável por suportar a carga e distribuí-la uniformemente. Por fim, a camada superior é composta por peças de concreto intertravado, que são assentadas sobre a camada de areia e niveladas para garantir a estabilidade e resistência do pavimento.

Considerando as inúmeras vantagens, o pavimento intertravado vem conquistando espaço ao longo dos anos, principalmente nos centros urbanos do país. Dentre eles, destacam-se a facilidade de implantação, utilização de equipamentos de pequeno porte, facilidade de manutenção e reutilização e rápida liberação de vazão. Além disso, blocos de cores mais claras podem proporcionar baixa absorção de calor e alta reflexão, contribuindo para o conforto térmico das calçadas e economia na iluminação pública (ABCP, 2010; AMADEI, 2011; MARCHIONI, 2012; SIMIELI *et al.*, 2007).

De acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013), os materiais utilizados para produzir pavimentos intertravados são principalmente ligantes, agregados e água, sendo permitidos aditivos e pigmentos. Dessa forma, o concreto utilizado para a confecção de pavers é constituído pelas mesmas matérias-primas do concreto convencional, sendo a principal diferença o teor de umidade da mistura (MARCHIONI, 2012).

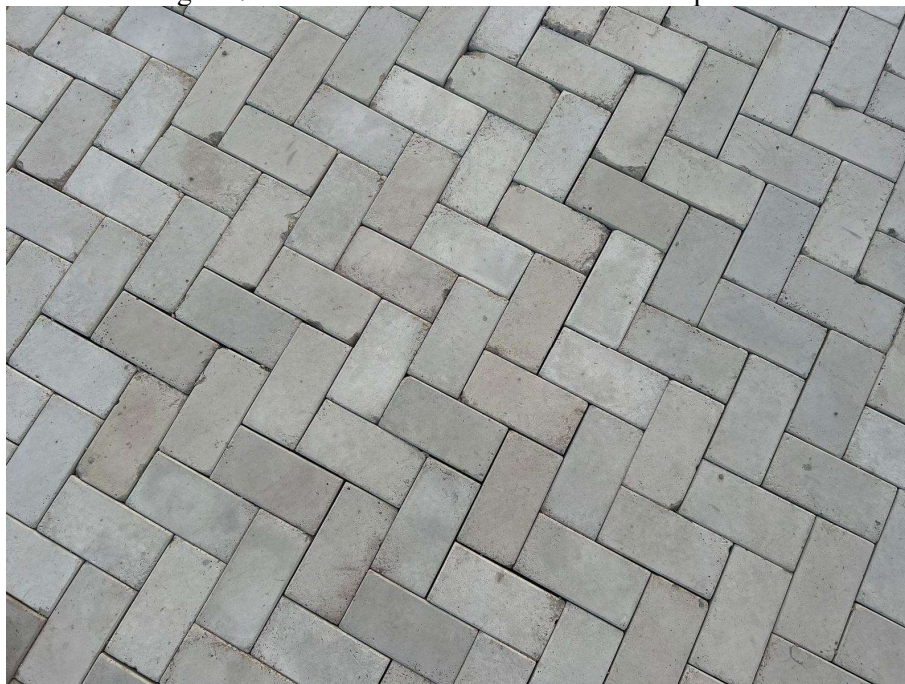
Vários autores têm investigado a utilização de subprodutos na fabricação de pisos intertravados. O estudo realizado por Oliveira *et al.* (2020) avaliaram a viabilidade de utilização de subprodutos do processo de serragem como agregado na produção de blocos intertravados de concreto. Os resultados mostraram que os blocos produzidos com a adição de serragem demonstraram resistência adequada para aplicações em pavimentação. Elinwa *et al.* (2018) analisaram o potencial de aproveitamento de cinza da concha de arroz como substituição parcial de cimento na produção de blocos intertravados. Os resultados indicaram que o uso de cinza de casca de arroz pode melhorar propriedades físicas e mecânicas dos blocos. Já Ribeiro *et al.* (2019) investigaram a utilização de subproduto do processamento de rochas ornamentais como agregado na produção de pisos intertravados. Os resultados concluíram que é possível produzir pisos intertravados com resistência satisfatória utilizando subproduto do processamento de rochas ornamentais como agregados.

2.6.2 Blocos de Concreto Intertravado

O piso intertravado trata-se de pavimentação originada na Mesopotâmia há cerca de 5.000 anos a.C e consiste no pavimento revestido com britas, após a Segunda Guerra Mundial sua escala de produção aumentou, chegando ao Brasil na década de 1970. Atualmente, a produção do pavimento intertravado consiste em peças de concreto, assentadas sobre camada de areia e travadas entre si por contenção lateral (PORTLAND, 2010). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013) por meio da NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação-Especificação e métodos de ensaio, configura que o uso do “concreto utilizado nas peças deve ser constituído de cimento Portland, agregados e água, sendo permitido o uso de aditivos e pigmentos”.

A utilização dos pisos intertravados vem crescendo de forma acelerada por apresentar características de resistência dos movimentos de deslocamento vertical, horizontal ou de rotação entre as peças (FIORITI; INO & AKASAKI, 2010), este tipo de pavimentação vem ganhando espaço nos centros urbanos, seja pela versatilidade quanto a facilidade de fabricação, assentamento e durabilidade (SILVA; GACHET & LINTZ, 2020). Países desenvolvidos como a Itália, por exemplo, não sofrem com problemas relacionados a pavimentação, entretanto, ainda são dependentes de produtos não renováveis, como o betume para pavimentação de vias públicas, entretanto, quando o assunto é o Brasil mais de 80% das vias nacionais não são pavimentadas (MONTANI, 2017). Segundo Amadei (2011), os blocos intertravados de concreto utilizados para pavimentação de vias são chamados de pavers e estão representados na Figura 7.

Figura 7 - Blocos de concreto intertravado ou pavers



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Conforme Fioriti (2007), o intertravamento do concreto é a capacidade que o material tem de resistir a movimentos e deslocamentos individuais, sejam eles verticais, horizontais, rotacionais ou relativos a componentes adjacentes.

Os blocos de intertravamento já têm espaço em pavimentos urbanos no Brasil, e as empresas do setor têm exigido para aumentar a produção de peças devido às vantagens tecnológicas oferecidas pelo sistema. Dentre as vantagens, destacam-se a simplicidade de assentamentos, liberação mais rápida do tráfego, alta permeabilidade, superfície mais áspera e antiderrapante e facilidade de manutenção (AMADEI, 2011). Pavimentos pré-moldados de concreto podem durar 25 anos, desde que atendam aos requisitos mínimos, como contrapiso bem executado, blocos de qualidade e assentamento adequado (FIORITI, 2007).

Amadei (2011) explica que muitos fatores no processo de fabricação podem afetar a qualidade dos blocos de concreto, como o tipo de máquinas e equipamentos utilizados, materiais manuseados, doses aplicadas, etc. Em concordância com Hood (2006), materiais constituintes, execução de dosagens e métodos de produção são fundamentais para obtenção de resultados satisfatórios na fabricação dos blocos.

Além de fornecer maior durabilidade, segurança e estética, esses pisos são considerados ecologicamente corretos por apresentarem baixo impacto ambiental e contribuírem para o desenvolvimento sustentável. A produção desses blocos pode ser realizado o direcionamento,

aproveitamento para o reuso ou reprocessamento dos subprodutos, possibilitando na prática a Economia Circular. Dessa forma, a utilização de pavimentos intertravados tem sido cada vez mais incentivada por órgãos públicos e privados, como alternativa viável e sustentável para a pavimentação urbana e rural. (CARASEK, 2021).

A Figura 8 apresenta o exemplo prático de aplicação do pavimento intertravado como passeio de pedestre em escola pública no Agreste Alagoano.

Figura 8 - Pavimento Intertravado aplicado em escola pública no Agreste Alagoano



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A escolha do piso se deu não apenas pela questão estética do produto, mas também pela capacidade drenante do material. Esse tipo de pavimento permite a infiltração da água da chuva diretamente no solo, evitando assim problemas com enchentes e favorecendo a recarga dos lençóis freáticos. Além disso, a superfície porosa do pavimento intertravado proporciona maior aderência na base de areia, reduzindo o risco de acidentes pelo deslocamento das peças, principalmente em áreas com grande circulação de pedestres, como escolas e áreas comerciais.

Além disso, a superfície porosa do pavimento intertravado proporciona maior aderência na base de areia, reduzindo o risco de acidentes pelo deslocamento das peças, principalmente em áreas com grande circulação de pedestres, como escolas e áreas comerciais.

2.6.3 Composição do piso intertravado

O trabalho em questão tem como objetivo principal a caracterização e avaliação dos materiais constituintes do piso intertravado, sendo eles o cimento CP V, a areia, o pó de brita e a brita 0. Essa análise se faz relevante para compreender a influência desses materiais na qualidade e desempenho do piso intertravado, considerando aspectos físico-químicos e mecânicos.

O cimento CP V, conhecido como cimento Portland comum de alta resistência, é amplamente utilizado na produção de concreto para pisos intertravados devido às suas propriedades de resistência mecânica e durabilidade. Segundo Silva e cols. (2019), esse tipo de cimento possui uma maior quantidade de clínquer, apresentou maior resistência à resistência e menor expansibilidade. Além disso, o teor adequado de finos e distribuição de tamanho de partícula do cimento CP V criou para uma melhor aderência entre os agregados e a matriz de cimento.

A areia desempenha papel fundamental na produção do piso intertravado, preenchendo os espaços vazios entre as peças e proporcionando estabilidade e resistência. De acordo com Rodrigues *et al.* (2020), a qualidade da areia está diretamente relacionada à sua granulometria e à presença de impurezas. É importante que a areia atenda aos requisitos alcançados pela NBR 7211(2009), garantindo uma distribuição granulométrica adequada e ausência de materiais prejudiciais à resistência e durabilidade do concreto.

O pó de brita, obtido a partir da britagem de rochas, é utilizado como um dos componentes da mistura do concreto do piso intertravado. Segundo Silva e cols. (2018), o pó de brita possui características pozolânicas, que foram feitas para a melhoria da trabalhabilidade e da resistência do concreto. Além disso, a granulometria do pó de brita influencia a compactidade e a resistência do piso intertravado, conforme destacado por Souza *et al.* (2021).

A brita 0, por sua vez, é utilizada como agregado graúdo na mistura do concreto do piso intertravado. Segundo Figueiredo e cols. (2019), a brita 0 consiste em fragmentos de rochas estáveis, com diâmetro máximo de 12,5 mm, isentos de materiais pulverulentos e impurezas. Sua granulometria adequada contribui para a resistência mecânica do piso intertravado, garantindo uma boa distribuição de cargas e uma maior durabilidade do pavimento.

2.6.4 Dosagem

De acordo com Carvalho (2022), a dosagem constitui-se como procedimento fundamental na produção de concreto e visa determinar a proporção ideal dos materiais para

obter produto com as características desejadas. Essa proporção pode variar de acordo com o tipo de concreto, sua aplicação e as condições ambientais a que será submetido.

O concreto usado para fazer pavimentadoras intertravadas é conhecido como "concreto seco" ou concreto sem abatimento devido à baixa relação água/material, alta consistência e coesão. O uso do concreto seco na confecção de pisos intertravados tem sido amplamente estudado e aplicado na construção civil. Estudos recentes apontam que a utilização de concreto seco apresenta diversas vantagens em relação ao concreto convencional, tais como menor consumo de água e cimento, maior durabilidade, maior resistência mecânica e melhor desempenho em relação à drenagem urbana (Macedo *et al.*, 2020; De Barros *et al.*, 2021).

De acordo com De Barros *et al.* (2021), o uso de concreto seco na confecção de pisos intertravados resultou em redução de 44% no consumo de água em relação ao concreto convencional, além de redução de 27% no consumo de cimento, protegendo assim os custos e o impacto ambiental da produção. Além disso, a resistência à compressão do piso intertravado de concreto seco foi superior ao concreto convencional, indicando que essa alternativa pode ser mais adequada em locais com tráfego elevado de veículos e pedestres.

Estudo realizado por Macedo *et al.* (2020) também destacou a força do concreto seco na confecção de pisos intertravados, com resultados positivos em relação à permeabilidade e capacidade de drenagem. Essas características são fundamentais para a redução de problemas de alagamentos e enchentes nas áreas urbanas. No entanto, a proporção adequada de água na mistura de concreto é fundamental para garantir a qualidade do material e evitar problemas como deformações e fissuras. Se a quantidade de água for excessiva, o concreto pode apresentar baixa resistência mecânica, maior suscetibilidade à segregação e maior exsudação de água durante o transporte e a cura (PACHECO, 2021).

Dessa forma, a quantidade de água deve ser a maior possível, desde que as peças não apresentem problemas ao descolar, por aderirem ao molde, ou sejam difíceis de deformar devido ao excesso de umidade, completa Pacheco (2021). O excesso de água também pode dificultar a alimentação do molde, portanto, é necessário utilizar o teor de temperatura ótimo para acomodar duas condições: fácil alimentação e compactação, mas sem comprometer a processabilidade da mistura (MARCHIONI, 2012).

Segundo Zeghichi *et al.* (2021), a mistura do concreto seco ainda não tem método estabelecido, e muitos estudos têm sido realizados para encontrar a melhor forma de preparo. Vários autores têm desenvolvido diferentes métodos para obtenção de concreto seco, levando em consideração recomendações dos fabricantes e procedimentos de tentativa e erro. Zeghichi *et al.* (2021) investigaram a influência da granulometria dos agregados na produção de concreto

seco. O trabalho concluiu que o tamanho dos agregados influencia na trabalhabilidade do concreto e que a escolha da granulometria ideal dos agregados é importante para se obter concreto seco com propriedades mecânicas adequadas.

Outro estudo realizado por Mokhtar *et al.* (2020) avaliou a influência da quantidade de água e da granulometria dos agregados na resistência do concreto seco. O trabalho demonstrou que a relação água/cimento e a granulometria dos agregados são importantes fatores a serem considerados na mistura do concreto seco.

Em suma, a dosagem correta do concreto é aspecto fundamental para garantir a qualidade e durabilidade do piso intertravado. O estudo e aperfeiçoamento desse processo podem trazer benefícios tanto na redução de custos como no aumento da eficiência e resistência do pavimento. É importante destacar que as técnicas de dosagem devem ser adaptadas de acordo com as especificidades de cada projeto e material utilizado. A partir de pesquisas como a presente neste trabalho, é possível avançar no conhecimento e na aplicação dessas técnicas.

2.6.5 Confeção do bloco de piso intertravado com a inserção de subprodutos

A utilização de subprodutos na confecção do piso intertravado tem sido objeto de estudos recentes, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental e aumentar a possibilidade de fechamento de ciclo na indústria de pavimentos. Diversos subprodutos, como cinzas de carvão, resíduos de construção e demolição, vidro moído, entre outros, têm sido investigados como substitutos parciais ou totais da areia na fabricação de blocos intertravados. Estudos demonstram que a incorporação desses subprodutos pode resultar em melhorias nas propriedades do piso intertravado, como resistência à compressão, resistência à flexão, permeabilidade, durabilidade, entre outras.

O trabalho de Monteiro (2021), utilizou subproduto do processamento de concha de mexilhão como substituto parcial da areia na produção de blocos de piso intertravado. Os resultados mostraram que a utilização desse subproduto pode aumentar a resistência mecânica dos blocos e reduzir a absorção de água, tornando-os mais sustentáveis e duráveis. Oliveira (2020) avaliou a viabilidade de utilizar cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como substituto parcial da areia na produção de piso intertravado. Os resultados indicaram que a incorporação desse subproduto melhorou a resistência mecânica e a durabilidade dos blocos, além de reduzir o impacto ambiental do processo produtivo.

Gomes e Santos (2020) tiveram como objetivo estudar a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregado miúdo na produção de blocos de concreto

intertravados. Foram realizados ensaios de caracterização dos materiais e de resistência dos blocos produzidos com diferentes teores de substituição de areia por RCD. Os resultados indicaram que a incorporação do RCD como agregado miúdo na produção dos blocos não afetou negativamente as propriedades mecânicas, e que a substituição de até 50% da areia foi viável.

A concha do Sururu, por sua vez, assim como de outros moluscos, pode ser utilizada como agregado na produção de materiais de construção, como o concreto, argamassa e reboco. Essa prática é conhecida como bioconstrução ou construção com materiais biodegradáveis, afirma Souza *et al.* (2020). De acordo com a literatura, a adição de conchas de moluscos em materiais de construção pode trazer benefícios às propriedades, como resistência à resistência, tração, flexão e impacto (SOUZA *et al.*, 2020). Além disso, o uso da concha do Sururu como agregado na construção civil pode reduzir a quantidade de subprodutos gerados pela atividade pesqueira, garantindo a preservação ambiental (CARVALHO *et al.*, 2021). Contudo, é importante destacar que a dosagem adequada do agregado é fator essencial para evitar a perda de qualidade do material, e que a escolha de conchas de boa qualidade, sem impurezas e contaminantes, deve ser priorizada (SANTOS *et al.*, 2021).

Além de reduzir o impacto ambiental ao utilizar subprodutos da maricultura na sua produção, a pavimentação com blocos intertravados contribui para a diminuição de inundações em áreas urbanas, devido à maior taxa de infiltração e menor índice de escoamento em comparação ao asfalto, afirma Fernandes *et al.*, 2019. Outra vantagem que se destaca é o baixo custo de manutenção do pavimento. Estudos demonstram que essa opção de pavimentação é capaz de proporcionar redução significativa de custos ao longo do tempo em relação aos métodos tradicionais de pavimentação. (FERNANDES *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

No Brasil a utilização de peças de pavimentação de concreto deve seguir o requisito normativo da NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013). A Tabela 02 apresenta a resistência característica à superfície das peças de concreto para pavimentação, de acordo com a norma brasileira NBR 9781.

Tabela 2 - Resistência característica à compressão das peças de concreto para pavimentação

Solicitação	Resistência característica à compressão aos 28 dias
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	$\geq 35\text{MPa}$

Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	$\geq 50\text{MPa}$
--	---------------------

Fonte: ABNT NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação-Especificação e métodos de ensaio (2013, p.6).

A norma estabelece valores mínimos de resistência para diferentes classes de pavimentos, que variam de acordo com a carga que as peças irão suportar. Para o tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, a norma preconiza o valor igual ou superior a 35MPa na peça de concreto intertravado. Já para o tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos e abrasão acentuados, fica determinada a resistência igual ou superior a 50MPa. A tabela deve ser utilizada como referência para escolher o tipo de pavimento mais adequado a ser aplicada em cada situação, levando em consideração a resistência necessária para suportar as cargas previstas.

2.7 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS, são o conjunto de 17 objetivos definidos pela ONU para guiar ações globais em direção ao Desenvolvimento Sustentável até 2030. O estudo dos ODS é primordial para o desenvolvimento de trabalhos que visam contribuir para a construção de um mundo mais justo, igualitário e sustentável, uma vez que os objetivos definem metas concretas e administrativas a serem alcançados em diversas áreas, como saúde, educação, meio ambiente, igualdade de gênero, entre outras. No caso específico da confecção de piso intertravado com uso de subprodutos, o estudo dos ODS é fundamental para garantir a redução de impactos ambientais, a inclusão social e a promoção da Economia Circular.

As conchas, por sua vez, quando manipuladas e trituradas de forma correta, podem ser utilizadas como agregado miúdo em diversos produtos da construção civil, que tenham em sua formulação a areia para possível substituição. A tecnologia sustentável aplicada na cadeia extrativista do Sururu através da EC, enquadra-se dentro dos ODS representados na Figura 9, desenvolvidos para o cumprimento da Agenda 2030.

Figura 9 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Nações Unidas Brasil, 2022.

A fabricação de blocos intertravados com conchas trituradas apresenta a possibilidade de alta replicabilidade e baixo custo de produção. Com isso, a atividade confere impacto social considerável na região de extração e comercialização e se enquadram dentro dos ODS 9, 11 e 12.

- Objetivo 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura- Desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, incluindo infraestrutura regional e transfronteiriça, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos está na meta 9.1. Ainda no objetivo 9 das ODS, é válido destacar o item 9.5 que defende o fortalecimento da pesquisa científica, bem como, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento. Dessa forma a incorporação do subproduto (concha do Sururu) na confecção de novos produtos buscando atingir a sustentabilidade, não só pode reduzir o impacto ambiental gerado pelo descarte de forma indevida, como também pode oferecer nova fonte de renda a comunidade local, levando melhorias na qualidade de vida e fortalecendo o campo da pesquisa científica.

- Objetivo 11 - Cidades e comunidades sustentáveis - dentre uma das metas está a 11.4, onde visa fortalecer esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo, dessa forma, com a utilização das conchas do Sururu a valorização do molusco, sendo ele patrimônio cultural, atende o objetivo 11.4 dos ODS. Vale salientar ainda o subitem 11.6, onde visa até o ano de 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros. Utilizando as conchas, é possível diminuir em 5% o tamanho dos subprodutos gerados pela cadeia extrativista do Sururu, que normalmente são descartados em aterros sanitários em Maceió (conforme indicado no Quadro 01). Além disso, essa prática contribui para reduzir os efeitos negativos, como problemas sanitários, paisagísticos e ambientais, na região.
- Objetivo 12 - Consumo e produção responsável - A cadeia produtiva do Sururu resulta em atividade insustentável, tanto em sua organização do processamento, na qual os estoques de bancos naturais em algumas épocas do ano encontram-se insuficientes para a comercialização, onde em períodos prolongados de chuva ocorre baixa dos estoques de moluscos, de modo que a remuneração de trabalho é ínfima e resulta em descarte exorbitante de conchas à céu aberto. É necessária reformulação e implementação de políticas sociais para a organização da cadeia produtiva do molusco. O subitem 12.2 destaca que até 2030, terão que ser alcançadas a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais, dessa forma a substituição do agregado miúdo (areia) recurso natural, tende a diminuir com a utilização dos grãos da concha do Sururu nas devidas granulometrias, atendendo assim mais um item dos ODS.

A produção do piso intertravado com a incorporação dos GCS busca atender às metas dos ODS nos âmbitos sociais, econômicos e ambientais, conforme síntese apresentada na figura 10.

Figura 10 - Síntese das metas alcançadas no desenvolvimento do piso intertravado com a incorporação do grão da concha do Sururu.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Na Figura 10, o presente estudo demonstra como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estão intrinsecamente ligados às dimensões social, econômica e ambiental. As metas dos ODS 9, 11 e 12 abordam questões que abrangem desde o desenvolvimento de infraestruturas de qualidade e inovação na indústria até a proteção do patrimônio natural e

cultural, gestão de resíduos e consumo responsável. Exemplifica-se, dessa maneira, como a busca por um desenvolvimento mais sustentável não se restringe a uma única dimensão, mas se estende a múltiplos aspectos da sociedade, da economia e do meio ambiente, promovendo o equilíbrio vital para o futuro.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho caracteriza-se como pesquisa aplicada, visto que os resultados buscados poderão ser utilizados como alternativa de equilibrar a cadeia extrativista do Sururu no Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM).

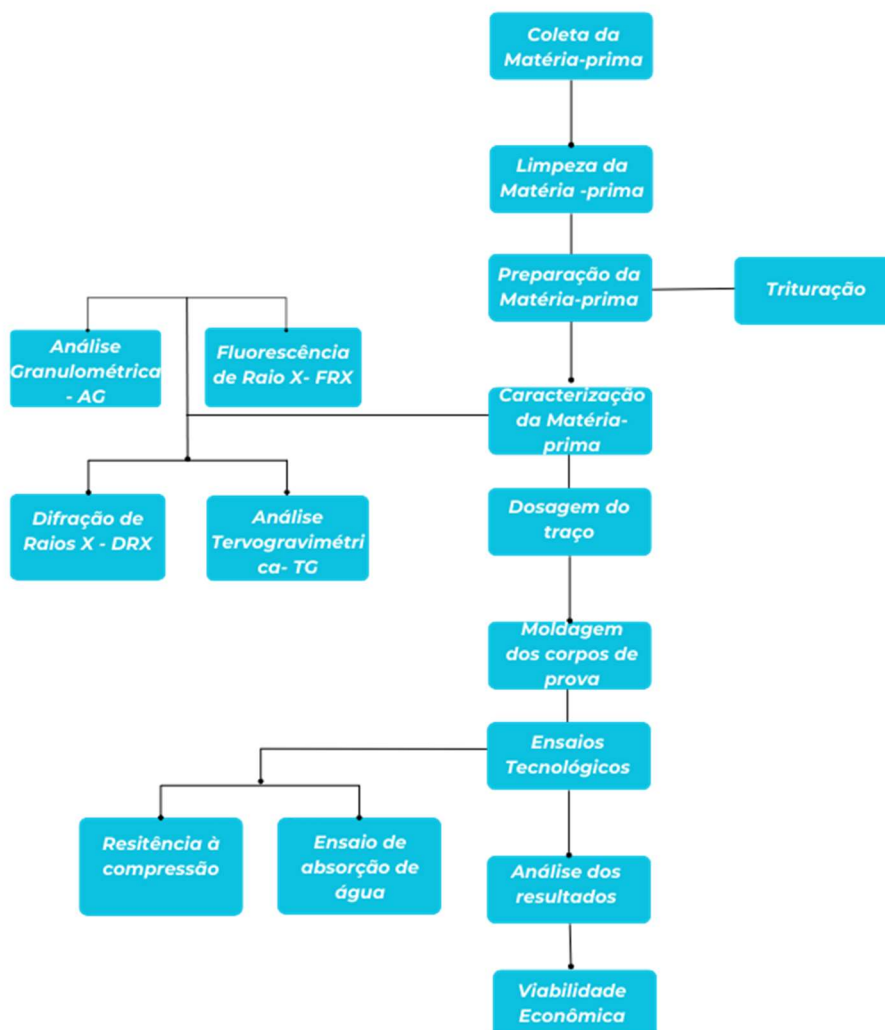
A abordagem da pesquisa aplicada configura-se como qualitativa com a investigação, observação e caracterização da cadeia produtiva do Sururu em Alagoas e quantitativa nos procedimentos de desenvolvimento e realização dos ensaios laboratoriais, onde foi executada, predominantemente, *in vitro* (laboratório), com os protótipos de piso intertravado. Uma das principais características da pesquisa aplicada é a relação direta com as necessidades e demandas da sociedade, tendo como objetivo solucionar problemas concretos em diversas áreas, como a saúde, a tecnologia, a educação, entre outras.

Segundo Babbie e Mouton (2016), a pesquisa aplicada busca gerar conhecimento que possa ser aplicado na prática, com o objetivo de melhorar a vida das pessoas e a eficiência das organizações. Ainda segundo Babbie (2016), a pesquisa experimental caracteriza-se pela abordagem na qual o pesquisador manipula uma ou mais variáveis independentes para avaliar o efeito sobre uma variável dependente. Destaca-se pelo controle rigoroso das variáveis e pela randomização dos participantes ou unidades de análise em grupos de tratamento e controle. A partir dos resultados obtidos, é possível estabelecer relações causais entre as variáveis estudadas. Nesse sentido, pode-se afirmar que o presente estudo se enquadra como pesquisa experimental, pois se propõe a testar e avaliar as propriedades mecânicas e durabilidade dos blocos produzidos com a substituição parcial da areia por conchas de Sururu trituradas.

Lucas *et al.* (2022) aponta o fluxograma como o ponto central do mapeamento de processos, frequentemente utilizado para fins de organização de informações. A Figura 11, a seguir, apresenta o fluxograma do procedimento experimental utilizado nesta pesquisa.

A primeira etapa da pesquisa correspondeu à fase de caracterização das conchas de Sururu. Esta etapa contemplou os processos de coleta, limpeza e trituração das conchas, para submissão às análises: Análise Granulométrica, análise química por Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX) e análise Termogravimétrica (ATG), a fim de conhecer as composições físico-químicas do subproduto.

Figura 11 – Fluxograma do Procedimento Experimental



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Na segunda etapa foram realizados o planejamento, estudo do traço e execução dos processos de desenvolvimento do piso intertravado como: determinação das dosagens, relação água/cimento, granulometrias, percentuais de substituição da areia por grãos das conchas de Sururu para preparação do concreto e, por fim, a moldagem dos corpos de provas para realização dos ensaios laboratoriais.

Na terceira fase, conduzimos ensaios laboratoriais nas unidades amostrais para quantificar propriedades físicas do produto em análise, como a resistência mecânica à compressão e o ensaio de absorção de água. Por fim, procederemos à análise e discussão das correlações identificadas nos resultados, culminando na investigação da viabilidade econômica do estudo.

3.1 COLETA DA MATÉRIA-PRIMA

A coleta das conchas de Sururu foi realizada na comunidade pesqueira do Vergel na cidade de Maceió-AL, conforme apresentado na Figura 12, no período de setembro de 2022. A matéria-prima foi transportada para o Laboratório de Materiais de Construção Civil do Ifal - *campus* Palmeira dos Índios, para higienização, secagem e moagem.

Figura 12 - Pescadores coletando Sururu às margens da lagoa Mundaú, Maceió-AL



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As amostras do material moído foram destinadas para a caracterização do subproduto e, posteriormente, confecção dos corpos de prova.

3.2. LIMPEZA E HIGIENIZAÇÃO DAS CONCHAS

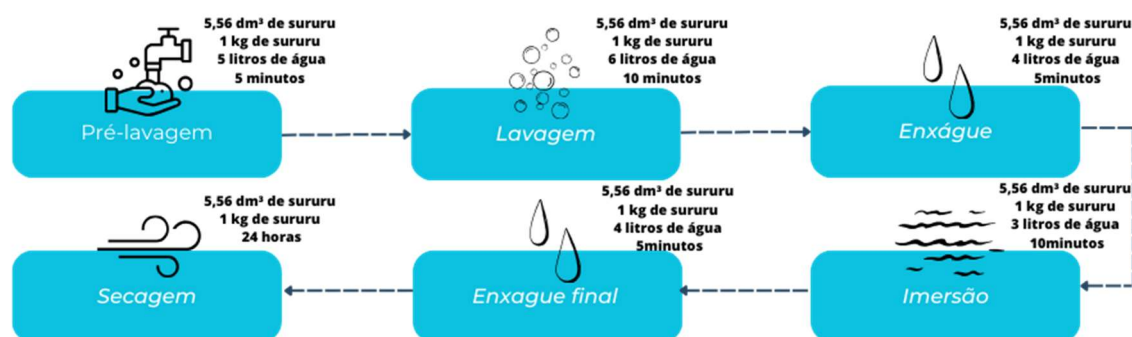
Estudos recentes têm enfatizado a importância da higiene adequada da concha do Sururu. O estudo realizado por Oliveira *et al.* (2020) analisou a presença de bactérias patogênicas em amostra de Sururu comercializada em feiras livres no estado do Maranhão, Brasil. Os resultados indicaram que 60% das amostras estavam contaminadas por bactérias patogênicas, incluindo *Vibrio spp.* Os autores recomendam a adoção de medidas de higiene para minimizar o risco de contaminação. Outro estudo, realizado por Macedo *et al.* (2019), avaliou a eficácia de diferentes métodos de estabilização da concha do Sururu na redução da carga microbiana. Os resultados indicaram que a imersão em solução de hipoclorito de sódio a

200ppm por 20 minutos foi o método mais eficaz na redução da carga microbiana.

No processo de preparação das conchas de Sururu coletadas na comunidade do Vergel, Maceió-AL, para a caracterização física e química, foram separados cerca de 5,56 dm³ do subproduto, com peso aproximado de 1 kg. Em seguida, as conchas foram levadas para o laboratório do Instituto Federal de Alagoas- *Campus* Palmeira dos Índios. O material coletado foi limpo, com aproximadamente 22 litros de água parada em balde para remover impurezas. Depois de utilizada no processo, a água precisou ser descartada devido a matéria orgânica. Entretanto, para produção em larga escala, a água utilizada na limpeza poderia ser encaminhada para estação de tratamento e reutilizada (MENEZES, 2019).

Menezes (2019), em seu trabalho, divide por etapas o processo de higienização das conchas do Sururu. A figura 13 apresenta de forma sintetizada o fluxo do procedimento utilizado por Menezes (2019) e que embasou o processo de limpeza das conchas neste estudo. O procedimento consiste em seis etapas para garantir eficácia na limpeza e higienização do subproduto.

Figura 13 – Fluxo do processo de limpeza e higienização



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Menezes (2019), 2023.

As etapas comuns desse processo incluíram: A pré-lavagem onde as conchas foram submersas em um recipiente com água para remover a sujeira e detritos soltos. Lavagem com água e sabão: as conchas foram lavadas com água e sabão neutro, utilizando escova macia para remover quaisquer resíduos aderidos. Enxágue: as conchas foram enxaguadas com água corrente e limpas para remover completamente o sabão. Imersão em solução sanitizante: as conchas foram imersas em solução sanitizante, preparada com hipoclorito de sódio. Essa solução ajudou a eliminar microrganismos e reduzir o risco de contaminação. Enxágue final: as conchas foram enxaguadas em água corrente limpa para remover a solução sanitizante.

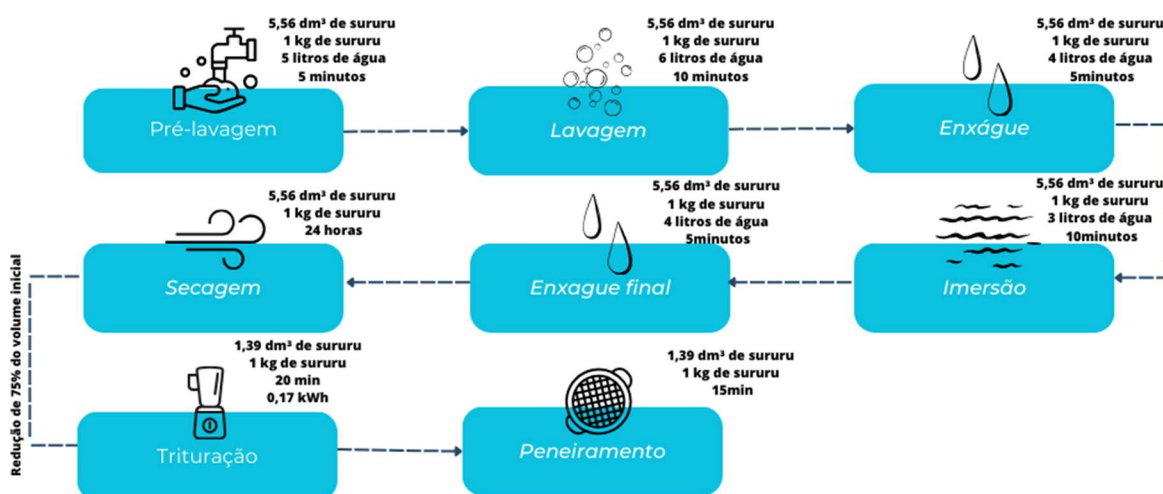
3.3 TRITURAÇÃO DAS CONCHAS

A trituração das conchas de Sururu com liquidificador foi a alternativa utilizada para o processo de moagem do subproduto. O processo de trituração com o liquidificador possibilitou a quebra das conchas em grãos menores, que foram posteriormente moídos até atingirem granulometria similar ao grão de areia para o estudo em questão.

Para realizar as análises físico-químicas da concha de Sururu, foi necessário triturar pequena porção da amostra. O processo ocorreu no Laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Alagoas-IFAL – *Campus Palmeira dos Índios/AL*, com o uso de liquidificador comum da marca Arno com potência constante de 500 watts. Esse equipamento utiliza a força centrífuga juntamente com as lâminas para pulverizar amostras através do impacto com as lâminas.

Durante todo o procedimento, que ocorreu no verão com temperatura média de 29°C, foi garantido ambiente arejado e, por isso, não foi necessário utilizar iluminação artificial ou equipamentos eletrônicos para climatização e ventilação. As atividades foram realizadas sempre no período da manhã. O fluxo do procedimento da trituração das conchas apresentado na Figura 14, complementa o fluxo apresentado na Figura 13, e dá sequência às etapas realizadas. As etapas adicionais incluíram a realização da trituração adaptada e o peneiramento inicial do material obtido a partir da concha do Sururu, a fim de avaliar a granulometria e possíveis aplicações em diferentes setores.

Figura 14 – Trituração da concha de Sururu em liquidificador comum.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Menezes (2019), 2023.

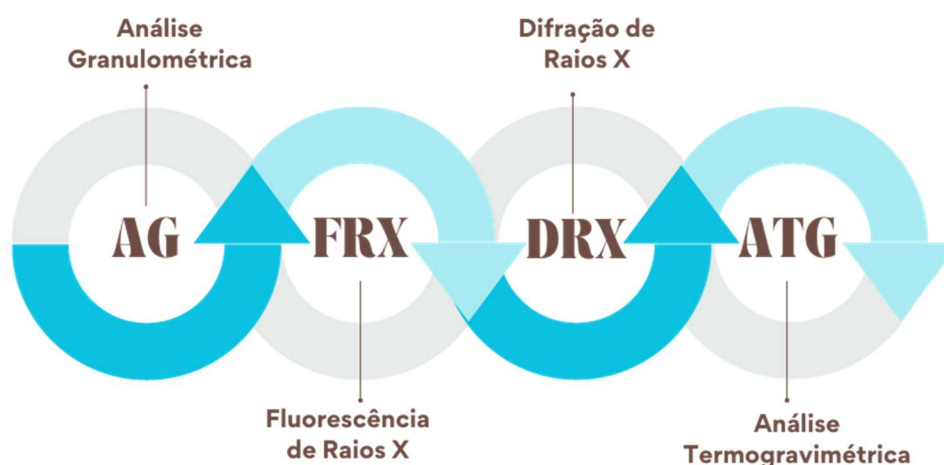
O equipamento utilizado tem capacidade de cerca de 1dm³ (1 litro) e o tempo de processamento para cada copo, contendo conchas de Sururu, foi de aproximadamente 4 minutos. É válido destacar que, após o processo de trituração, o volume do subproduto reduziu para 25% do seu volume inicial, sendo inicialmente 5,56 dm³ e passando a ser 1,39 dm³.

Embora as conchas de Sururu tenham sido processadas com sucesso, elas não apresentaram homogeneidade no tamanho dos grãos, o que exigiu a realização posterior do peneiramento do material para padronização da granulometria. Dessa forma, as conchas do Sururu foram separadas em grãos de tamanho médio (de 0,60 mm a 0,30 mm), com o objetivo de substituir parcialmente a areia média na fabricação dos corpos de prova.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO SUBPRODUTO

O subproduto derivado das conchas de Sururu foi caracterizado através das seguintes técnicas: Análise Granulométrica (AG); Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX); Análise Mineralógica por Difração de Raios X (DRX) e Análise Termogravimétrica (ATG), conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Análises técnicas realizadas no subproduto



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Na indústria, muitas vezes, um produto apresenta falhas e defeitos, mesmo após ajustes do processo produtivo. Quando isso acontece, é provável que o problema esteja na origem do processo e o melhor procedimento é realizar a caracterização dos materiais que estão sendo utilizados. A caracterização de materiais configura-se como etapa de grande relevância para a Engenharia e Ciência de Materiais, possibilitando a avaliação das propriedades e a seleção adequada dos materiais para atender as solicitações a que serão submetidos, seja na vida útil ou

no processo industrial (PIO, 2022).

A análise e a caracterização de materiais são importantes na área da Engenharia e Ciência de Materiais que permite a avaliação e seleção adequada dos materiais para atender solicitações exigidas no processo industrial. Geralmente a técnica ou série de técnicas de identificação do material baseia-se na estrutura do material, propriedades ou no processamento.

3.4.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica tem como objetivo principal conhecer a distribuição dos grãos do agregado, ou seja, identificar o percentual retido em cada faixa especificada por peneiramento com relação a massa seca total, determinando as características físicas. Os procedimentos para realização do ensaio de granulometria por peneiramento são determinados através da ABNT NBR 7181:1984 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2016).

No ensaio de análise granulométrica, é necessário levar em consideração diversos fatores, como o tipo de amostra, o tamanho da partícula, a metodologia de ensaio empregada, o tempo de agitação, a precisão da análise e o número de repetições (Pereira *et al.*, 2018). Além disso, a escolha da técnica a ser utilizada (a seco, a úmido ou combinada) deve ser feita com base nas características da amostra em questão e nos objetivos do estudo.

Para a realização do ensaio, optou-se pelo método de peneiramento em detrimento do método de sedimentação. O método de peneiramento é amplamente utilizado na análise granulométrica devido à sua facilidade de execução e precisão. As diretrizes para a realização do ensaio por peneiramento estão estabelecidas na norma ABNT NBR 7181 (2016), a qual foi seguida rigorosamente durante a execução do ensaio.

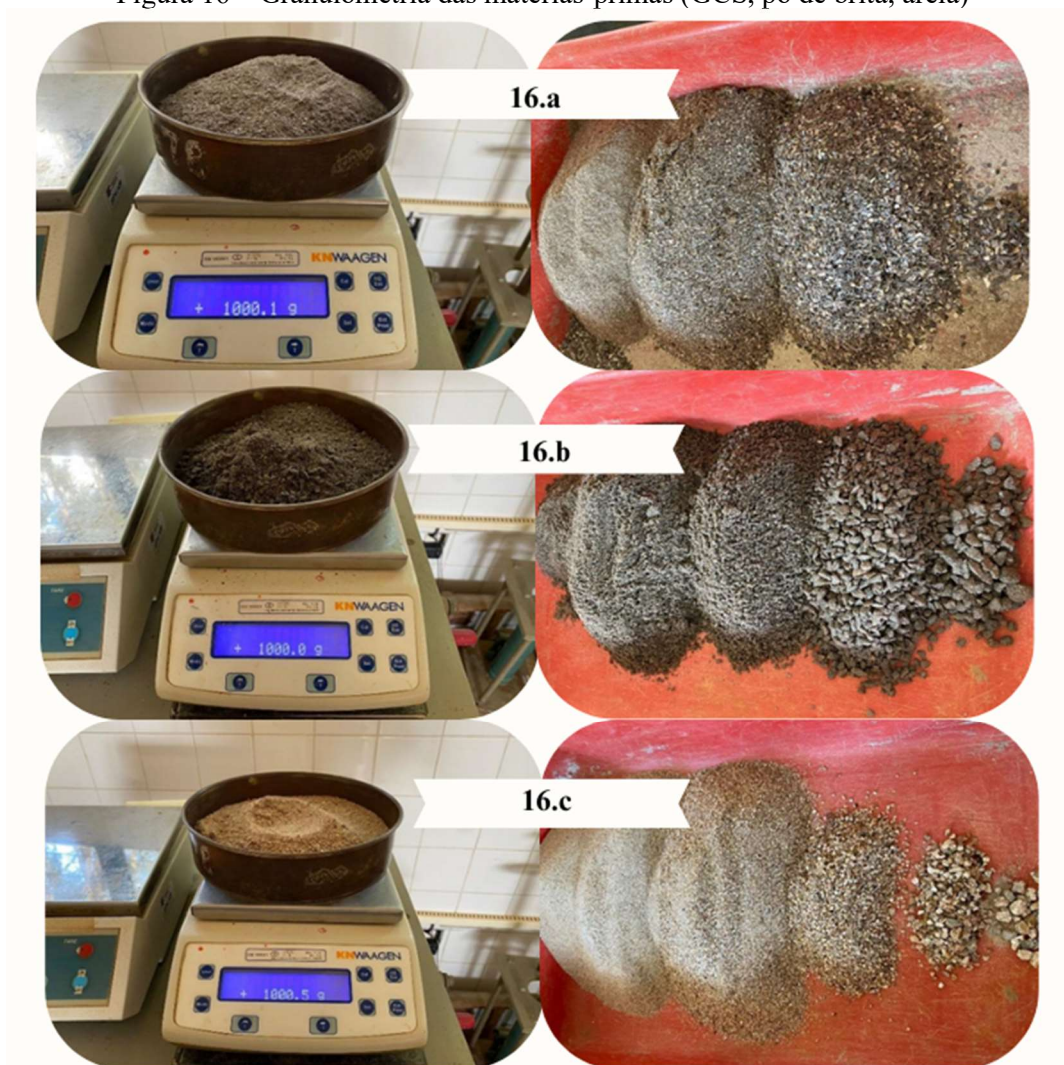
Durante a realização do ensaio de granulometria da concha de Sururu, foi utilizado o total de 1 kg do material triturado. Para garantir a uniformidade da amostra, o material foi submetido ao processo de moagem com o auxílio de liquidificador. O material então foi submetido ao processo de peneiramento com o auxílio de agitador de peneiras, seguindo as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 7181(2016), e separado em três granulometrias diferentes: grão grosso (2,40 mm a 1,20 mm), grão médio (0,60 mm a 0,30 mm) e grão fino (grãos abaixo de 0,15 mm), conforme descrito por Silva (2021).

No presente trabalho, além da análise granulométrica do grão de Sururu, também foi realizada a análise granulométrica da areia e do pó de brita utilizados como agregados na produção do concreto. O pó de brita atua como um agregado fino, contribuindo para preencher os vazios entre os grãos de areia e a pasta de cimento.

Essa análise foi fundamental para avaliar as características dos agregados, como a distribuição de tamanhos de partículas e influência nas propriedades do concreto produzido.

O resultado será apresentado graficamente, dispondo-se em abcissas os diâmetros das partículas, em escala logarítmica, e em ordenadas as porcentagens das partículas menores do que os diâmetros considerados, em escala aritmética. A figura 16 ilustra o procedimento realizado com os materiais que compõem o bloco de piso intertravado, no caso a areia e o pó de brita, bem como a granulometria dos grãos das conchas de Sururu triturados.

Figura 16 – Granulometria das matérias-primas (GCS, pó de brita, areia)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

No lado esquerdo da figura, pode-se observar o processo de pesagem das amostras, na sequência grãos conchas de Sururu (16.a), pó de brita (16.b) e areia (16.c), de acordo com o método previamente descrito. Já no lado direito, é possível visualizar a distribuição granulométrica dos três materiais estudados (GCS, pó de brita e areia).

3.4.2 Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX)

Estabelecer a composição química dos materiais é de extrema importância para entender as propriedades e comportamentos em diversas aplicações, inclusive no desenvolvimento de materiais para o setor da construção civil. Nesse sentido, a análise por Fluorescência de Raios X (FRX) se mostra técnica bastante útil, permitindo identificar a composição química da amostra e a proporção em que cada elemento está presente.

De acordo com Gomes (2015), a FRX é capaz de fornecer informações precisas sobre a composição química de diferentes materiais. No caso do presente estudo, a análise permitiu identificar a composição química presente nos grãos das conchas de Sururu, etapa essencial para a compreensão do potencial como substituto parcial de agregados em concreto.

A amostra foi analisada pela técnica de Fluorescência de Raios-X utilizando o equipamento EDX-720 da marca Shimadzu, com limite de detecção do Na (11) ao U (92) (> 0,001%). Para identificação das fases cristalinas da amostra, parte do material foi submetido à análise de Difração de Raios-X (DRX), utilizando o equipamento XRD-6000 da SHIMADZU. Neste trabalho, foi utilizado o espectrômetro por fluorescência de Raios X do Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis, localizado na cidade de Natal-RN, em atmosfera a vácuo, aplicando método semiquantitativo para determinação dos elementos presentes nas amostras. A análise foi realizada com objetivo de compreender como o subproduto da cadeia extrativista do Sururu estava formado e de fazer a correlação entre os demais ensaios realizados.

3.4.3 Difração de Raios X (DRX)

A análise de Difração de Raios X (DRX) é a ferramenta que permite conhecer o tipo de estrutura cristalina dos materiais e estimar o parâmetro e configuração de rede através do Difractômetro de Raios X. Técnica amplamente utilizada para caracterização de rochas e materiais de brita e permite conhecer a composição mineralógica dos materiais cristalinos. O resultado dessa análise é exibido através de picos de intensidade ao longo do espectro, isto é, cada pico ou grupo de picos a comprimentos de onda específicos está associado a determinado mineral (RODRIGUES, 2014).

Dessa forma, o ensaio possibilitou o entendimento da microestrutura presente nos grãos das conchas de Sururu e, a partir disso, foi possível classificar o estado (cristalino ou amorfo) da amostra. Com base em estudos anteriores (SILVA *et al.*, 2021), a classificação da microestrutura dos GCS foi etapa importante para confirmar a potencialidade do uso do subproduto na condição de agregado na confecção do piso intertravado. A confirmação dessa informação foi essencial para garantir a qualidade e a durabilidade do produto final.

A amostra para realização do DRX foi selecionada com granulometria inferior a 0,075 mm por diversas razões. Primeiramente, partículas muito grandes podem apresentar dificuldades na análise da estrutura cristalina, uma vez que a difração de raios X pode ser menos precisa em cristais grandes. Por outro lado, as partículas finas têm área superficial maior e podem apresentar mais defeitos cristalinos, o que pode facilitar a análise da estrutura (SATO, 2018). Além disso, a análise por DRX nessa faixa granulométrica é capaz de identificar os minerais presentes na disposição cristalina, fornecendo informações importantes sobre a estrutura da amostra. Dessa forma, o estudo realizado pelo Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis na cidade de Natal-RN utilizou essa granulometria para a análise da amostra de conchas de Sururu.

3.4.4 Análise Termogravimétrica (ATG)

A Análise Termogravimétrica (ATG) permite o registro constante da perda de massa da amostra submetida a faixas de temperatura, com variação de tempo ou temperatura, pois, com o resultado do aumento de temperatura, há o decréscimo da massa da amostra (SANTOS, 2018). De acordo com Menezes (2019), é possível compreender o comportamento do grão de Sururu durante a decomposição térmica, bem como identificar as faixas de temperatura em que a decomposição é mais acentuada, sendo essa medida a partir de 1000°C.

No presente trabalho, a ATG foi utilizada para investigar as propriedades térmicas do grão de Sururu, como a estabilidade térmica, a precipitação e a perda de massa em diferentes temperaturas. Com base nessas informações, foi possível avaliar o comportamento do material em diferentes condições, incluindo as condições de processamento e armazenamento. No desenvolvimento do estudo, a análise termogravimétrica do grão do Sururu possibilitou investigar a influência das condições de armazenamento na estabilidade térmica do grão de Sururu.

Essa informação foi essencial para avaliar a viabilidade do uso do subproduto como matéria-prima para produção de material de construção, especialmente em condições ambientais desfavoráveis. A amostra estudada foi classificada por peneiramento na granulometria inferior a 0,075 mm, secas e analisadas no laboratório do curso técnico de química do Instituto Federal de Alagoas - IFAL, *Campus Maceió-AL*.

3.5 DOSAGEM DO TRAÇO

Após a caracterização do subproduto e da avaliação dos resultados obtidos, foi realizada a definição dos traços de substituição a serem utilizados na confecção dos corpos de prova e,

posteriormente, no piso intertravado. Devido ao fato deste trabalho buscar a análise comparativa do comportamento do concreto com a substituição do agregado miúdo pelos grãos das conchas de Sururu, definiu-se inicialmente o traço de referência para o concreto convencional, através das características da dosagem de concreto, utilizando o método da curva ABCP.

O método ABCP foi publicado em 1984 pela Associação Brasileira de Cimento Portland como Estudo Técnico intitulado - Parâmetros de Dosagem do Concreto, de autoria do Eng. Públio Penna Firme Rodrigues (revisado em 1995). Este método, baseado no texto da Norma ACI (*American Concrete Institute*) 211.1-81, constitui-se numa adaptação prática do método americano às condições brasileiras e permite a utilização de agregados graúdos britados e areia que se enquadram na norma ABNT NBR 7211(1983) - Agregados para concreto.

A metodologia considera tabelas e gráficos elaborados a partir de valores médios de resultados experimentais e se constitui em ferramenta de dosagem de concretos convencionais, adequada aos materiais mais utilizados em várias regiões do Brasil. A norma NBR 9781 (2016), estabelece como condição exigível para a aceitação de peças pré-moldadas de concreto, destinadas à pavimentação de vias, com resistência característica mínima de 35 MPa para veículos comerciais de linha, destinados ao tráfego leve a moderado.

De acordo com Menezes (2019), a análise química da concha do Sururu revelou que esse subproduto não possui propriedades pozolânicas, o que limita sua utilização como substituto do cimento em materiais cimentícios. No entanto, ainda é possível empregar a concha do Sururu como agregado em diferentes aplicações, sendo assim a dosagem do traço considerou o subproduto como substituto parcial da areia da composição do concreto.

A dosagem utilizada nesta pesquisa foi baseada no estudo de Silva *et al.* (2015). Foram avaliadas cinco composições, tendo como referência a mistura de traço em massa 1:2,33:0,37:2,00:0,43 (cimento: areia: pó de brita: brita 0: água). As demais misturas tiveram parte da areia substituída pelo grão de Sururu em diferentes porcentagens em massa. Com base em estudos anteriores, foi possível observar que a substituição de 10% da areia pelo grão de Sururu é viável para a produção de concreto com resistência mecânica adequada, sem prejudicar sua durabilidade (BRITO *et al.*, 2021).

A Tabela 3 apresenta as composições utilizadas para fabricação do concreto e posterior realização dos ensaios tecnológicos.

Tabela 3 - Composições utilizadas para fabricação do concreto

Composição	Cimento	Agregado Miúdo 1	Agregado Miúdo 2	Agregado Graúdo	Relação a/c
C R	1	2,33	0,37	2,00	0,43
C 2,5	1	2,27	0,37	2,00	0,43
C 5,0	1	2,21	0,37	2,00	0,43
C 7,5	1	2,15	0,37	2,00	0,43
C 10,0	1	2,09	0,37	2,00	0,43

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Desse modo, tomando como base Brito *et al.* (2021), foram elaboradas as quatro Composições Experimentais, cujos traços apresentam 2,5%, 5%, 7,5% e 10% de substituição da massa do agregado miúdo por GCS, sendo denominadas C 2,5 - C 5,0- C 7,5- C 10,0 fazendo referência aos traços correspondentes.

Vale ressaltar que outros estudos também investigaram a possibilidade de utilizar outros subprodutos como substitutos da areia no concreto, como RCD, conchas de mexilhões, cinza do bagaço de cana de açúcar, entre outros temas abordados no tópico 2.6.4 deste trabalho. Esses estudos indicam que a substituição da areia por subprodutos pode ser alternativa viável para a produção de concreto à luz da Economia Circular, desde que sejam considerados os aspectos relacionados à resistência mecânica, durabilidade e propriedades físicas do material.

3.6 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Para a preparação dos corpos de prova foi utilizada a betoneira 250 litros monofásica 1/2cv 220v - Menegotti do Laboratório de Materiais do Ifal, *campus* Palmeira dos Índios. Para tanto, o processo de execução do concreto seguiu as recomendações da ABNT NBR 5738 (2015) Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Posteriormente, o concreto foi introduzido nos moldes determinados para confecção dos corpos de prova. Segundo a ABNT NBR 5738/2015, a realização do adensamento do concreto será determinada de acordo com as dimensões dos corpos de provas cilíndricos e prismáticos. Os corpos de prova utilizados possuem dimensões padronizadas, de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, e foram moldados em ambiente controlado para garantir a uniformidade das amostras. De acordo com Silva (2021), a moldagem deve ser realizada de forma cuidadosa, com atenção à umidade do concreto, ao processo de vibração para eliminação de bolhas de ar, sendo

conferidos 12 golpes manuais por camada e à cura do material após a moldagem.

A quantidade de corpos de prova a serem moldados pode variar de acordo com a norma técnica utilizada e com o objetivo do estudo. Em geral, a norma ABNT NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2007), recomenda que sejam moldados no mínimo três corpos de prova para cada idade de ensaio, geralmente aos 7, 14 e 28 dias após a moldagem, e para cada traço de concreto utilizado. Para realização dos ensaios, foram confeccionados 15 corpos de prova a partir de cinco formulações, conforme supracitado na Tabela 3, incluindo o traço de referência. Cada formulação resultou em três corpos de prova, totalizando 15.

O uso de corpos múltiplos de prova é importante para garantir a representatividade dos resultados, uma vez que podem ocorrer variações na resistência mecânica do concreto dentro da mesma mistura. Além disso, a moldagem de corpos de prova adicional pode permitir avaliar outras propriedades do concreto, como permeabilidade ou resistência à flexão.

3.7 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

3.7.1 Ensaio Mecânico de Resistência à compressão

O ensaio mecânico de resistência à compressão axial até a ruptura da amostra de concreto é a ferramenta de dimensionamento e controle da qualidade mais utilizada. O concreto consiste em material heterogêneo macroestrutural, possuindo inúmeras variáveis de constituição e composição; e microestrutura, na maioria das vezes, de difícil determinação exata. Faz-se necessário conhecer ao máximo as variáveis relacionadas à realização de ensaios (SILVA, 2019).

Segundo a ABNT NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013) - Blocos intertravados de concreto - Requisitos e métodos de ensaio, o ensaio de resistência à compressão configura-se como um dos mais importantes para o estudo do desenvolvimento de blocos de piso intertravado com incorporação de subproduto. Isso porque ele permite avaliar a capacidade do material em suportar cargas aplicadas perpendicularmente à sua superfície, simulando as condições de uso a que ele será submetido no ambiente em que será empregado.

Ao realizar esse ensaio, é possível determinar a carga máxima que o bloco de piso pode suportar antes de se romper, permitindo que se estabeleça a resistência mínima para o material, que deve ser alcançada para garantir a eficiência e segurança em uso. Além disso, a resistência à compressão pode ser usada para estimar outras propriedades do material, como a resistência

à tração, flexão e abrasão.

O ensaio foi executado utilizando a prensa hidráulica da CONTECO, modelo 1.3001, do Laboratório TECOMAT, localizada em Arapiraca-AL, para análise de tensões, seguindo os parâmetros recomendados pela ABNT NBR 9781(2013).

Figura 17 – Rompimento dos corpos de prova durante ensaio de resistência à compressão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A Figura 17 apresentada acima representa o processo de ensaio de resistência à compressão realizado nos corpos de prova. Na imagem à esquerda, é mostrado o corpo de prova antes do colapso, enquanto na imagem à direita, é possível observar o corpo de prova após o rompimento ocorrido durante o ensaio.

3.7.2 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água em concreto desempenha papel crucial na avaliação das características de porosidade e permeabilidade do material, tendo importância fundamental em estudos como o desenvolvimento de piso intertravado com a substituição parcial da areia por grãos da concha de Sururu. Esse ensaio oferece informações valiosas sobre a capacidade do concreto de absorver água, o que influencia diretamente sua manutenção, resistência e desempenho em diferentes condições ambientais (MONTEIRO, 2021).

A ABNT NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação-Especificação e métodos de ensaio/2013 que rege a confecção de peças de concreto para pavimentação, estabelece que as amostras devem apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%, a partir de ensaios realizados conforme o anexo B da norma.

No contexto do desenvolvimento do piso intertravado com a substituição parcial da areia por GCS, o ensaio de absorção de água se torna essencial para entender como essa substituição influencia as propriedades de porosidade e permeabilidade do concreto resultante. Através da realização desse ensaio conforme as normas, é possível quantificar a capacidade de absorção de água do novo concreto e comparar os resultados com o concreto convencional (SANTOS, 2020). Isso fornece informações valiosas sobre como os grãos da concha de Sururu sofreram a porosidade do concreto e como essas modificações podem impactar a resistência à degradação, a permeabilidade e a durabilidade do material em ambientes reais de aplicação.

Em síntese, o ensaio de absorção de água configura-se como elemento crucial nesse estudo, fornecendo base científica sólida para entender como a substituição de materiais impactam quanto às propriedades de porosidade e permeabilidade do concreto. Embasado na literatura dos autores mencionados e na norma NBR 9778/2005- Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, esse ensaio contribui de maneira significativa para a compreensão do comportamento do concreto modificado e a viabilidade em aplicações práticas.

Na Tabela 4, conforme estipulado no Anexo B da NR9781/2013, efetuou-se a pesagem dos corpos de prova das quatro formulações, incluindo a formulação de referência. Esses corpos de prova foram inicialmente pesados a seco à temperatura ambiente, e uma segunda pesagem foi realizada após eles terem permanecido submersos em água por 24 horas, com o objetivo de determinar a quantidade de água absorvida pelos corpos de prova.

Tabela 4 – Pesagem dos Corpos de prova secos e úmidos

FORMULAÇÃO		PESO ÚMIDO (g)	PESO SECO (g)
CR	I	3649,40	3633,60
	II	3619,30	3604,40
	III	3698,40	3685,30
C-2,5	I	3721,40	3692,00
	II	3772,20	3744,00
	III	3773,20	3744,00
C-5,0	I	3573,40	3557,60
	II	3600,90	3588,50
	III	3595,00	3579,50
C-7,5	I	3599,50	3579,70
	II	3523,60	3505,10
	III	3605,60	3586,90
C-10,0	I	3611,70	3589,40
	II	3698,70	3677,60
	III	3687,70	3662,50

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Esse ensaio seguiu o especificado pela ABNT NBR 9778/2005 e foi realizado no Laboratório de Materiais do Ifal, *Campus Palmeira dos Índios*.

3.8 VIABILIDADE ECONÔMICA

A estratégia econômica para a comercialização da concha de Sururu como um agregado alternativo na indústria da construção encontra respaldo em casos de sucesso de produtos similares anteriormente comercializados.

Conforme apontado por Batista *et al.* (2009), pesquisas indicam a previsão da utilização de conchas de ostras e mexilhões na produção de blocos de concreto e pavimentos. O processo envolveu a lavagem, secagem ao sol e trituração das conchas de moluscos, que foram posteriormente incorporadas a demais componentes na fabricação de blocos de concreto e pavimentos. Os resultados demonstraram uma alta previsão desses produtos, oferecendo uma alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos originados na maricultura.

Além disso, estudos contínuos de Philippi *et al.* (2013) exploraram o uso de resíduos de conchas de ostras (RCO) no tratamento descentralizado de esgotos sanitários, empregando o RCO como suporte de biofilme em um biofiltro aerado submerso. Essa abordagem revelou-se eficaz na promoção da aderência e formação do biofilme, além de fornecer alcalinidade ao reator, conferindo uma notável capacidade de tamponamento.

Outra aplicação do RCO foi observada no tratamento de efluentes industriais. Santos e cols. (2014) abordaram a problemática dos corantes em efluentes da indústria têxtil, destacando a técnica de utilização do RCO na adsorção de corantes reativos azul turquesa em soluções aquosas.

Do mesmo modo, a comercialização das conchas de sururu como agregados abre novas perspectivas econômicas e sustentáveis. Embora a areia seja comumente vendida por metro cúbico, as conchas de sururu poderiam ser exploradas como uma alternativa inovadora e ecologicamente amigável, podendo inclusive ser comercializadas ensacadas. Sua utilização como agregado na construção civil não apenas ofereceria uma nova fonte de material, mas também contribuiria para a preservação do meio ambiente, reduzindo a remoção de areia de leitos fluviais. A adoção desse modelo de comercialização não apenas diversificaria o mercado, mas também poderia promover práticas mais sustentáveis na indústria da construção, destacando o potencial das conchas de sururu como uma alternativa viável e benéfica para o setor.

Durante análise de mercado realizada entre os meses de maio a julho de 2023, ao consultar fornecedores de areia da cidade de Palmeira dos Índios-AL, foi identificado que o preço médio para o metro cúbico deste recurso crucial para a construção civil é de aproximadamente R\$ 60,00 reais, enquanto sua massa específica é de 1200 Kg/m³. Essas informações, obtidas por meio de um levantamento junto aos fornecedores locais, oferecem perspectiva atualizada sobre os custos envolvidos na aquisição de areia na região, sendo relevante para empreendimentos e projetos que dependem desse insumo essencial. A tabela 5 abaixo sintetiza as informações coletadas.

Tabela 5 – Características da areia comercializada na cidade de Palmeira dos Índios-AL

Peso específico da areia	1200 Kg/m³
1 m³	R\$ 60,00
1 Kg	R\$ 0,05

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Em resumo, à luz das experiências bem-sucedidas de comercialização de produtos similares, como as conchas de ostra, as perspectivas econômicas da concha de Sururu como um agregado na indústria da construção apresentam-se promissoras. Estratégias de preços competitivos, controle de qualidade eficaz, parcerias estratégicas podem e o compromisso com soluções sustentáveis fundamentam o desenvolvimento desse mercado.

3.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com autores Maroco e Garcia-Marques (2019) e Hentschke *et al.* (2021), é crucial que se tenha cuidado na escolha das ferramentas para a análise de dados e na forma como os resultados serão apresentados no estudo experimental. Neste trabalho, utilizou-se a técnica de triangulação entre as referências, as normas brasileiras e os resultados obtidos para análise e síntese dos dados. Esses resultados foram expressos por meio de figuras, gráficos, quadros e tabelas. Ao final das análises, foram produzidas peças de piso intertravadas com a formulação que apresentou melhores resultados de resistência mecânica e permeabilidade.

No contexto de estudo do desenvolvimento do bloco de piso intertravado, a técnica de triangulação pode ser útil para garantir que os resultados obtidos por meio das diversas etapas do procedimento experimental sejam acompanhados e consistentes. A combinação das referências teóricas e normativas com os resultados experimentais, por exemplo, contribuiu para identificar inconsistências ou lacunas na formulação do concreto e na fabricação das peças de piso intertravado.

A utilização de figuras, gráficos, quadros e tabelas para apresentação dos resultados permite visualização mais clara e comparativa dos dados selecionados, para a identificação de tendências e padrões. Dessa forma, a técnica de triangulação pode ajudar a ratificar a importância dos resultados obtidos e fornecer base sólida para a produção das peças de piso intertravado com a composição que obteve os melhores resultados de resistência mecânica e permeabilidade.

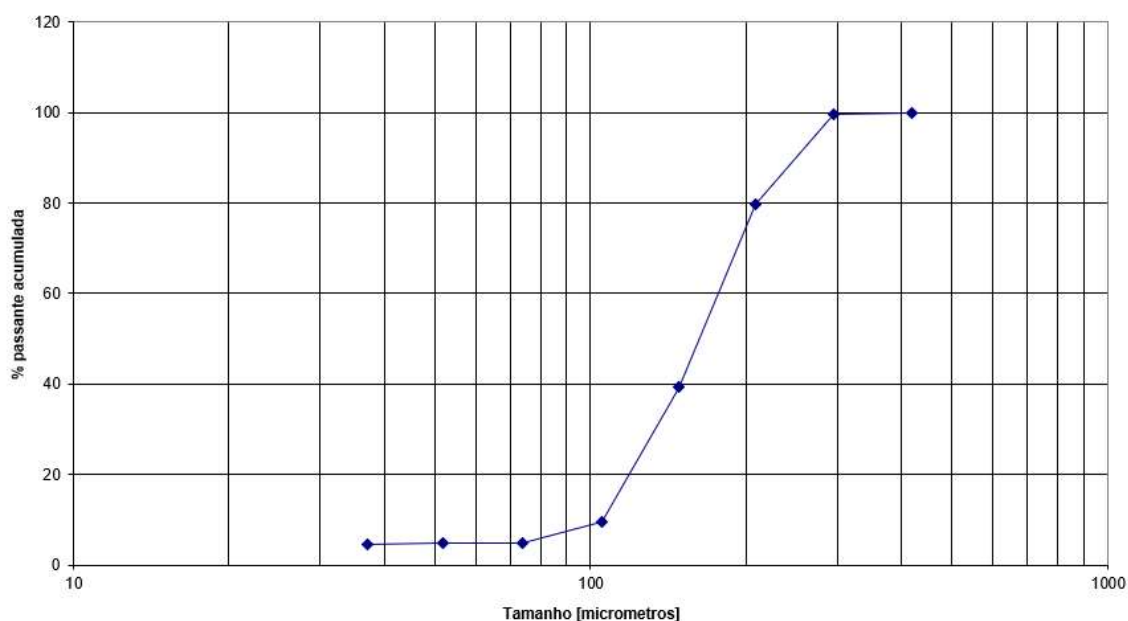
Maroco e Garcia-Marques (2019) ainda afirmam que a triangulação é abordagem essencial em pesquisas qualitativas e quantitativas, enquanto Hentschke *et al.* (2021) ressaltam a importância da triangulação para a validação e confiabilidade dos resultados obtidos em estudos de engenharia civil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A curva granulométrica abaixo representa a distribuição de tamanho da partícula da amostra da concha de Sururu, permitindo a análise das porcentagens de material retido em cada peneira de diâmetros distintos.

Gráfico 1 – Análise granulométrica da concha do Sururu



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

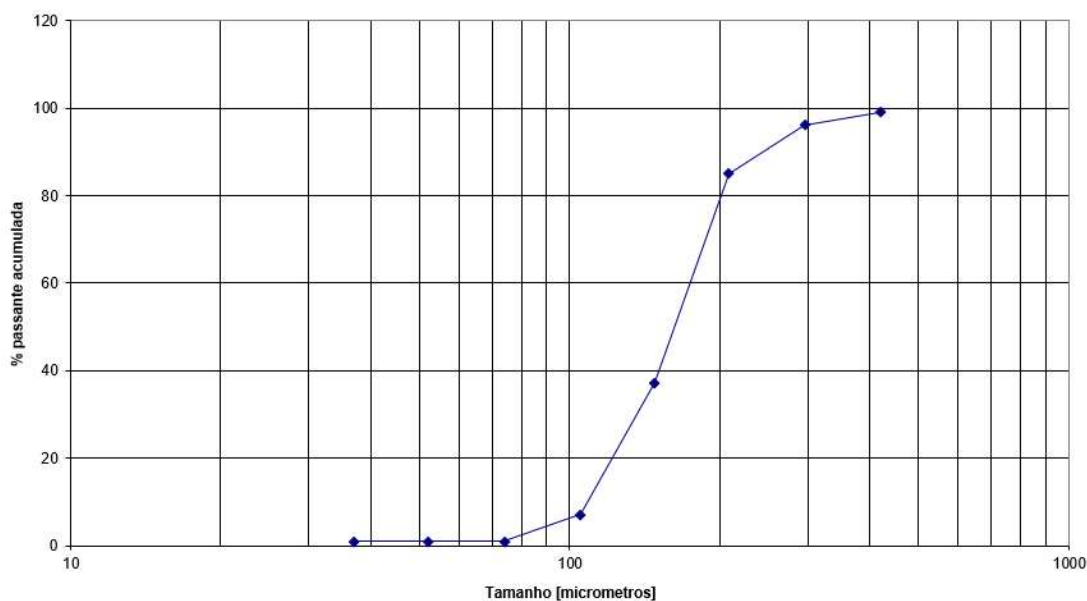
A curva granulométrica das conchas de Sururu trituradas mostrou que a maioria das partículas apresenta tamanho na faixa de 0,30 a 0,60 mm. Isso indica que o peneiramento realizado após a trituração foi eficaz em padronizar a granulometria das partículas, separando o material em grãos de tamanho médio, conforme mencionado anteriormente.

A análise granulométrica do material (Gráfico 01) revelou distribuição de tamanho de partículas que varia entre 0,15 mm e 4,80 mm. O Gráfico demonstra que a porcentagem significativa do material passa pela peneira de 0,15 mm, o que sugere a presença de partículas menores que podem influenciar nas propriedades do material final. A porcentagem de partículas retidas na faixa de classificação de areia grossa foi de 21,08%, na faixa de areia média foi de 42,49%, enquanto 31,21% foram classificadas como areia fina.

Portanto, esta informação é relevante para o controle de qualidade da produção dos materiais de construção que utilizam as conchas de Sururu trituradas como substituição parcial

da areia. Em resumo, a curva granulométrica das conchas de Sururu trituradas permite a caracterização da distribuição de tamanho extremamente reduzido, sendo uma informação relevante para a produção de materiais de construção e para possíveis aplicações em outras áreas.

Gráfico 2 – Análise granulométrica da areia



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A análise granulométrica demonstra a semelhança entre a curva granulométrica do agregado e a curva do grão da concha de Sururu, o que viabiliza a substituição parcial da areia na produção de materiais de construção. Essa semelhança nas características físicas torna possível a utilização da concha de Sururu como substituto do agregado.

Conforme evidenciado no Gráfico 02, o material apresenta uma distribuição granulométrica com diâmetro das partículas variando de 0,15 mm a 2,40 mm, com 11,25% retidas na faixa de areia grossa, 47,68% na faixa de areia média e 30,11% na faixa de areia fina.

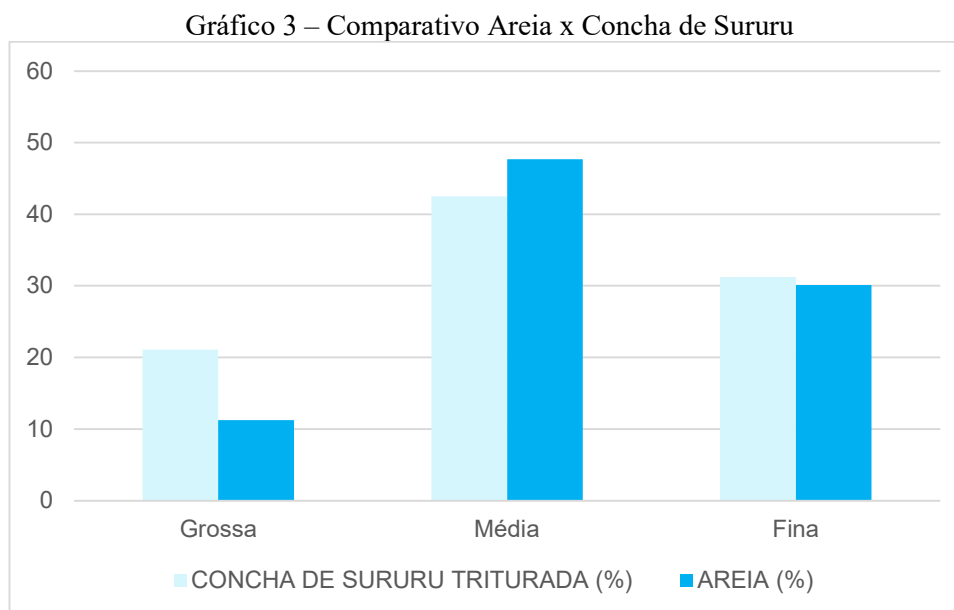
Através da análise da tabela 6, foi possível verificar que a concha de Sururu triturada apresentou maiores percentuais de grãos na classificação granulométrica grossa e percentuais similares na classificação média e fina quando comparado aos grãos de areia. É importante ressaltar que os grãos das conchas de Sururu foram obtidos através de um processo de trituração, que pode ser ajustado para permitir a obtenção de grãos mais finos.

Tabela 6 – Comparativo entre os percentuais de granulometria da areia e da concha de Sururu triturada

GRANULOMETRIA	CONCHA DE SURURU TRITURADA (%)	AREIA (%)
Grossa	21,08	11,25
Média	42,49	47,68
Fina	31,21	30,11

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

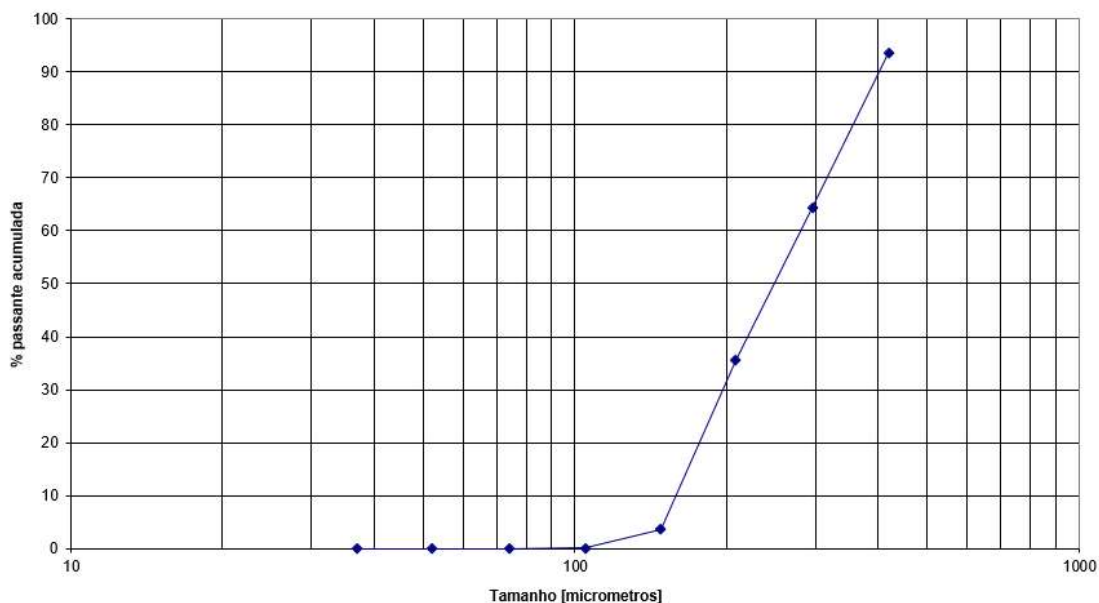
Ao observar o gráfico 3, é notável a semelhança e uniformidade dos grãos de areia e concha de Sururu triturada. Ambos os materiais mostram uma distribuição de tamanhos de partículas equilibradas, o que sugere que a concha de Sururu pode ser alternativa eficaz à areia em várias aplicações na construção. A uniformidade na granulometria configura-se como fator importante a ser considerado para avaliar o desempenho desses agregados na produção de concreto e pavimentação, pois impacta diretamente na qualidade e nas propriedades finais do material.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Ainda na determinação das características físicas dos componentes que formam o piso intertravado, foi válido determinar a granulometria do pó de brita, para entender seu comportamento junto com os demais componentes.

Gráfico 4 – Análise granulométrica do pó de brita



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Observa-se no Gráfico 4 que a curva demonstra uma retenção mais significativa nas peneiras de maior abertura, indicando uma predominância de partículas de tamanho mais grosso. Este comportamento sugere uma transição marcante da fração média para a fração grossa. Tal característica granulométrica é crucial na formulação do material, influenciando diretamente nas propriedades físicas e mecânicas dos blocos de piso intertravado, o que é fundamental para garantir a qualidade e desempenho do produto (CARNIN, 2010).

4.2 ANÁLISE QUÍMICA POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X – FRX

A análise do grão das conchas do Sururu por Fluorescência de Raios X (FRX), possibilitou a identificação dos minerais que compõem o material e suas respectivas concentrações (Tabela 7).

Tabela 7 – Análise de Fluorescência de Raios X da concha de Sururu triturada

ÓXIDOS	CaCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SrO	SO ₃	K ₂ O	Sc ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CuO
(%)	90,25	3,62	2,41	1,4	0,78	0,56	0,46	0,28	0,15	0,07	0,02

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Observa-se na Tabela 7 que o Cálcio (Ca) é o elemento majoritário e é encontrado, principalmente, na forma de carbonato de cálcio (CaCO_3) apresentando concentração de aproximadamente 90,25% dos minerais contidos na amostra. A análise da presença de carbonato de cálcio como aglomerado em blocos de concreto produzidos pode fornecer informações importantes sobre a qualidade e resistência do material. Segundo Silva *et al.* (2018) a identificação da presença e quantidade de carbonato de cálcio como aglomerado pode ajudar a avaliar a resistência mecânica e a durabilidade dos blocos, bem como identificar possíveis pontos de controle que precisam ser corrigidos para garantir a qualidade e segurança dos materiais de construção.

Martínez (2016) estudou a composição química da concha de mexilhões da região da Galícia, na Espanha, e encontrou o teor de carbonato de cálcio de 95%. Esse resultado indica que a concha de mexilhão pode ser fonte potencial de carbonato de cálcio para uso na produção de materiais de construção, como o cimento. Loffi (2014), por sua vez, realizou estudos nas conchas de ostras do litoral catarinense, no Brasil, e encontrou teores de carbonato de cálcio de 93%. Isso sugere que as conchas de ostras também podem ser fonte viável de carbonato de cálcio para uso na produção de materiais de construção.

A análise da composição química dessas conchas tem sido essencial para avaliar o seu potencial como substituto sustentável para os materiais de construção tradicionais. Essa abordagem se mostra ainda mais importante diante da necessidade de buscar soluções mais projetadas e menos impactantes para o meio ambiente.

Nesse contexto, a utilização de subprodutos provenientes da maricultura por parte dos próprios produtores e da indústria da pesca pode ser uma estratégia eficaz para reduzir a quantidade de resíduos gerados pela atividade pesqueira. Isso, por sua vez, contribui para garantir a sustentabilidade econômica e ambiental da maricultura e da pesca em geral.

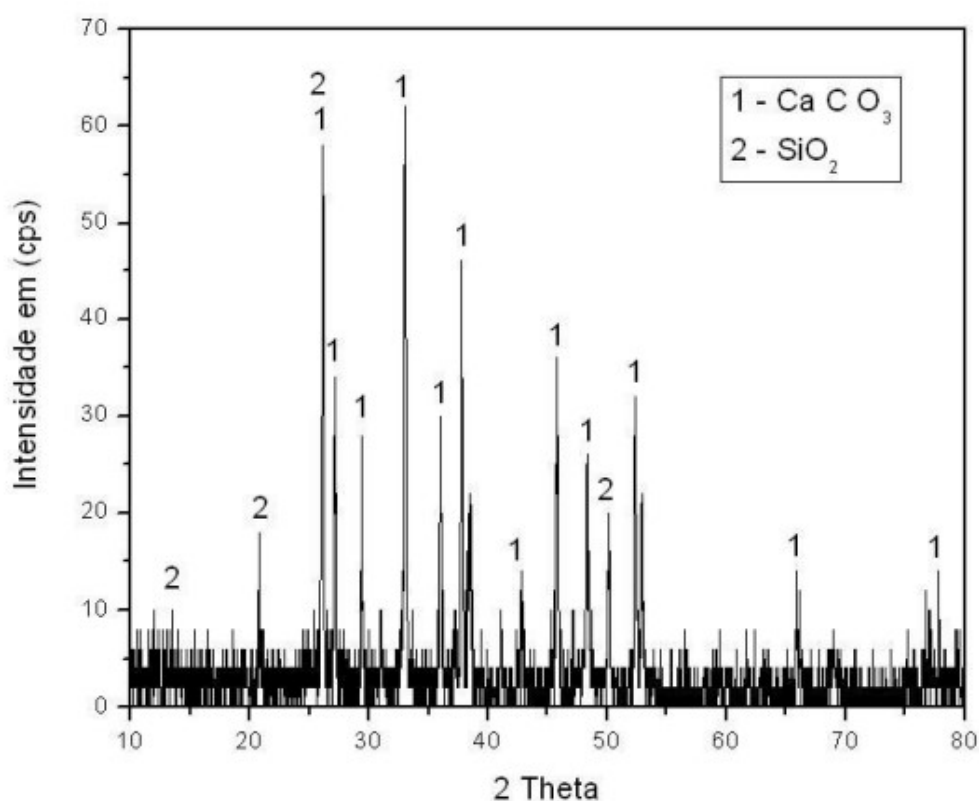
4.3 DIFRAÇÃO DE RAIOS X – DRX

No caso do pó das conchas do Sururu, o difratograma mostrou a presença de picos característicos de carbonato de cálcio (CaCO_3), principal componente mineral das conchas de moluscos. Esses picos indicam a presença de fases cristalinas do CaCO_3 na amostra. A interpretação do difratograma também permitiu a determinação da estrutura cristalina do CaCO_3 presente na amostra. Existem três estruturas cristalinas diferentes do CaCO_3 : calcita, aragonita e vaterita. No difratograma do pó das conchas do Sururu, a presença dos picos característicos permitiu a identificação da estrutura cristalina da calcita.

Portanto, a análise do difratograma do pó das conchas do Sururu mostrou que a amostra é predominantemente composta por calcita.

O resultado converge com a composição química esperada das conchas de moluscos. O Gráfico 04 apresenta o resultado da análise de difração de Raios-X (DRX) realizada na amostra da concha de Sururu triturada.

Gráfico 5 – Análise de DRX da amostra da concha de Sururu triturada



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Foi possível observar a presença de dois picos principais: um correspondente ao carbonato de cálcio (CaCO_3) e outro ao dióxido de silício (SiO_2). O pico referente ao CaCO_3 é característico da concha de Sururu, uma vez que essa substância é o principal componente químico presente nesse material. Já o pico de SiO_2 sugere a presença de impurezas ou contaminantes na amostra, possivelmente provenientes da própria técnica de trituração da concha ou de outros materiais presentes no ambiente em que a amostra foi coletada (SILVA *et al.*, 2019).

A presença desses picos de CaCO_3 e SiO_2 na análise de DRX indica que a amostra da concha de Sururu triturada é composta principalmente por carbonato de cálcio, com pequenos teores de silício.

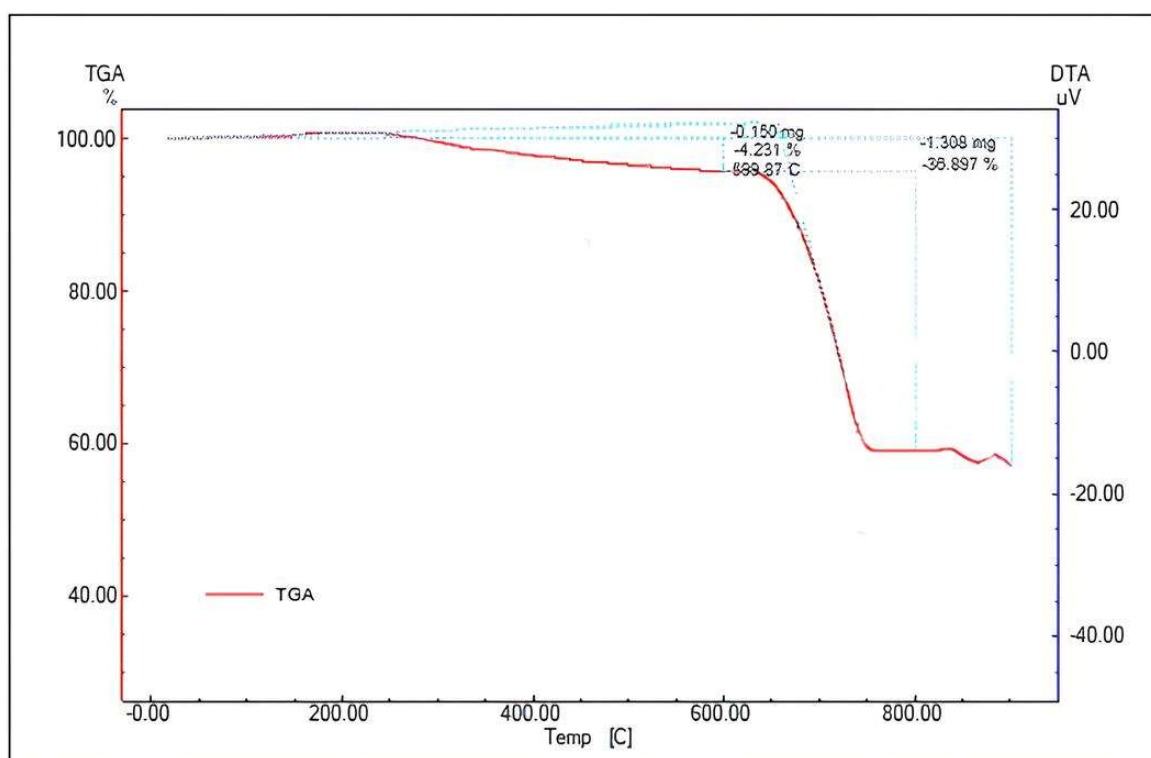
Segundo Lertwattanakul *et al.* (2012), o carbonato de cálcio na concha de Sururu é uma substância cristalina e, portanto, apresenta uma estrutura ordenada. Quando incorporado na mistura de concreto, o CaCO_3 pode atuar como uma carga ou enchimento, preenchendo espaços vazios entre as partículas e reforçando a matriz de cimento. Isso pode melhorar a resistência mecânica do concreto.

Lertwattanakul *et al.* (2012) também afirma que o dióxido de silício (SiO_2), sendo uma substância cristalina, desempenha um papel fundamental no preenchimento dos espaços vazios entre as partículas, resultando na melhoria da compactidade e na durabilidade do material.

4.4 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA - ATG

O gráfico 05 apresenta a curva termogravimétrica da concha de Sururu após processo de moagem. O resultado obtido mostrou que houve perda de massa de cerca de 4,23% quando a amostra foi mantida na faixa de temperatura de 200 - 600°C. De acordo com Rodriguez Álvaro (2014), esse comportamento é devido à desidratação dos compostos orgânicos presentes na amostra. Em estudos anteriores com mexilhões, trata-se que a redução da massa em menos de 4% foi causada pela perda de água e de compostos orgânicos voláteis, ou seja, parte da estrutura celular do animal.

Gráfico 6 – Análise Termogravimétrica da amostra da concha de Sururu triturada



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O aumento da temperatura para a faixa entre 600°C e 700°C resultou em redução de 36,89% do total da massa, indicando que essa é a faixa de temperatura de decomposição térmica. Segundo Rodriguez Álvaro (2014), a temperatura entre 670°C e 800°C é onde ocorre o principal processamento da reação térmica, que é a descarbonatação do carbonato de cálcio com perdas de massa de cerca de 40%

É importante destacar que, ao contrário de métodos que incluem a sinterização com aumento de temperatura, o processo utilizado na fabricação desse piso não implica em perda de massa. Essa ausência de perda ocorre devido à não elevação significativa da temperatura durante a produção, uma vez que a secagem é à sombra. Essa abordagem impede a liberação de carbonato de cálcio, evitando a formação de óxido de cálcio e, portanto, preservando a massa do material durante todo o processo de fabricação.

Estudos anteriores, como os prazos de Rocha *et al.* (2004) e Loffi (2014) em relação às conchas de Sururu e ostras, corroboram essa observação, destacando que a perda de massa geralmente está associada à degradação do carbonato de cálcio e à liberação de carbono. Esse aspecto ressalta a vantagem do processo de produção do piso intertravado, que permite a utilização eficiente de resíduos de conchas de Sururu, sem corrigir perdas significativas de massa, contribuindo assim para uma abordagem mais sustentável na construção civil.

4.5 ENSAIO MECÂNICO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados do ensaio de resistência à demonstração demonstram valores médios que estão em conformidade com as exigências exigidas pela NR9781/2013, onde a resistência especificada é de 35 MPa. Esta observação enfatiza que a composição dos materiais utilizados na produção do piso intertravado exibiu uma resistência satisfatória. Isso evidencia a capacidade do material em suportar cargas compressivas, atendendo assim aos requisitos de segurança e desempenho estabelecidos pelas normas vigentes. Esses resultados são consistentes com a proposta de utilização dos materiais na construção civil, atestando a viabilidade para aplicação desenvolvida. A Tabela 8 apresenta de forma detalhada os valores médios obtidos no ensaio, fornecendo visão precisa do desempenho dos materiais em termos de resistência à compressão.

Tabela 8 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão

FORMULAÇÃO		RESISTÊNCIA 28 DIAS (Mpa)	MÉDIA (Mpa)
CR	I	34,16	32,89
	II	31,4	
	III	33,1	
C-2,5	I	30,76	32,63
	II	34,5	
	III	32,63	
C-5,0	I	37,87	37,87
	II	35,02	
	III	40,71	
C-7,5	I	33,66	33,88
	II	34,04	
	III	33,93	
C-10,0	I	33,52	33,37
	II	33,84	
	III	32,74	

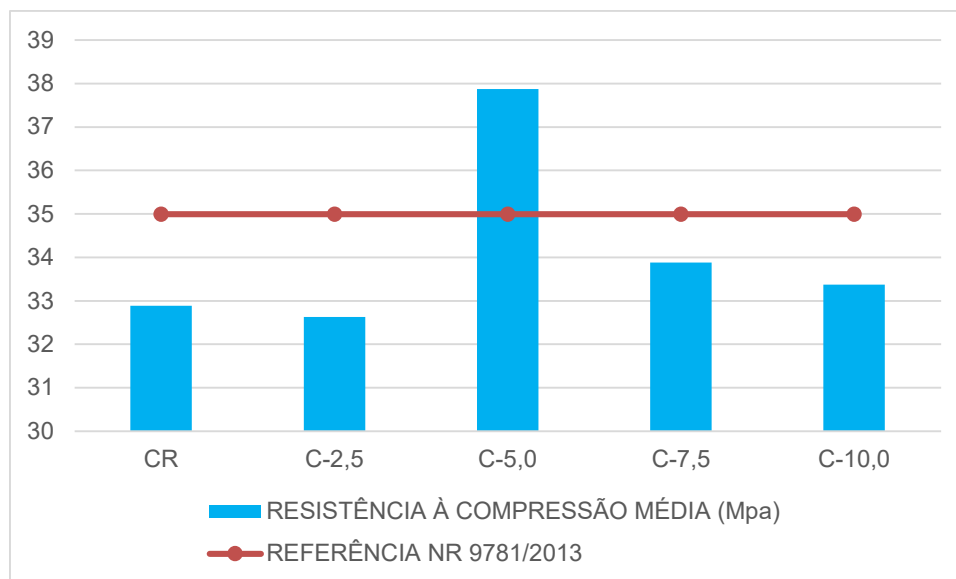
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Ao analisar os resultados na Tabela 8, destaca-se que a formulação C-5,0 demonstrou resistência superior à norma de piso estipulada em 35 MPa. Com valor médio de resistência à compressão de 37,87 MPa, a formulação C-5,0 atende os requisitos mínimos da norma. Por outro lado, as formulações C-2,5, C-7,5 e C-10 apresentaram valores médios de resistência de 32,63 MPa, 33,88 MPa e 33,37 MPa, respectivamente.

Essa diferença marcante na resistência da formulação C-5,0 em relação à norma e às outras formulações pode ser atribuída à incorporação dos grãos de concha de Sururu como substituto da areia. A maior resistência da formulação C-5,0 pode ser explicada pela combinação de fatores, incluindo a relação adequada entre os materiais e as propriedades intrínsecas dos GCS. Enquanto as formulações C-7,5 e C-10 não alcançaram resistência significativamente superior à norma, a formulação C-2,5 se destaca pela resistência um pouco abaixo do valor normativo.

Ao comparar esses resultados com estudos anteriores, verificou-se que eles estão alinhados com as conclusões apresentadas por Silva *et al.* (2019) e Santos *et al.* (2020). Estes estudos também apontaram desafios relacionados à aderência e à resistência quando se utiliza concha de Sururu como substituto de agregados miúdos. A configuração randômica e entrelaçada dos GCS pode prejudicar a aderência entre a matriz de cimento e os agregados, levando a reduções na resistência.

Gráfico 7 – Resultado do ensaio de resistência à compressão com 28 dias



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

O gráfico 7, mostra que apesar dessas variações, constatou-se que mesmo com as reduções observadas na resistência à compressão nas formulações com substituição da areia por grãos de concha de Sururu, os valores médios permaneceram dentro das classes superiores estabelecidas pelo padrão normativo vigente. Isso sugere que a formulação C-5,0, em particular, apresentou desempenho adequado para diversas aplicações em pisos intertravados, superando os requisitos normativos e reforçando a viabilidade técnica do uso da concha de Sururu em pisos intertravados.

4.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Analisando os resultados de absorção de água, representados na Tabela 8, observa-se variação nos valores obtidos para cada composição. Essa variação pode ser explicada pelas diferentes proporções de substituição de areia pelos GCS. Segundo Kuo *et al.* (2013) observaram que a substituição parcial do resíduo de concha de ostra triturado ao agregado miúdo fino exibe maior resistência à compressão e menor absorção de água em comparação à argamassa sem a substituição.

Em geral, foi observado que as misturas com maiores teores de substituição apresentaram absorção de água mais baixas, indicando menor capacidade de permeabilidade do material. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores que também relataram

redução na absorção de água com o aumento da substituição de agregados convencionais por grãos de concha de Sururu (SILVA *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2020). A diminuição na absorção pode ser atribuída à maior porosidade e irregularidade dos GCS, o que dificulta a passagem da água através do material.

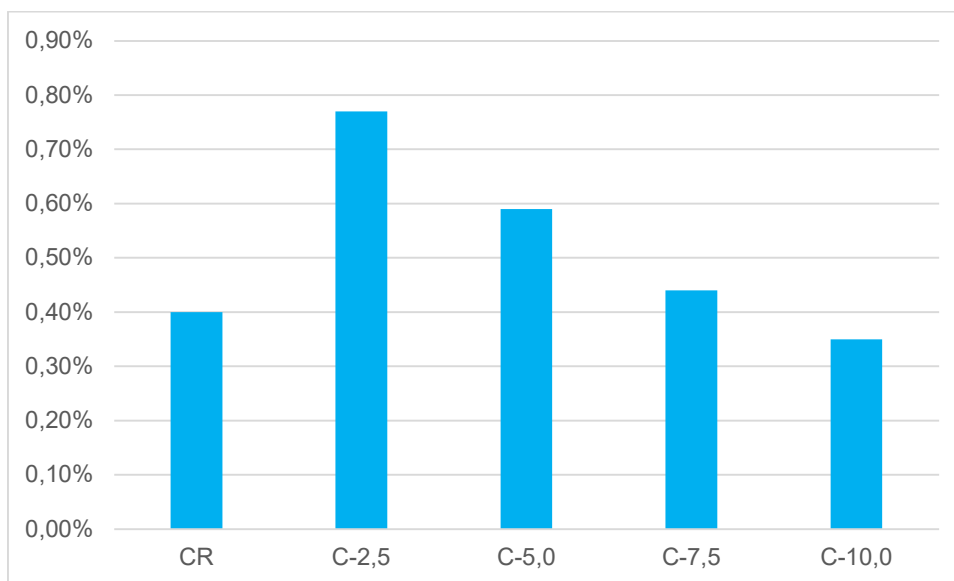
Tabela 9 – Resultados do ensaio de absorção de água

FORMULAÇÃO		PESO ÚMIDO (g)	PESO SECO (g)	VARIAÇÃO (%)	VARIAÇÃO MÉDIA (%)
CR	I	3649,40	3633,60	0,43%	0,40%
	II	3619,30	3604,40	0,41%	
	III	3698,40	3685,30	0,35%	
C-2,5	I	3721,40	3692,00	0,79%	0,77%
	II	3772,20	3744,00	0,75%	
	III	3773,20	3744,00	0,77%	
C-5,0	I	3573,40	3547,60	0,72%	0,59%
	II	3600,90	3578,50	0,62%	
	III	3595,00	3579,50	0,43%	
C-7,5	I	3599,50	3589,70	0,27%	0,44%
	II	3523,60	3505,10	0,53%	
	III	3605,60	3586,90	0,52%	
C-10,0	I	3611,70	3599,40	0,34%	0,35%
	II	3698,70	3687,60	0,30%	
	III	3687,70	3672,50	0,41%	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

No entanto, é importante destacar que a variação de absorção de água desejada pode variar de acordo com a aplicação específica do material. Em alguns casos, uma taxa de absorção mais alta pode ser desejada, por exemplo, em pisos permeáveis que visam permitir a drenagem da água. Em outros casos, a absorção mais baixa pode ser preferível, como em estruturas que exigem maior impermeabilidade.

Gráfico 8 – Resultados do ensaio de absorção de água



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Em suma, os resultados apresentados no gráfico 8, revelam consonância das formulações C2,5, C5, C7,5 e C10, nas quais ocorreram substituições parciais da areia por grãos de concha de Sururu, com os padrões normativos. A observação de uma absorção de água consistentemente inferior a 6% em todas as formulações destacou não apenas a adequação às diretrizes da ABNT NBR 9781, mas também sinaliza a eficácia da incorporação dos GCS na otimização da porosidade do concreto. Segundo Batista *et al.* (2009), a tendência de redução na absorção de água, ancorada na maior porosidade intrínseca dos grãos de concha de Sururu, aponta para o potencial aumento na durabilidade e resistência das peças de concreto em ambientes de pavimentação.

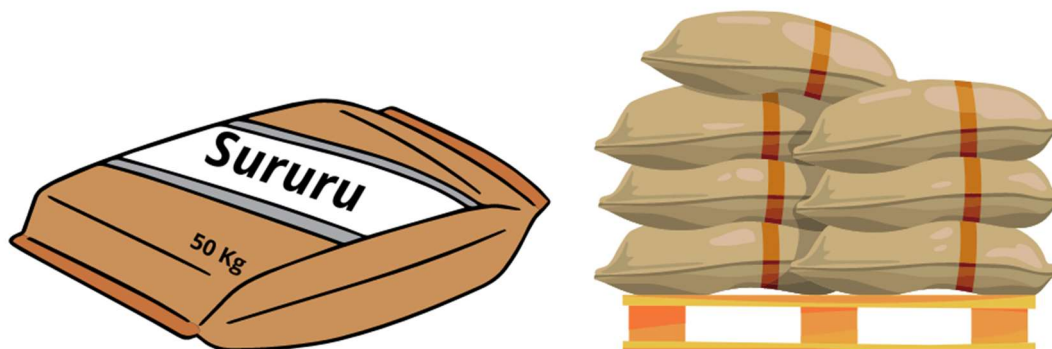
4.7 VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL

Os resultados demonstraram a viabilidade econômica da confecção do piso intertravado com a substituição parcial da areia por GCS. Além dos benefícios ambientais, a distribuição dos grãos de Sururu pode representar oportunidade lucrativa para as comunidades envolvidas na atividade extrativista do Sururu.

Para melhor compreensão dos custos envolvidos, foi realizado um estudo para determinar a quantidade de grãos de conchas Sururu necessária para ensacar e comercializar sacos de 20 kg e 50 kg. Com base nas informações transmitidas, entende-se que para ensacar os GCS em sacos de 20 kg, são necessários aproximadamente 111,20 dm³ do material *in natura*.

Já para o saco de 50 kg, estima-se que sejam necessários aproximadamente 278 dm³. Essas informações são relevantes para a análise preliminar do custo de produção e distribuição dos GCS.

Figura 18 – Ilustração de proposta de comercialização dos grãos de conchas de Sururu (GCS)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com base nos resultados de resistência à compressão, a formulação que substituiu em 5% o agregado miúdo por grãos da concha de Sururu apresentou desempenho superior às demais formulações. Esses resultados indicam que essa formulação específica possui propriedades mecânicas mais propícias em comparação com as demais. A partir dessa formulação otimizada, foi possível realizar a análise mercadológica para avaliar a previsão e o potencial desse produto no mercado, como exemplifica a figura 19, a seguir.

A Figura 19 delinea as etapas para compreensão da comercialização. Na primeira fase, são apresentados os detalhes em quilos de cada insumo necessários para a fabricação de 1 (um) bloco de piso intertravado, utilizando o traço do concreto descrito na metodologia deste trabalho, com a substituição que demonstrou melhor desempenho mecânico: 5% da areia por GCS. A segunda etapa aborda a quantidade de blocos intertravados necessários para a execução de 1 m² de piso, uma vez que a comercialização desse piso ocorre por área quadrada. Nessa etapa, também é apresentado o rendimento de 50 kg de grãos de grãos de Sururu na confecção do piso intertravado, considerando a proposta deste trabalho de comercialização em sacos de 50 kg. Na última etapa da figura, referente à comercialização, são comparados os preços de venda dos GCS com base nos valores praticados para areia na cidade de Palmeira dos Índios-AL, conforme Tabela 5 deste trabalho.

Figura 19 – Análise mercadológica da comercialização dos GCS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

É fundamental destacar que a análise econômica do piso intertravado não deve se limitar unicamente ao custo de produção. Aspectos cruciais, como a demanda do mercado, competitividade do produto e acessibilidade aos consumidores, também devem ser considerados. Além disso, é essencial avaliar minuciosamente a qualidade e o desempenho do piso intertravado, especialmente quando há a substituição parcial da areia. Essa avaliação rigorosa assegura que o produto atenda aos requisitos técnicos e normas aplicáveis pela construção civil, garantindo não apenas as metas econômicas, mas também a conformidade com padrões de qualidade e segurança.

5. CONCLUSÕES

A utilização de subprodutos na produção de materiais de construção é prática cada vez mais comum, buscando a transição para a Economia Circular. Nesse contexto, a aplicação dos grãos da concha de Sururu torna-se possibilidade para esse cenário de fechamento de ciclo. É importante destacar que este estudo se encontra em fase de desenvolvimento, tendo como primeira etapa a caracterização do subproduto do Sururu por meio de ensaios físico-químicos. Os resultados obtidos até o momento fornecem dados satisfatórios para aplicação do subproduto.

A curva granulométrica das conchas de Sururu trituradas permitiu a caracterização da distribuição do tamanho dos grãos, sendo informação relevante para a produção de materiais de construção e para possíveis aplicações em outras áreas em substituição do agregado miúdo.

Os resultados do ensaio FRX mostraram que o cálcio foi o elemento majoritário, com concentração de aproximadamente 90,25%. O ensaio DRX revelou que o pico referente ao CaCO_3 é característico da concha de Sururu, enquanto o pico de SiO_2 sugeriu a presença de impurezas ou contaminantes na amostra.

Já a análise termogravimétrica mostrou que houve perda de massa de cerca de 4,23% quando a amostra foi mantida na faixa de temperatura de 200 - 600°C, devido à desidratação dos compostos orgânicos presentes na amostra. O aumento da temperatura para a faixa entre 600°C e 700°C resultou em redução de 36,89% do total da massa, indicando que essa é a faixa de temperatura de decomposição térmica. A ATG permitiu verificar a estabilidade térmica do subproduto, indicando que ele pode ser submetido a altas temperaturas durante o processo de produção do piso intertravado sem que ocorra a degradação do material.

No que concerne à resistência, foi constatado que as formulações C2,5, C5, C7,5 e C10 demonstraram uma resistência média de 32,83 MPa, 37,87 MPa, 33,88 MPa e 33,37 MPa, respectivamente. Estes resultados contrariam as conclusões de Silva (2019), que identificou uma redução na resistência ao considerar a substituição parcial da areia por concha de Sururu. Portanto, é relevante destacar que a formulação C5 atendeu plenamente aos requisitos técnicos estabelecidos pela norma reguladora dos pavimentos de concreto, corroborando assim a viabilidade do uso de concreto com substituição parcial do agregado.

Em relação ao ensaio de absorção de água, observou-se que as formulações C2,5, C5, C7,5 e C10 exibiram variações de apenas 0,77%, 0,59%, 0,44% e 0,35%, respectivamente. Todos esses resultados estão situados dentro da faixa aceitável para pavimentos intertravados,

de acordo com o que está estabelecido na literatura. Isso evidencia a eficácia dos grãos de concha de Sururu na promoção de uma drenagem adequada.

Diante disso, pode-se concluir que o material caracterizado neste trabalho apresenta potencial para ser utilizado como substituto parcial da areia na produção de piso intertravado, contribuindo para a redução do subproduto gerado na cadeia extrativista do Sururu e o aproveitamento desse insumo na indústria da construção civil.

6. REFERÊNCIAS

ALAGOAS, Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento AECID. Projeto de desenvolvimento sustentável da pesca e aquicultura alagoana: **Diagnóstico Propositivo**. 2008.

ALAGOAS. Secretaria Estadual de Cultura (SECULT). **Resolução Conselho Estadual de Cultura (CEC) nº 08/2014**. Diário Oficial do Estado Alagoas de: 15/12/2014. Disponível em:<<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/120498545/doeal-diario-oficial-15-12-2014-pg14>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

ALMEIDA, Tiago A. de, RODRIGUES, Fernando F., ROCHA, Glaucia O., OLIVEIRA, Yara de F. Caracterização física e química da concha de Sururu (*Mytella guyanensis*) e sua potencial aplicação na obtenção de pó calcário para uso em argamassas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 11, p. 1139-1144, nov. 2014.

AMADEI, D. I. B. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do município de Juranda/PR**. Universidade Estadual de Maringá, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. **NBR 5739** - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 15953:2011** - Pavimentos intertravados de concreto - Requisitos e métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 7181:1984** - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7211:2009** - Agregados para concreto - Especificação, Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 5738:2016** - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 16416:2015** - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos, Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 9781:2013** - Peças de concreto para pavimentação-Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ARAÚJO, K.K.; PIMENTEL, A.K. A problemática do descarte irregular dos resíduos sólidos urbanos nos bairros Vergel do Lago e Jatiúca em Maceió, Alagoas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 626-668, 2015.

BABBIE, Earl R.; MOUTON, J. **Fundamentos da pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

BATISTA, B.B.; SILVA, H. R. T.; EGERT, P.; MARCONDES, L. F. T.; SANTOS, M. V. “Bloco Verde”: reaproveitamento de resíduos da construção civil e de conchas de ostras e mariscos. **1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**, 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Plano de Ações e Gestão Integrada do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú/Manguaba–CELMM**. Brasília: Agência nacional de Águas. 2006. Disponível em: http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/planoderecursos/Celmm_Apresentacao.aspx. Acesso em: 28 de ago. de 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 4, de 31 de março de 2000. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de moluscos bivalves vivos refrigerados e/ou congelados. **Diário Oficial da União**, Brasília, 7 de abril de 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. Manual integrado de vigilância e controle de moluscos de importância econômica. Brasília: **Ministério da Saúde**, 2018.

BRITO, A. *et al.*, Utilização de pó de Sururu na produção de concreto: estudo da resistência mecânica e durabilidade. **Revista de Engenharia Civil**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 45-58, jul./set. 2021.

BRUSCA, Richard C; MOORE, Wendy; SHUSTER, Stephen M. **Invertebrados**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018.

CANZI, C. **Evaluation of the use of golden mussel (*Limnoperna fortunei* Dunker, 1857) in preparation of meal to feed tilápia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758)**. 2011. 56 f. (Mestrado em Biocombustíveis) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2011.

CARNIN, R. L. P. Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de pavimento para intertravado. **Revista Pavimentação**, ano V, 2010.

CARASEK, H. Pisamentos intertravados de concreto: alternativas viáveis e sustentáveis para pavimentação de vias, estacionamentos e calçadas. **Revista ELO – Engenharia, Logística e Operações**, v. 8, n. 2, p. 70-81, 2021.

CARVALHO, HR e cols. Potencial uso de cinza de concha de arroz e pó de brita como substituto parcial de cimento e areia em concreto. **Construção e Materiais de Construção**, v. 314, p. 110-122, 2022.

CHAVES, C. L. S. *et al.*, Conchas de Sururu (*Mytella falcata*) como substrato para o cultivo de microalgas marinhas. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 16, n. 2, p. 147-158, 2021.

CHRISTO, S. W.; FERREIRA-JUNIOR, A.L.; ABSHER, T.M. Aspectos reprodutivos de mexilhões (*Bivalvia*, Mollusca) no complexo estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 42, n. 4, p. 924-936, 2016.

COSTA, A.T. **Aproveitamento das conchas de Sururu com matéria-prima alternativa para fabricação de tijolo solo-cimento: uma abordagem em Economia Circular**. 2021. 71 f. (Mestrado em Sociedade, Tecnologias e Políticas Públicas) - Centro Universitário Tiradentes, Maceió, 2021.

COUTINHO, Mauro Knupfer *et al.* **A Cada Lata: A Extração do Sururu na Lagoa Mundaú – Alagoas. Cooperação Brasil-Espanha para o desenvolvimento de Alagoas**. Brasília: Iabs, 2014.

DAVID, J.A.O.; FONTANETTI, C.S. The Role of Mucus in *Mytella falcata* (Orbigny 1842) gills from polluted environments. **Water, air, and soil pollution**, v. 203, n. 1, p. 261-266, 2009.

DE BARROS, RML *et al.*, Avaliação da viabilidade técnica e ambiental da utilização de concreto seco na fabricação de piso intertravado. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Civil, 8., 2021, Online. **Anais[...]**. Rio de Janeiro.

DIAS, J. A. F. **Estudo sobre o mercado de pré-moldados para pavimentação de áreas públicas: Uma análise da concorrência**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

ELINWA, A. U. *et al.* Utilization potential of rice husk ash in interlocking blocks production. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 7, n. 1, p. 68-74, 2018.

EMBRAPA. Objetivos de desenvolvimento sustentável. Disponível em: <https://www.embrapa.br/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods/o-que-sao-os-ods>. Acesso em: 25 nov. 2022

FARINHA, ASM *et al.*, A influência do tipo de agregado na resistência ao desgaste e na rugosidade superficial de blocos intertravados de concreto para pavimentação. **Journal of Building Engineering**, v. 30, p. 101299, 2020.

FERNANDES, MP *et al.*, Pavimento intertravado de concreto com ingestão de resíduos de conchas de moluscos: desempenho mecânico e ambiental. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, v. 12, n. 5, pág. 852-867, 2019. OLIVEIRA, MC *et al.*, Pavimentação com blocos intertravados de concreto: estudo de caso. **Revista Engevista**, v. 22, n. 2, pág. 293-301, 2020.

FERREIRA, B. *et al.*, Patrimônio Geológico do Litoral da Região Metropolitana de Maceió – RMM, Estado de Alagoas, Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 108-130, 18 dez. 2019.

FERREIRA, R.O.P.; CRUZ, E.M.M.; MARQUES, R.S. (2019). Caracterização morfológica, biométrica e biológica de *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) (Mollusca: Bivalvia: Veneridae) no litoral do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, 45(4), e448.

FERRO, L.M.; OLIVEIRA NETTO, A.P.; AMORIM, E.L.C. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo (RAALF) utilizando conchas de Sururu (*Mytella charruana*) como meio suporte para remoção de carbono e nitrificação de esgoto sanitário. **Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology**, v. 7, n.1, p. 52-59, 2021.

FIGUEIREDO, AB *et al.* Utilização de brita 0 de granito para confecção de concretos com alto desempenho. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [SI], v. 10, n. 5, pág. 589-600, 2019. Disponível em: http://www.ama.edu.pl/download.php?ma_id=1595 . Acesso em: 13 jun. 2023.

FIORITI, Cesar Fabiano. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FIORITI, C.F., INO, A., AKASAKI, J.L. Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus”, **Acta Scientiarum Technology**, v.32, n.3, pp. 237-244, Nov. 2010.

FONSECA, L. P.; MARINHO, E.C.; NASCIMENTO, J.C.R.; SILVA, J.S.; ALMEIDA, T.G.S.; ALBUQUERQUE, T.H.S. Incorporação de pó de conchas de Sururu em formulações de blocos de concreto. **Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, v. 3, n. 2, p. 139–150, 2016.

FRANÇA, V.L.; MONTELES, J.S.; FUNO, I.C.S.A.; CASTRO, A.C.L. Seleção de áreas potenciais para o cultivo de ostra nativa, *Crassostrea* SPP. e Sururu, *Mytella falcata*, em Raposa, Maranhão. **Arquivo de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 46, n. 1, p. 62 – 75, 2013.

FULGÊNCIO, E.B.G.A. **Estudo do aproveitamento de conchas de mariscos visando a incorporação em massa de porcelanato**. 2015. 85 f. (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

GALVÃO, P. M.A. *et al.*, Bioacumulação de metais pesados em moluscos bivalves: aspectos evolutivos e ecológicos a serem considerados para a biomonitoração de ambientes marinhos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 2, p. 59-66, 2009.

GOMES, L. F.; SANTOS, D. C. Utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregado miúdo na produção de blocos de concreto intertravados. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 28, n. 4, p. 294-301, 2020.

GONÇALVES, L. B.; TENÓRIO, H.C.L.; MOTTA, P.M.S.; MARINHO, A.A. Reaproveitamento de conchas de mariscos e resíduos da construção civil em Alagoas. **Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, v. 1, n.1, p. 61–71, 2014.

HENTSCHKE, R., PELLEGRINI, LA, & NASCIMENTO-SCHULZE, CM (2021). O impacto da formação de professores em cursos de licenciatura na escola básica: revisão integrativa da literatura. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, 102, e202001.

HOOD, R. DA S. S. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

- KUO, W.T.; WANG, H.Y.; SHU, C.Y.; SU, D.S. 2013. Engineering properties of controlled low -strength materials containing waste oyster shells. **Constr. Build. Mater.** 46 (8), 128 e 133.
- LANA, S.R.V.; LANA, G.R.Q.; BARROS-JR, R.F.; SILVA, M.P.L.; SANTOS, D.S.; LEÃO, A.P.A. Utilização de conchas de Sururu como fonte alternativa de cálcio para codornas japonesas. **Revista Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 18, n. 1, p. 21-27, 2020.
- LEMOS-FREIRE, J.; SILVA, B.B.; SOUZA, A. Aspectos econômicos e higiênico-sanitários mazonie, **Biota Amazonia, Amazonian Biota**, v. 1, n. 2, p. 17-28, 2011.
- LERTWATTANARUK, P.; MAKUL, N.; SIRIPATTARAPRAVAT, C. Utilization of ground waste seashells in cement mortars for masonry and plastering. **Journal of Environmental Management**, v.111, p. 133-141, 2012.
- LIRA, T. O. R., DA SILVA, M. C. S., & SOUTO, M. L. (2021). Reaproveitamento de resíduos da pesca: uma análise dos subprodutos de *Mytella falcata* e seu potencial uso em aplicações tecnológicas e ambientais. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, 15, e2310.
- LIMA-VERDE, J. S. *et al.* **Avaliação do crescimento e da mortalidade do mexilhão Perna perna e do Sururu *Mytella falcata* em banco natural na Baía de São Marcos, São Luís, Maranhão, Brasil.** *Biotemas*, v. 25, n. 2, p. 121-128, 2012.
- LOFFI, J. (2014). **Avaliação do potencial de conchas de ostras como fonte de cálcio para aplicação em materiais de construção.** Dissertação de mestrado, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, Brasil.
- LUCAS, T. S. *et al.* Mapeamento de processos: um estudo de caso em uma indústria têxtil. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 7, n. 1, p. 136-151, 2022.
- LUZ, J.C.P.M. **Reaproveitamento da concha de Sururu como insumo em argamassas de alvenaria.** 2018. 49 f. (Mestrado Profissional em Análise de Sistemas Ambientais)- Centro Universitário CESMAC, Maceió, 2018.
- MACEDO, RH e cols. Higienização da concha de Sururu (*Mytella falcata*) por diferentes métodos: avaliação microbiológica. **Ciência Rural**, v. 49, n. 11, e20190545, 2019.
- MACEDO, MCL *et al.*, Análise comparativa entre o desempenho de pavimentos permeáveis e convencionais em área urbana. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 20., 2020, Online. **Anais[...]**. São Paulo: ANTAC, 2020.
- MARAN, José Luiz do Nascimento. **Utilização de conchas de Sururu (*Mytella falcata*) para produção de calcário marinho.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2017.
- MARCHIONI, M. L. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada.** Universidade de São Paulo, 2012.

MARTÍNEZ, C.G. **Estudo do comportamento da concha de mexilhões como agregado para fabricação de massas de concreto.** Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Arquitetura Técnica. Universidade da Coruña. La Coruña, 2016.

MARTINS, D. D. **Concha de Sururu com alternativa de correção do pH no solo e fonte de cálcio e magnésio na cultura do rabanete agroecológico.** 2018. 81f. (Mestrado em Agricultura e Ambiente)-Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2018.

MENEZES, R.C. **Desenvolvimento de argamassa de assentamento e revestimento com conchas de Sururu descartadas do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Maguaba.** 2019. 77 f. (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2019.

MOKHTAR, N.; ZAKI, M. A.; YASSIN, A. H. M. Dry concrete mix design: Effect of water content and aggregate gradation on mechanical properties. **Construction and Building Materials**, v. 248, p. 118674, 2020.

MONTANI, Carlo. Marble and stones in the world XXVIII report -international situation production and interchange. **Casa di edizioni in carrara**, v.18, 2017, 1-132 p

MAROCO, J., & GARCIA-MARQUES, T. (2019). Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas?. **Laboratório de Psicologia**, 17(2), 49-61.

MONTEIRO, J. A., SOUZA, T. P., FERREIRA, M. T. C., GUERRA, V. S. C., BEZERRA, M. S. S., & CARVALHO, T. S. (2021). Desenvolvimento de um bloco de pavimento interligado sustentável usando resíduos do processamento de concha de mexilhão. **Journal of Cleaner Production**, 314, 127983.

NASCIMENTO, C.W.S. **Conhecimento ambiental e sanitário das marisqueiras da Laguna Mundaú, Alagoas-Brasil.** 2021. 86 f. (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2021.

OLIS-MUNOZ,D.; COGOLLO-FLOREZ,J.M. La economía circular y los sistemas de control de calidad de procesos y productos. **Rev. P+L**, v16, n.1, 160-185 p., 2021.

OLIVEIRA, A. L. **Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

OLIVEIRA, LB e cols. Avaliação microbiológica de Sururu (*Mytella falcata*) comercializada em feiras livres em São Luís, MA. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 1, pág. 145-160, 2020.

PACHECO, FAL *et al.*, Avaliação da Eficácia de Aditivos Químicos em Sistemas Cimentícios com Agregados Reciclados. **Pesquisa de Materiais**, v. 24, n. 1, pág. e20201952, 2021

PEREIRA, S. A. *et al.* Biologia e pesca do Sururu, *Mytella falcata* (Orbigny, 1842), em Barra de Guaju, Estado do Maranhão. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 16, n. 1, p. 59-68, 2003.

- PEREIRA, O. M. *et al.*, Determinação dos teores de Hg, Pb, Cd, Cu e Zn em moluscos (*Crassostrea brasiliana*, *Perna perna* e *Mytella falcata*). **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 61, n. 1, p. 19-25, 2002.
- PEREIRA, O.M.; HILBERATH; R.C.; ANSARAH, P.R.A.C.; GALVÃO, M.S.N. Estimativa da produção de *Mytella falcata* e de *M. guyanensis* em bancos naturais do estuário de Ilha Comprida – SP – Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 29, n.2, p. 139 - 149, 2003.
- PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H.; PETERS, M. R.; MAGRI, M. E.; VIEIRA, F. J.; VALENTE, V. B.; Arranjos Tecnológicos para Tratamento de Esgotos Sanitários de Forma Descentralizada. **6º Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública / Fundação Nacional de Saúde**. Brasília: Funasa, 2013
- PIO, A. R. A. Caracterização de materiais: uma revisão bibliográfica. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 1-14, 2022.
- PORCELLI, A.M.; MARTÍNEZ, A.N. Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. **Revista Direito GV**, v. 14, n.3, 2018.
- PORTLAND, Associação Brasileira de Cimento. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, 2010. 36p.
- PREFEITURA DE MACEIÓ. **Superintendência Municipal de Desenvolvimento Sustentável: Prefeitura viabiliza coleta seletiva da concha de Sururu**. 2019. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/2019/11/prefeitura-viabiliza-coleta-seletiva-da-concha-de-Sururu/>>. Acesso em: 19 jan. 2023.
- RABELLO, TM, NASCIMENTO, EM, LIMA, TML, & FRANÇA, TV (2021). Influência do tipo de agregado miúdo na microestrutura e propriedades mecânicas de argamassas. **Construção e Materiais de Construção**, 276, 122178.
- RAMOS, D. D. S. (2021). **Avaliação da qualidade ambiental do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba, Alagoas**, Brasil. Monografia de graduação, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil.
- REIS, R. P. *et al.* **Moluscos Bivalves da Zona Entre-Mares do Litoral Brasileiro: Sistemática e Biologia**. São Paulo: Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2016. 298p.
- RIBEIRO, F. de M.; KRUGLIANSKAS, I. S. A. K. Economia Circular no contexto europeu: conceito e potenciais de contribuição na modernização das políticas de resíduos sólidos. *In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE (ENGEMA)*, 16., 2014, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: **ENGEMA**, 2014.
- RIOS, E. C. **Sea shells of Brasil**. 2. ed. Rio Grande do Sul: FURG, 1994.
- RODRIGUES, JA *et al.* Estudo sobre a influência da areia industrial nas propriedades do concreto. **Revista Matéria**, [SI], v. 25, n. 2, pág. e12347, 2020. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762020000200214 . Acesso em: 13 jun. 2023.

RODRIGUEZ ÁLVARO, R. **Morteros para revestimento com árido procedente de concha de mejilón**. Trabajo fin de grado. Universidade de Coruña, 2014.

RUIZ, E. C. Gestão de resíduos sólidos: Aproveitamento de subprodutos e coprodutos. In: SANTOS, A. L. S.; NASCIMENTO, D. M. (org.). **Gestão de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IntechOpen, 2020. p. 1-21.

SALES, VS *et al.*, **Conchas de Sururu *Mytella falcata* (Orbigny, 1842) na praia de Jacarecica, Maceió, Alagoas, Brasil: distribuição espacial e ecológica**. Acta Limnologica Brasiliensia, v. 29, e21, 2017.

SANTOS, EP e cols. Caracterização física e química das conchas de Sururu *Mytella falcata* e sua utilização como substratos para a produção de ostras. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 13, n. 4, pág. 39-48, 2018.

SANTOS- FILHO, R.C.; HOLANDA, E.P.T.; OLIVEIRA, L.C.F.; SILVA, V.M.F. O aproveitamento de resíduos sólidos urbanos, por meio do processo de compostagem aeróbia enriquecida com concha de Sururu para aproveitamento na construção civil. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-Alagoas**, v. 4, n.02, p. 125-134, 2017.

SANTOS, T. M.M. *et al.*, Avaliação microbiológica e da concentração de vitamina A, ferro e zinco em preparações do molusco Sururu (*Mytella falcata*). **Demetra: alimentação, nutrição & saúde**, v. 9, n. 3, p. 811-822, 2014.

SANTOS, N. E. S.; SILVA, T. E. P.; SILVA, J. J.; DUARTE, M. M. M. B. Avaliação do uso de concha de marisco como adsorvente para remoção do corante Reativo Azul Turquesa QG. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis**, SC. 19 a 22 de outubro de 2014.

SATO, T. *et al.*, Análise estrutural de nanopartículas de carbono por difração de raios-X de radiação síncrotron. **Transações de Materiais**, São Paulo, v. 59, n. 7, p. 1096-1101, 2018.

SEHNEM, S.; PEREIRA, S.C.F. Rumo à Economia Circular : Sinergia Existente entre as Definições Conceituais Correlatas e Apropriação para a Literatura Brasileira. **RECADM: Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, Curitiba, v. 1, n. 18, p.35-62, 2019.

SILVA, D.; DEBACHER, N.A.; CASTILHOS-JR, A.B.; ROHERS, F. Caracterização físicoquímica e microestrutural de conchas de moluscos bivalves provenientes de cultivos da região litorânea da ilha de Santa Catarina, **Química Nova**, v. 33,n. 5, p. 1053- 1058, 2010.

SILVA, D. F.; SILVA, D.F.; SOUSA, F.A.S. Degradação ambiental, ocupação irregular e manejo sustentável no complexo estuarino-lagunar Mundaú/Manguaba, Estado de Alagoas (AL). **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 5, n. 3, p. 152-170, 2008.

SILVA, C.O.; SILVA, A.O.; TIMOTEO, D.Á.S.; SANTOS, M.B. Estudo do uso de conchas de Sururu (*Mytella falcata*) no controle de pH da manípueira em reator anaeróbio UASB. **Revista Ibero - Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v.4, n.2, p.111-118, 2013.

SILVA, B.C.L.; GACHET, L.A.; LINTZ, R.C.C. Análise microscópica de concreto pigmentado com resíduos de borracha aplicado em piso intertravado. **Matéria**, v. 25, n. 4, 2020.

SILVA, JRB da *et al.*, Avaliação do processo de produção de cal a partir das conchas de Sururu (*Mytella falcata*). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 14, n. 1, pág. 151-162, 2019.

SILVA, LR *et al.*, **Avaliação do uso de concha de Sururu como substituto parcial de agregados em argamassas**. In: XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2021, São Carlos.

SILVA, T.C.L.; FERREIRA, B. Geomorfologia do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba – CELMM, Alagoas, Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S.L.], p. 68-79, 29 jul. 2021.

SILVA, F. M. *et al.*, Investigation on the properties of concrete tactile paving blocks made with recycled tire rubber, **Construction and Building Materials**, v. 91, p. 71–79, 2015.

SILVA, JRB da; TAVARES, MCB; COSTA, ER da. **Diagnóstico ambiental do complexo estuarino-lagunar Mundaú-Manguaba**. In: COSTA, ER da (org.). Estudos integrados em estuários brasileiros. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2008. p. 109-122.)

SILVA, AG e cols. Utilização de pó de brita como adição mineral em concretos. **Revista Tecnologia e Ambiente**, [SI], v. 24, n. 2, pág. 159-172, 2018. Disponível em: <http://www.revistas.udesc.br/index.php/revistatecnologiaeambiente/article/view/17937> . Acesso em: 13 jun. 2023.

SOUSA, J. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto-Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. Universidade de Brasília, 2001.

TAMANO, L.T. O. *et al.*, Socioeconomia e saúde dos pescadores de *Mytella falcata* da Lagoa Mundaú, Maceió-AL. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 10, p. 699-710, 2015.

TAMANO, L.T.O.; LIMA, B.B.C.; SILVA, J.; ARAÚJO, D.M. Fishing, processing, commercialization and a propose to fishery waste reuse of Sururu *Mytella falcata* in the Mundaú lagoon, Maceió AL, Brazil. **Revista Caminhos de Geografia**, v.21, n.76, p. 306-320, 2020.

ZAVADIL, P.; SILVA, R. P. DA. Identificação e sistematização de diretrizes para o design de embalagens sustentáveis. **Design e Tecnologia**, v. 3, n. 05, p. 35-47, 2013.

TORGAL, FP, *et al.*, (2020). Influência do resíduo cerâmico nas propriedades mecânicas e térmicas de blocos intertravados. **Construção e Materiais de Construção**, 240, 117886.

ZEGHICHI, N.; NADJAI, A.; HADJOUJDA, M. Effect of aggregate gradation on the mechanical properties of dry concrete mixtures. **Construction and Building Materials**, v. 284, p. 122779, 2021.

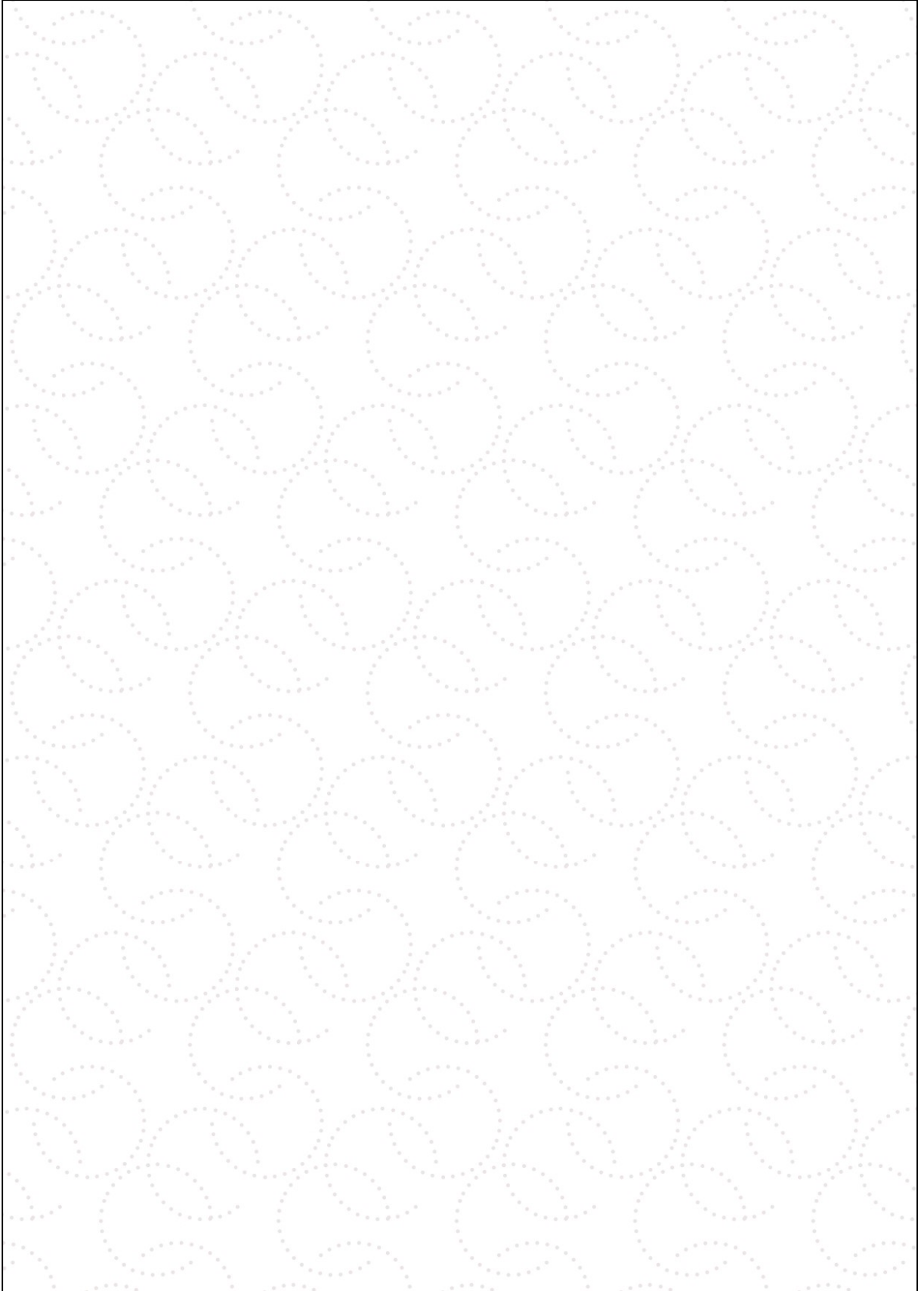
APÊNDICE 2 – CATÁLOGO TÉCNICO

CATÁLOGO TÉCNICO 4

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA,
ECONÔMICA E AMBIENTAL DA PRODUÇÃO
DE PISO INTERTRAVADO COM AGREGADO
DA CONCHA DE SURURU**

Arthur Amaral Batista Tenório
Sheyla Karolina Justino Marques





CATÁLOGO TÉCNICO 4

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DE PISO INTERTRAVADO COM AGREGADO DA CONCHA DE SURURU

© 2023 – Sistemas de Bibliotecas do Instituto Federal de Alagoas

Reitor

Carlos Guedes de Lacerda

Pró-Reitora de Ensino

Maria Cledilma Ferreira da Silva Costa

Pró-Reitora de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Eunice Palmeira da Silva

Pró-Reitor de Extensão (PROEX)

Gilberto da Cruz Gouveia Neto

Pró-Reitor de Administração

Heverton Lima de Andrade

Pró-reitora de Desenvolvimento Institucional

Carolina Mendonça de Moraes Duarte

Coordenadora do Mestrado em Tecnologias Ambientais

Sheyla Karolina Justino Marques

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS AO
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL)
Sistema de Bibliotecas (SIBI/IFAL)

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	04
INTRODUÇÃO	05
MATERIAIS E MÉTODOS	06
RESULTADOS E DISCUSSÕES	12
CONCLUSÃO	17
REFERÊNCIAS	18

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este catálogo apresenta os principais resultados e conclusões do estudo que avaliou a viabilidade de utilizar conchas de Sururu (*Mytella falcata*) como substituto do agregado miúdo no concreto para piso intertravado. O objetivo principal foi buscar uma abordagem sustentável, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Para alcançar esse objetivo, foram conduzidos testes laboratoriais para avaliar as propriedades físicas e mecânicas das conchas, bem como análises comparativas de custos e estimativas do ciclo de vida. O estudo teve como foco promover práticas energéticas na construção civil, valorizando resíduos e adotando princípios da Economia Circular.

A metodologia empregada foi dividida em três etapas distintas. Na primeira etapa, realizou-se a caracterização das conchas, com análises físico-químicas, incluindo Análise Granulométrica, Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX) e Análise Termogravimétrica (TG).

Na segunda etapa, definiu-se o traço do concreto para o piso intertravado, levando em consideração o desempenho desejado. O traço calculado em massa foi de 1:0,77:2,33:1,11:0,43 (cimento: areia: pó de brita: brita 0: água). Além disso, foram investigadas diferentes composições de substituição do agregado miúdo, variando de 2,5% a 10,0%.

Por fim, na terceira etapa, foram realizados os ensaios laboratoriais com as unidades amostrais para mensurar as propriedades físicas do piso intertravado. Foram avaliados os ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

Os resultados obtidos demonstraram a relevância do estudo no desenvolvimento de novos materiais técnicos para o mercado de piso intertravado. A incorporação dos grãos de concha de Sururu mostrou-se viável e promissora, com potencial para reduzir a demanda por agregados naturais e valorizar o subproduto da cadeia extrativista.

Essa abordagem sustentável não apenas contribui para a preservação do meio ambiente, mas também apresenta benefícios econômicos, especialmente ao considerar a utilização dos grãos de Sururu ensacados. A comercialização desse subproduto pode gerar receita adicional e promover o desenvolvimento econômico local.

Em conclusão, o estudo destacou a viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição parcial da areia por grãos de Sururu na confecção de pisos intertravados. A pesquisa contribuiu para o avanço do conhecimento e abriu caminho para novas possibilidades na indústria da construção civil, valorizando subprodutos e promovendo a sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), localizado em Alagoas, Brasil, abriga as lagoas Mundaú e Manguaba, sendo uma área de grande importância ecológica e econômica. O Sururu, um molusco bivalve encontrado nessa região, é amplamente consumido e possui relevância cultural e gastronômica (COUTINHO, 2014). No entanto, o descarte inadequado das conchas de Sururu gera problemas ambientais e de saúde pública. Nesse contexto, a fabricação de piso intertravado utilizando os grãos de Sururu como substituto do agregado miúdo surge como uma solução sustentável e viável.

Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental dessa substituição. Além de reduzir os impactos ambientais, a produção desse tipo de piso pode gerar emprego e renda para as comunidades locais. Ao adotar uma abordagem de Economia Circular, que busca a reutilização de subprodutos, é possível promover a integração entre aspectos socioambientais e econômicos.

SURURU (*Mytella falcata*)

O Sururu é um molusco bivalve encontrado na costa da América, com valvas comprimidas e protegidas por duas conchas. Ele faz parte da classe Bivalvia e é conhecido por formar colônias aderindo a substratos através do bisso. Sua presença é importante como bioindicador de metais e poluentes na água (ALMEIDA, 2014). No Brasil, o Sururu é encontrado principalmente na região Nordeste, especialmente em Alagoas e Pernambuco, onde é consumido e tem relevância socioeconômica. A sobrepesca e a degradação ambiental são ameaças para a espécie, exigindo medidas de gestão pesqueira e conservação. O CELMM é um ecossistema costeiro diversificado em Alagoas, com lagoas e estuários interligados. Cerca de 5.000 pescadores dependem da pesca do Sururu na região. Compreender os aspectos socioeconômicos é fundamental para desenvolver políticas sustentáveis. A cadeia produtiva do Sururu apresenta desafios, como a falta de um modelo circular e a geração excessiva de subprodutos, que poluem o ambiente. Medidas sustentáveis são necessárias para conservar a espécie e promover a qualidade de vida das comunidades pesqueiras (TAMANO, 2015).

Figura 1 - Sururu *Mytella falcata*



Fonte: Coutinho, 2014.

PISO INTERTRAVADO

De acordo com a NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação-Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013), o pavimento intertravado é um tipo de pavimentação rígida composta por blocos de concreto sobre uma base ou base e sub-base. O intertravamento dos blocos é garantido por meio de juntas preenchidas com material de rejunte, conforme especificado nas normas técnicas.

A estrutura típica do pavimento intertravado é composta por camadas de base, sub-base, subleito e revestimento em blocos de concreto assentados sobre uma camada de areia. A contenção lateral, como meios-fios, impede a deflexão dos blocos, enquanto a areia de vedação transfere forças entre os blocos e permite sua resistência às cargas. A utilização de subprodutos na fabricação dos blocos intertravados tem sido estudada, demonstrando que é possível produzir blocos com resistência adequada utilizando materiais alternativos. O pavimento intertravado apresenta diversas vantagens, como facilidade de implantação, utilização de equipamentos de pequeno porte, facilidade de manutenção e reutilização, além de contribuir para o conforto térmico e sustentabilidade (AMADEI, 2011).

A composição do piso intertravado envolve o uso de cimento, agregados, água e aditivos, sendo o cimento CP V amplamente utilizado devido à sua resistência mecânica e durabilidade. A areia, o pó de brita e a brita 0 são componentes essenciais na produção dos blocos, sendo que a granulometria adequada desses materiais é importante para garantir a estabilidade e resistência do pavimento. A dosagem correta dos materiais é fundamental para obter um concreto de qualidade.

Figura 2 - Blocos de concreto intertravado ou pavers

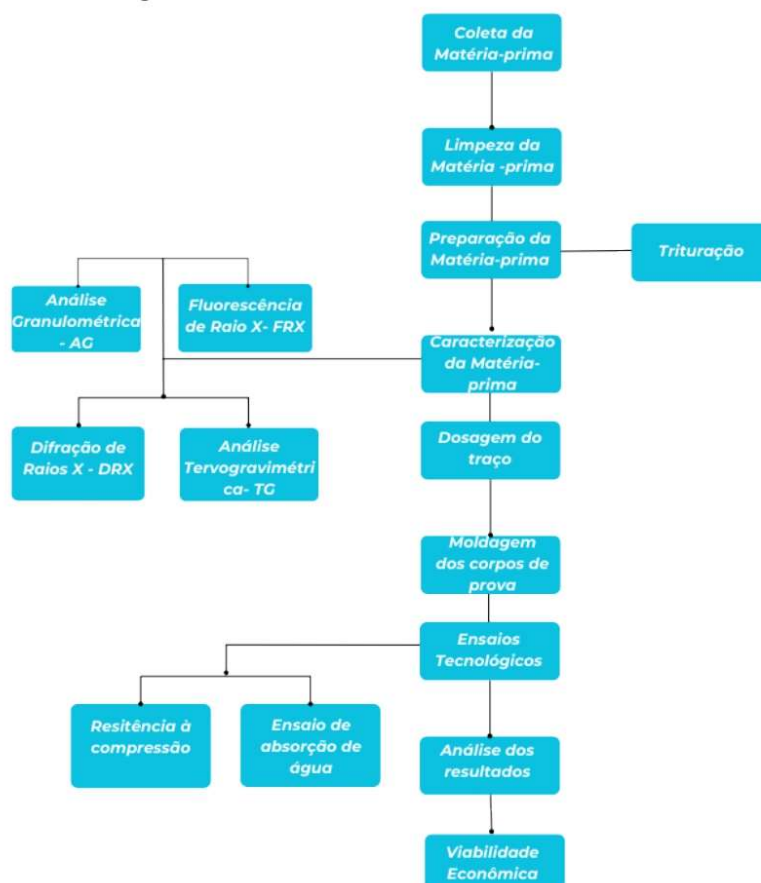


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para obter o produto deste estudo, foi essencial compreender as características da concha do Sururu e analisar sua possível utilização na produção de concreto permeável. O Fluxograma do procedimento experimental, mostrado na Figura 1, ilustra o caminho percorrido até a execução do produto, incluindo os ensaios tecnológicos necessários.

Figura 3 - Fluxograma do Procedimento Experimental



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A primeira etapa da pesquisa correspondeu à fase de caracterização das conchas de Sururu. Esta etapa contemplou os processos de coleta, limpeza e trituração das conchas, para submissão às análises: Análise Granulométrica, análise química por Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX) e análise Termogravimétrica (TG), a fim de conhecer as composições físico-químicas do subproduto.

Na segunda etapa foram realizados o planejamento, estudo do traço e execução dos processos de desenvolvimento do piso intertravado como: determinação das dosagens, relação água/cimento, granulometrias, percentuais de substituição da areia por grãos das conchas de Sururu para preparação do concreto e, por fim, a moldagem dos corpos de provas para realização dos ensaios laboratoriais.

Na terceira fase, conduzimos ensaios laboratoriais nas unidades amostrais para quantificar propriedades físicas do produto em análise, como a resistência mecânica à compressão e o ensaio de absorção de água. Por fim, procederemos à análise e discussão das correlações identificadas nos resultados, culminando na investigação da viabilidade econômica do estudo.

Coleta da Matéria-Prima

A coleta das conchas de Sururu foi realizada na comunidade pesqueira do Vergel, na cidade de Maceió, Alagoas, durante o mês de setembro de 2022. Após a coleta, a matéria-prima foi transportada para o Laboratório de Materiais de Construção Civil do Ifal - campus Palmeira dos Índios para passar pelas etapas de higienização, secagem e moagem presentes nas conchas.

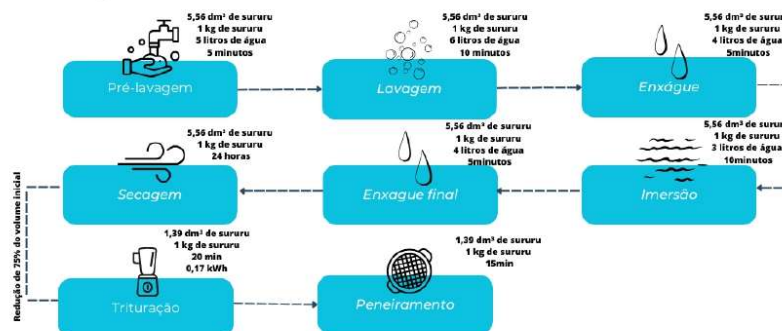
Limpeza e Higienização das Conchas

O processo de preparação das conchas coletadas incluiu etapas de limpeza e higienização para garantir a segurança do subproduto. Foram seguidas as etapas sugeridas por Menezes (2019), que envolveram a pré-lavagem, lavagem com água e sabão, enxágue, imersão em solução sanitizante e enxágue final. Esse processo assegurou a eliminação de impurezas e microrganismos

Trituração das Conchas

Para realizar as análises físico-químicas das conchas de Sururu, foi necessário triturar uma porção da amostra. Esse processo de trituração foi realizado com o auxílio de liquidificador comum da marca Arno, que possibilitou a moagem das conchas em grãos menores, semelhantes ao tamanho de grãos de areia. Durante o processo de trituração, o volume do subproduto reduziu significativamente, de aproximadamente $5,56 \text{ dm}^3$ para $1,39 \text{ dm}^3$. No entanto, a trituração resultou em uma granulometria não homogênea, o que exigiu uma etapa posterior de peneiramento para padronização do tamanho dos grãos.

Figura 4 – Trituração da concha de Sururu em liquidificador comum.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Menezes (2019), 2023.

Caracterização do Subproduto

O subproduto derivado das conchas de Sururu passou por diversas análises técnicas para sua caracterização. As técnicas utilizadas foram:

- Análise Granulométrica (AG): para avaliar a distribuição do tamanho dos grãos do subproduto.

- Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX): para identificar os elementos químicos presentes nas conchas.
- Análise Mineralógica por Difração de Raios X (DRX): para identificar os minerais presentes nas conchas.
- Análise Termogravimétrica (TG): para estudar as variações de massa do subproduto sob diferentes temperaturas e analisar sua estabilidade térmica.

Essas análises permitiram avaliar as propriedades do subproduto e selecionar os materiais adequados para atender às solicitações exigidas no processo. A caracterização é uma etapa de grande relevância para a Engenharia e Ciência de Materiais, pois fornece informações fundamentais para o desenvolvimento e otimização de produtos e processos industriais.

Análise Granulométrica

A análise granulométrica teve como objetivo determinar a distribuição dos grãos do agregado, identificando o percentual retido em cada faixa especificada por peneiramento. O método de peneiramento foi utilizado na análise dos grãos de concha de Sururu, bem como da areia e do pó de brita utilizados no concreto. A norma ABNT NBR 7181 (2016) foi seguida rigorosamente durante o ensaio.

Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX)

A técnica de Fluorescência de Raios X (FRX) foi empregada para determinar a composição química dos grãos de concha de Sururu. Essa análise é essencial para compreender as propriedades e comportamentos do material e identificar a proporção dos elementos presentes.

A análise foi realizada no equipamento EDX-720 da marca Shimadzu, seguindo o método semiquantitativo e foi feita a análise de Difração de Raios X (DRX) para identificar as fases cristalinas.

Difração de Raios X (DRX)

A análise de Difração de Raios X (DRX) permitiu conhecer a estrutura cristalina dos grãos de concha de Sururu e classificar seu estado (cristalino ou amorfo). A amostra selecionada para o DRX teve granulometria inferior a 0,075 mm, o que possibilitou identificar os minerais presentes na disposição cristalina e fornecer informações importantes sobre a estrutura da amostra.

Análise Termogravimétrica (TG)

A Análise Termogravimétrica (TG) consiste em registrar a perda de massa da amostra submetida a faixas de temperatura. Com base nos resultados obtidos, foi possível compreender o comportamento do grão de Sururu durante a decomposição térmica e identificar as faixas de temperatura em que a decomposição é mais acentuada, principalmente acima de 1000°C. A análise termogravimétrica permitiu investigar a estabilidade térmica do grão de Sururu em diferentes condições de armazenamento e avaliar sua viabilidade como matéria-prima para produção de material de construção.

Dosagem do Traço

A dosagem do traço foi realizada após a caracterização do subproduto e definição dos traços de substituição a serem utilizados na confecção dos corpos de prova e piso intertravado. Utilizando o método da curva ABCP, estabeleceu-se o traço de referência para o concreto convencional. A dosagem considerou o subproduto como substituto parcial da areia na composição do concreto. Ao definir o traço do concreto, foi estabelecida uma proporção em massa de 1:2,33:0,37:2,00:0,43 (cimento: areia: pó de brita: brita 0: água) e investigado várias composições de substituição da areia, variando de 2,5% a 10,0%.

Utilizando o método da curva ABCP, estabeleceu-se o traço de referência para o concreto convencional. A dosagem considerou o subproduto como substituto parcial da areia na composição do concreto. Ao definir o traço do concreto, foi estabelecida uma proporção em massa de 1:2,33:0,37:2,00:0,43 (cimento: areia: pó de brita: brita 0: água) e investigado várias composições de substituição da areia, variando de 2,5% a 10,0%.

Moldagem dos Corpos de Prova

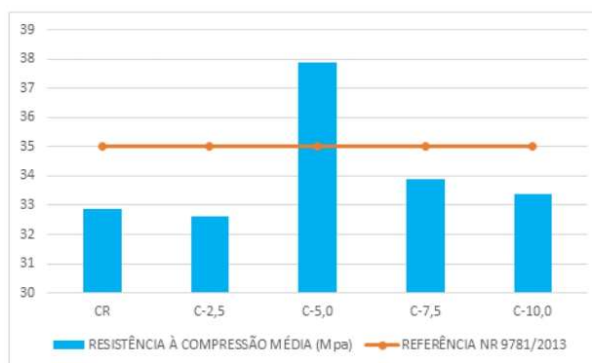
Para a preparação dos corpos de prova, utilizou-se a betoneira e seguiram-se as recomendações da ABNT NBR 5738(2015). Os corpos de prova foram moldados com dimensões padronizadas de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Foram confeccionados 15 corpos de prova a partir das cinco formulações, incluindo o traço de referência, para garantir a representatividade dos resultados.

ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Ensaio Mecânico de Resistência à Compressão

O ensaio mecânico de resistência à compressão é fundamental para dimensionar e controlar a qualidade do concreto. Foi utilizado para avaliar a capacidade do material em suportar cargas aplicadas perpendicularmente à sua superfície. O ensaio foi realizado seguindo os parâmetros recomendados pela ABNT NBR 9781(2013) e executado na prensa hidráulica do Laboratório de Materiais do Ifal. Esse ensaio permite determinar a carga máxima que o bloco de piso intertravado pode suportar antes de se romper, garantindo sua eficiência e segurança em uso.

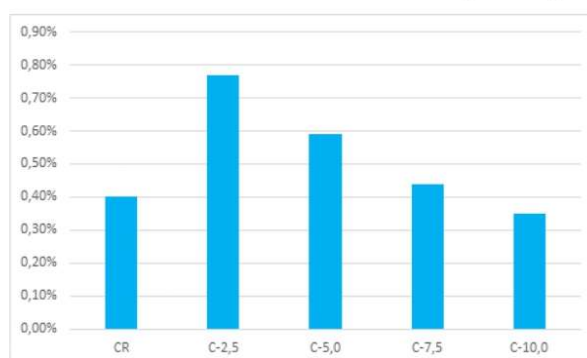
O gráfico 1, mostra que apesar dessas variações, constatou-se que mesmo com as reduções observadas na resistência à compressão nas formulações com substituição de areia por grãos de concha de Sururu, os valores médios permaneceram dentro das classes superiores estabelecidas pelo padrão normativo vigente. Isso sugere que a formulação C-5,0, em particular, apresentou desempenho adequado para diversas aplicações em pisos intertravados, superando os requisitos normativos e reforçando a viabilidade técnica do uso da concha de Sururu em pisos intertravados.

Gráfico 1 – Análise Termogravimétrica da amostra da concha de Sururu triturada

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água em concreto desempenha um papel crucial na avaliação das características de porosidade e permeabilidade do material, especialmente em estudos que envolvem a substituição parcial da areia por grãos de concha de Sururu no desenvolvimento de pisos intertravados. Esse ensaio fornece informações essenciais sobre a capacidade do concreto de absorver água, o que influencia diretamente sua manutenção, resistência e desempenho em diferentes ambientes. De acordo com a norma ABNT NBR 9781/2013, que rege a fabricação de peças de concreto para pavimentação, é necessário que as amostras apresentem uma absorção média de água não superior a 6%, com nenhum valor individual acima de 7%. Ao seguir essas diretrizes e realizar o ensaio conforme as normas estabelecidas, é possível compreender como a substituição de materiais afeta as propriedades do concreto, contribuindo significativamente para a avaliação de sua viabilidade em aplicações práticas, com base em evidências científicas sólidas (MONTEIRO, 2021).

Gráfico 2 – Resultados do ensaio de absorção de água

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Os resultados apresentados no gráfico 2, revelam a consonância das formulações C2,5, C5, C7,5 e C10, nas quais ocorreram substituições parciais da areia por grãos de concha de Sururu,

com os padrões normativos. A observação de uma absorção de água consistentemente inferior a 6% em todas as formulações destacou não apenas a adequação às diretrizes da ABNT NBR 9781, mas também sinaliza a eficácia da incorporação dos grãos de concha de Sururu na otimização da porosidade do concreto. Segundo Batista et al. (2009), a tendência de redução na absorção de água, ancorada na maior porosidade intrínseca dos grãos de concha de Sururu, aponta para o potencial aumento na durabilidade e resistência das peças de concreto em ambientes de pavimentação.

Viabilidade Econômica

A estratégia econômica para comercializar conchas de Sururu como um agregado alternativo na indústria da construção é baseada em casos de sucesso de produtos similares. Conforme Batista et al. (2009), conchas de ostras e mexilhões obtiveram um bom desempenho para serem usadas na produção de blocos de concreto e pavimentos, mostrando resultados promissores como alternativa sustentável para aproveitar resíduos da maricultura.

A comercialização das conchas de Sururu como agregados abre perspectivas econômicas e sustentáveis, proporcionando uma alternativa inovadora e ecológica à areia. Durante o período de maio a julho de 2023, uma análise foi realizada ao consultar fornecedores de areia em Palmeira dos Índios-AL, revelando que o preço médio do metro cúbico da areia é cerca de R\$ 60,00, com uma massa específica de 1200 Kg/m³.

Em resumo, com estratégias de preços competitivos, controle de qualidade e compromisso com a sustentabilidade, a perspectiva econômica das conchas de Sururu na indústria da construção é promissora.

Tabela 1 – Características da areia comercializada na cidade de Palmeira dos Índios-AL

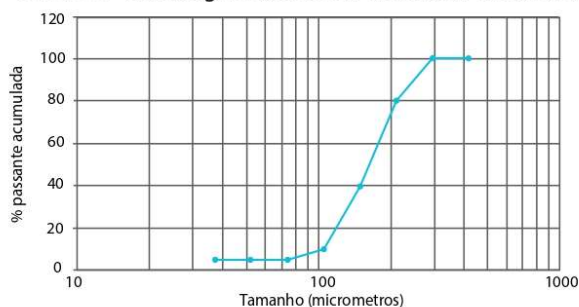
PESO ESPECÍFICO DA AREIA	1200 Kg/m ³
1 m ³	R\$60,00
1 kg	R\$0,05

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise Granulométrica

A curva granulométrica das conchas de Sururu trituradas (Gráfico 3) mostrou que a maioria das partículas apresenta tamanho na faixa de 0,30 a 0,60 mm. Isso indica que o peneiramento realizado após a trituração foi eficaz em padronizar a granulometria das partículas, separando o material em grãos de tamanho médio, conforme mencionado anteriormente.

Gráfico 3 - Análise granulométrica da concha do Sururu

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX)

Observa-se na Tabela 2 que o Cálcio (Ca) é o elemento majoritário, apresentando concentração de aproximadamente 90,25% dos minerais contidos na amostra e é encontrado, principalmente, na forma de carbonato de cálcio (CaCO_3).

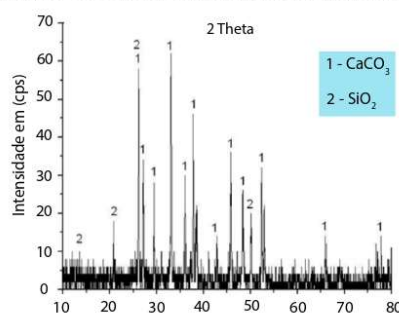
Tabela 2 - Análise de Fluorescência de Raios X da concha de Sururu triturada

ÓXIDOS (%)	Ca	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SrO	SO_3	K_2O	Sc_2O_3	TiO_2	MnO	CuO
	90,25	3,62	2,41	1,4	0,78	0,56	0,46	0,28	0,15	0,07	0,02

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Difração de Raios X (DRX)

Foi possível observar a presença de dois picos principais: um correspondente ao carbonato de cálcio (CaCO_3) e outro ao dióxido de silício (SiO_2). O pico referente ao CaCO_3 é característico da concha de Sururu, uma vez que essa substância é o principal componente químico presente nesse material.

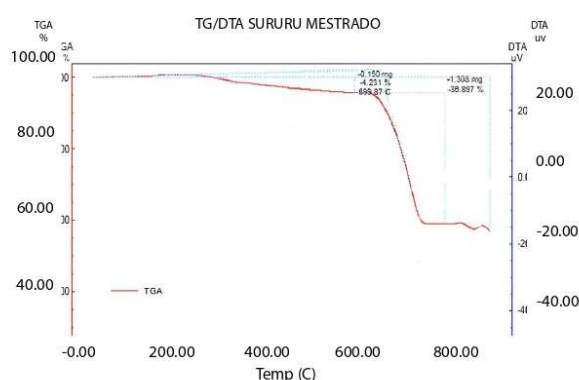
Gráfico 4 - Análise de DRX da amostra da concha de Sururu triturada

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Análise Termogravimétrica (TG)

O gráfico 5 apresenta a curva termogravimétrica da concha de Sururu após processo de moagem. O resultado obtido mostrou que houve perda de massa de cerca de 4,23% quando a amostra foi mantida na faixa de temperatura de 200 - 600°C. O aumento da temperatura para a faixa entre 600°C e 700°C resultou em redução de 36,89% do total da massa.

Gráfico 5 - Análise Termogravimétrica da amostra da concha de Sururu triturada



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Ensaio Mecânico de Resistência à Compressão

Ao analisar os resultados na Tabela 3, destaca-se que a formulação C-5,0 demonstrou uma resistência superior à norma de piso estipulada em 35 MPa. Com um valor médio de resistência à compressão de 37,87 MPa, a formulação C-5,0 excede os requisitos mínimos da norma. Por outro lado, as formulações C-2,5, C-7,5 e C-10 apresentaram valores médios de resistência de 32,63 MPa, 33,88 MPa e 33,37 MPa, respectivamente.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão

FORMULAÇÃO	RESISTÊNCIA 28 DIAS (Mpa)	Média (Mpa)
CR	I 34,16	32,89
	II 31,4	
	III 33,1	
C-2,5	I 30,76	32,63
	II 34,5	
	III 32,63	
C-5,0	I 37,87	37,87
	II 35,02	
	III 40,71	
C-7,5	I 33,66	33,88
	II 34,04	
	III 33,93	

C-10,0	I	33,52	33,37
	II	34,84	
	III	32,74	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de absorção de água

FORMULAÇÃO		PESO ÚMIDO (g)	PESO SECO (g)	VARIAÇÃO (%)	VARIAÇÃO MÉDIA (%)
CR	I	3649,40	3633,60	0,43%	0,40%
	II	3619,30	3604,40	0,41%	
	III	3698,40	3685,30	0,35%	
C-2,5	I	3721,40	3692,00	0,79%	0,77%
	II	3772,20	3744,00	0,75%	
	III	3773,20	3744,00	0,77%	
C-5,0	I	3573,40	3547,60	0,72%	0,59%
	II	3600,90	3578,50	0,62%	
	III	3595,00	3579,50	0,43%	
C-7,5	I	3599,50	3589,70	0,27%	0,44%
	II	3523,60	3505,10	0,53%	
	III	3605,60	3586,90	0,52%	
C-10,0	I	3611,70	3599,40	0,34%	0,35%
	II	3698,70	3687,60	0,30%	
	III	3687,70	3672,50	0,41%	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Viabilidade Econômica

Com base nos resultados de resistência à compressão, a formulação que substituiu em 5% o agregado miúdo por grãos da concha de Sururu apresentou desempenho superior às demais formulações. Esses resultados indicam que essa formulação específica possui propriedades mecânicas mais propícias em comparação com as demais. A partir dessa formulação otimizada, foi possível realizar a análise mercadológica para avaliar a previsão e o potencial desse produto no mercado, como exemplifica a figura 5, a seguir.

A Figura 5 delinea as etapas para compreensão da comercialização. Na primeira fase, são apresentados os detalhes em quilos de cada insumo necessários para a fabricação de um bloco de piso intertravado, utilizando o traço do concreto descrito na metodologia deste trabalho, com as substituições que demonstraram um melhor desempenho mecânico: a substituição de 5% da areia por grãos da concha de sururu. A segunda etapa aborda a quantidade de blocos intertravados necessários para a execução de 1 m² de piso, uma vez que a comercialização desse piso ocorre por área quadrada. Nessa etapa, também é apresentado o rendimento de 50 kg de grãos de sururu na confecção do piso intertravado, considerando a proposta deste trabalho de comercialização em sacos de 50 kg. Na última etapa da figura, referente à comercialização, são comparados aos preços de venda dos grãos de sururu com base nos valores praticados para a areia na cidade de Palmeira dos Índios-AL, conforme a Tabela 5 deste trabalho.

Figura 5 – Análise mercadológica da comercialização dos grãos de Sururu



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

CONCLUSÃO

A utilização de subprodutos na produção de materiais de construção é prática cada vez mais comum, buscando a transição para a Economia Circular. Nesse contexto, a aplicação dos grãos da concha de Sururu torna-se possibilidade para esse cenário de fechamento de ciclo. É importante destacar que este estudo se encontra em fase de desenvolvimento, tendo como primeira etapa a caracterização do subproduto do Sururu por meio de ensaios físico-químicos. Os resultados obtidos até o momento fornecem dados satisfatórios para aplicação do subproduto.

A curva granulométrica das conchas de Sururu trituradas permitiu a caracterização da distribuição do tamanho dos grãos, sendo informação relevante para a produção de materiais de construção e para possíveis aplicações em outras áreas em substituição do agregado miúdo. Os resultados do ensaio FRX mostraram que o cálcio foi o elemento majoritário, com concentração de aproximadamente 90,25%. O ensaio DRX revelou que o pico referente ao CaCO_3 é característico da concha de Sururu, enquanto o pico de SiO_2 sugeriu a presença de impurezas ou contaminantes na amostra.

Já a análise termogravimétrica mostrou que houve perda de massa de cerca de 4,23% quando a amostra foi mantida na faixa de temperatura de 200 - 600°C, devido à desidratação dos compostos orgânicos presentes na amostra. O aumento da temperatura para a faixa entre 600°C e 700°C resultou em redução de 36,89% do total da massa, indicando que essa é a faixa de temperatura de decomposição térmica. A TG permitiu verificar a estabilidade térmica do subproduto, indicando que ele pode ser submetido a altas temperaturas durante o processo de produção do piso intertravado sem que ocorra a degradação do material.

No que concerne à resistência, foi constatado que as formulações C2,5, C5, C7,5 e C10 demonstraram uma resistência média de 32,83 MPa, 37,87 MPa, 33,88 MPa e 33,37 MPa, respectivamente. Estes resultados contrariam as conclusões de Silva (2019), que identificou redução na resistência ao considerar a substituição parcial da areia por concha de Sururu. Portanto, é relevante destacar que a formulação C5 atendeu plenamente aos requisitos técnicos estabelecidos pela norma reguladora dos pavimentos de concreto, corroborando assim a viabilidade do uso de concreto com substituição parcial do agregado. Em relação ao ensaio de absorção de água, observou-se que as formulações C2,5, C5, C7,5 e C10 exibiram variações de apenas 0,77%, 0,59%, 0,44%

Diante disso, pode-se concluir que o material caracterizado neste trabalho apresenta potencial para ser utilizado como substituto parcial da areia na produção de piso intertravado, contribuindo para a redução do subproduto gerado na cadeia extrativista do Sururu e o aproveitamento desse insumo na indústria da construção civil. e 0,35%, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Tiago A. de, RODRIGUES, Fernando F., ROCHA, Gláucia O., OLIVEIRA, Yara de F. Caracterização física e química da concha de Sururu (*Mytella guyanensis*) e sua potencial aplicação na obtenção de pó calcário para uso em argamassas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 18, n. 11, p. 1139-1144, nov. 2014.

AMADEI, D. I. B. Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do município de Juranda/PR. Universidade Estadual de Maringá, 2011.

_____. NBR 7181:1984 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 5738:2016 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, Rio de Janeiro, 2016.

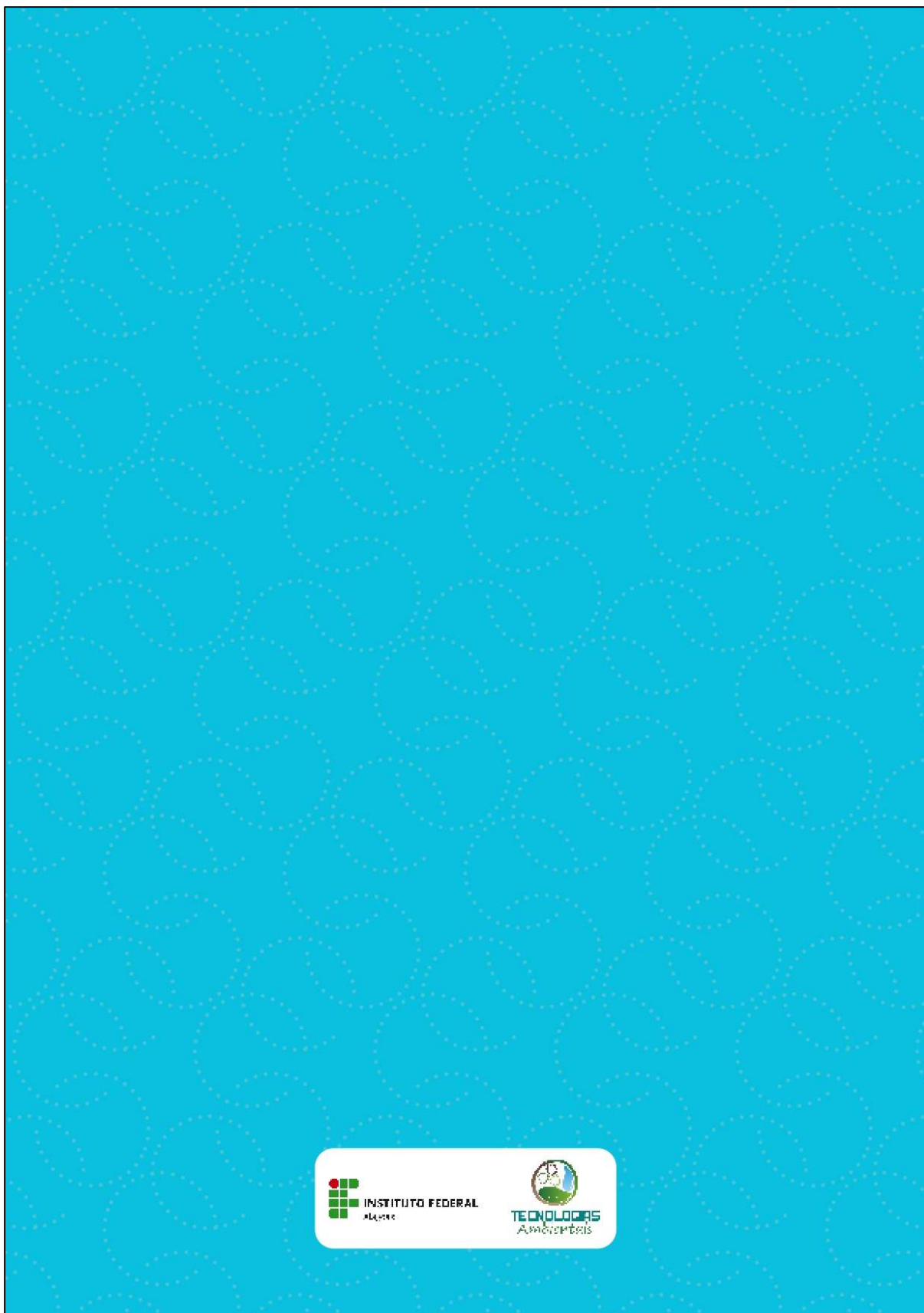
_____. NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação-Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

COUTINHO, Mauro Knupfer *et al.* A Cada Lata: A Extração do Sururu na Lagoa Mundaú – Alagoas. Cooperação Brasil-Espanha para o desenvolvimento de Alagoas. Brasília: labs, 2014.

MENEZES, R.C. Desenvolvimento de argamassa de assentamento e revestimento com conchas de Sururu descartadas do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Maguaba. 2019. 77 f. (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2019.

MONTEIRO, J. A., SOUZA, T. P., FERREIRA, M. T. C., GUERRA, V. S. C., BEZERRA, M. S. S., & CARVALHO, T. S. (2021). Desenvolvimento de um bloco de pavimento interligado sustentável usando resíduos do processamento de concha de mexilhão. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127983.

TAMANO, L.T. O. *et al.*, Socioeconomia e saúde dos pescadores de *Mytella falcata* da Lagoa Mundaú, Maceió-AL. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 10, p. 699-710, 2015.



APÊNDICE 3 – ARTIGO CIENTÍFICO

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DE PISO INTERTRAVADO COM AGREGADO DA CONCHA DE SURURU

RESUMO

Neste estudo, avaliou-se o uso de conchas de Sururu como substituto para o agregado miúdo, a areia, em concreto para piso intertravado. A abordagem de interesse socioambiental foi examinada em termos técnicos, econômicos e ambientais, com análises físico-químicas realizadas com os grãos das conchas. O traço do concreto, foi estabelecido na proporção em volume de 1:2,33:0,37:2,00:0,43 (cimento: areia: pó de brita: brita 0: água) e investigado em composições de substituição da areia, variando de 2,5% a 10,0%. Os resultados dos ensaios laboratoriais foram favoráveis, destacando a formulação C-5% que atingiu uma resistência à compressão de 37,87 MPa, atendendo aos requisitos técnicos exigidos pela norma. O ensaio de absorção de água apresentou variações dentro da faixa aceitável, abaixo de 0,77%. Este estudo destaca o potencial das conchas de Sururu como uma alternativa sustentável para pavimentos intertravados, contribuindo para inovações no mercado e enfatizando a importância da sustentabilidade na construção civil para fortalecer a Economia Circular.

Palavras-chave: Piso intertravado; concha de Sururu; ensaio mecânico.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL VIABILITY OF THE PRODUCTION OF INTERLOCKING FLOORING WITH SURURU SHELL AGGREGATE

ABSTRACT

In this study, the use of Sururu shells was evaluated as a substitute for the fine aggregate, sand, in concrete for interlocking floors. The approach of socio-environmental interest was examined in technical, economic and environmental terms, with physical-chemical analyzes carried out with the shell grains. The concrete mix was established in a volume ratio of 1:2.33:0.37:2.00:0.43 (cement: sand: crushed stone powder: crushed stone 0: water) and investigated in compositions to replace the concrete. sand, ranging from 2.5% to 10.0%. The results of the laboratory tests were favorable, highlighting the C-5% formulation which achieved a compressive strength of 37.87 MPa, meeting the technical requirements required by the standard. The water absorption test showed variations within the acceptable range, below 0.77%. This study highlights the potential of Sururu shells as a sustainable alternative

for interlocking pavements, contributing to innovations in the market and emphasizing the importance of sustainability in construction to strengthen the Circular Economy.

Keywords: Interlocked floor; Sururu shell; mechanical test.

1. INTRODUÇÃO

O Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM) é uma área importante do estuário, localizado em Alagoas, Brasil. Segundo Ramos (2021), o CELMM compreende as lagoas Mundaú e Manguaba, que possuem área total de aproximadamente 320 km² e estão distribuídas por vários municípios da região. Em todo o território de manguezais alagoanos, acontece a produção de peixes, crustáceos e moluscos típicos da região, como a lambreta, o maçunim e o Sururu¹, respectivamente.

Segundo Coutinho (2014), o Sururu, espécie *Mytella falcata*, pertence ao Filo Mollusca, que abrange aproximadamente 120 mil espécies, o segundo grupo de maior diversidade animal, ficando atrás apenas do grupo dos insetos. O Sururu destaca-se por ser um dos pescados mais populares encontrados na capital Maceió, apreciado tanto por moradores locais como por turistas, reconhecido como patrimônio gastronômico e imaterial do estado.

Na cadeia extrativista do Sururu, depois de pescado, o molusco, desprende-se da concha. As conchas do Sururu, quando não retornam às margens das lagoas, assoreando-as; são depositadas junto aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU); muitas vezes, em terrenos baldios ou mesmo nos canteiros centrais das avenidas, que costeiam as lagoas. Além da poluição visual, pode atrair roedores e insetos, causadores de doenças infecciosas; e, em virtude de sua característica cortante, também gera risco de acidentes (COUTINHO, 2014).

Dentro desse contexto, a fabricação de piso intertravado incorporado com os grãos das conchas de Sururu tem potencial não só de reduzir os impactos causados pelo descarte inadequado, como de viabilizar parcerias com associações e/ou cooperativas de pescadores e marisqueiros locais, gerando emprego e renda. Esse modo de produção está alinhado com os modernos modelos de economia e gestão ambiental, que substituem a abordagem tradicional de "fim de vida" do produto, fundamentada em um ciclo de produção e consumo centrado na extração de recursos, fabricação, uso e descarte, sem dar ênfase à reutilização ou reciclagem, como é o caso da Economia Linear (EL) e passa a apresentar valor para o produto em modelo de produção e consumo que busca minimizar o desperdício e promover a reutilização, reciclagem e recuperação de materiais, visando a sustentabilidade, a Economia Circular (EC),

¹ Nesse trabalho, adota-se a escrita e refere-se ao molusco Sururu com letra maiúscula, por se tratar de patrimônio imaterial de Alagoas.

cujos derivados podem ser recuperados, reutilizados ou reciclados, tornando-se insumos para novos processos (MENEZES, 2019).

Os pisos intertravados de concreto persistem como uma opção viável e sustentável para pavimentação de vias, estacionamentos e calçadas. A demanda por soluções rápidas de pavimentação no pós-guerra impulsionou a produção em larga escala de peças pré-moldadas de concreto (PPC), possibilitando a disseminação global e popularização dos pisos intertravados de concreto em diversas regiões (CARASEK, 2021).

Esse estudo visou avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição do agregado miúdo por grãos da concha de Sururu para a produção de piso intertravado, que compõe o concreto aplicado em piso intertravado. O desenvolvimento de piso intertravado, a partir da substituição da areia pelos grãos da concha do Sururu em diferentes traços de concreto, apresenta-se como alternativa técnica para reutilização desse subproduto, em busca de mitigar os impactos ambientais causados por essa atividade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, são delineados os detalhes da cadeia produtiva do Sururu, em Alagoas no município de Maceió. Explora-se o funcionamento do sistema extrativista, destacando o descarte das conchas de Sururu. Além disso, são apresentados estudos que investigam o potencial do subproduto da maricultura na criação de novos materiais. A funcionalidade do piso intertravado na construção civil é discutida, e são conceituadas as formulações que substituem a areia por grãos de conchas de Sururu na fabricação desse tipo de piso.

2.1 O Sururu *Mytella Falcata*

O Sururu (*M. falcata*) é um animal pertencente ao filo Mollusca, cujas três classes mais conhecidas incluem os polvos e as lulas (Cephalopoda), os caracóis e as lesmas (Gastropoda) e as ostras, os mexilhões e o Sururu, a classe Bivalvia (ALMEIDA, 2014). A principal característica da classe são os corpos comprimidos lateralmente e protegidos por duas conchas, conforme apresentado na Figura 1, chamadas valvas, articuladas na região dorsal e conectadas por ligamento elástico, que possuem capacidade de aderência e fixação aos substratos, constituídos de lama ou rocha por meio do bisso (filamento proteico), onde formam colônias de até 10 metros de profundidade em zonas entre-marés (REIS *et al.*, 2016).

Figura 1 - Sururu *Mytella falcata*

Fonte: Coutinho, 2014.

O *Mytella falcata*, no Brasil, é encontrado na região Nordeste, em especial nos estados de Alagoas e Pernambuco. É muito consumido na culinária local, sendo importante produto da pesca artesanal. Além disso, o Sururu tem grande importância ecológica, servindo como alimento para diversas espécies de animais marinhos e para a manutenção da biodiversidade na região (LIMA, 2012).

No estado de Alagoas, o Sururu é encontrado em abundância e tem grande relevância na cultura e culinária local, tendo sido reconhecido como Patrimônio Imaterial de Alagoas pelo Conselho Estadual da Cultura (CEC), por meio da Resolução nº 08/2014 (ALAGOAS, 2014). O molusco possui grande representatividade socioeconômica para muitas famílias que dependem exclusivamente do extrativismo e pesca do molusco e que em diversas situações representa a única fonte de renda e alimentação (COUTINHO *et al.*, 2014).

2.2 Produção e extrativismo em Alagoas

O Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba – CELMM, abrange área de aproximadamente 55 km² e está localizado na porção centro sul da Região Metropolitana de Maceió (RMM), capital do estado de Alagoas, com canais que ligam as Lagunas Mundaú e Manguaba em desembocadura no Oceano Atlântico (TAMANO *et al.*, 2015). Considerado ecossistema de fundamental importância biológica e de interesse cultural e acadêmico (FERREIRA *et al.*, 2019), que compreende seis municípios da região metropolitana de Maceió, sendo eles: Rio Largo, Satuba, Santa Luzia do Norte, Coqueiro Seco, Marechal Deodoro e Pilar e o próprio município de Maceió (COUTINHO *et al.*, 2014).

O complexo abrange um dos sistemas estuarinos mais importantes do país, e do estado de Alagoas. A conservação do CELMM tem grande relevância de modo que cerca de 260 mil habitantes vivem no seu entorno, além dos 5.000 pescadores (BRASIL, 2006). Mais de 90% dos pescadores que exercem suas atividades no CELMM são do sexo masculino, 73,3% não possuem o segundo grau completo e, correlata ao nível de escolaridade, a grande maioria do grupo possui renda máxima de até um salário-mínimo (TAMANO *et al.*, 2015).

De acordo com o extinto Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) do Brasil, em 2011, o Sururu representava mais de 15% dentre as espécies de moluscos mais capturados, com valor de 2.133,3 toneladas produzidas, ficando atrás apenas do Mexilhão.

Segundo Nascimento (2021) na fase adulta as conchas do Sururu, a depender das condições ambientais onde a espécie está inserida, apresenta variedade de altura. Na literatura são descritos valores com média de altura da concha do Sururu entre 27,43 mm e 37,63 mm (TAMANO *et al.*, 2020) até 46,93 mm (CRISTO, S.; FERREIRA-JR, A.; ABSTER, 2016). Comercialmente, conforme Pereira *et al.* (2003) o tamanho encontrado do molusco é a partir de 30 mm, porém não há legislação que define valor mínimo do molusco para extração de bancos naturais e, conseqüentemente, comercialização.

Embora a mariscagem fosse uma prática comum no Estado de Alagoas, Nascimento (2021) em seu estudo apresentou as falhas do processo que incorporava a cadeia produtiva do Sururu, o que contribuiu severamente para a desigualdade socioeconômica entre as famílias dependentes da mariscagem. Os impactos ambientais sofridos na região do CELMM colaboraram para a economia do molusco, gerando diversos problemas de cunho econômico, social e ambiental.

Segundo Maran (2017) a cadeia produtiva do Sururu começa com a coleta dos moluscos nas áreas de cultivo ou nos bancos naturais. Em seguida, os Sururus são levados para limpeza inicial, realizada ainda às margens da lagoa. Após a limpeza, o molusco é cozido para abertura das conchas e, posteriormente, são separados da concha, que em seguida são postos para venda. No entanto, segundo Araújo (2018), o descarte inadequado das conchas do Sururu pode representar problemas ambientais significativos. Como apontado por Maran (2017) e Araújo (2018), as conchas de moluscos bivalves, como o Sururu, possuem decomposição natural lenta, podendo permanecer no ambiente por anos. Quando descartadas de forma inadequada, as conchas podem contribuir para a poluição ambiental e causar impactos negativos à fauna e flora marinha

2.3 O descarte das conchas

O descarte de conchas de Sururu é prática comum na região Nordeste do Brasil, onde a espécie é bastante consumida. Segundo Santos (2018), o descarte frequente das conchas em praias, rios e manguezais pode ter efeitos negativos no ambiente marinho, como a preservação e a retenção de canais de água. Essa prática pode prejudicar a circulação de nutrientes e comprometer a qualidade da água, afetando o equilíbrio dos ecossistemas costeiros. No entanto, as conchas de Sururu têm valor ecológico e econômico significativo. Estudos têm mostrado que as conchas podem ser utilizadas como substrato para o crescimento de ostras, que também são importantes para a economia local e para a biodiversidade dos ecossistemas costeiros. Além disso, as conchas de Sururu podem ser utilizadas na produção de cal, produto amplamente utilizado na construção civil (SILVA, 2019).

Conforme descrito pelos autores Nascimento (2021) e Lemos-Freire *et al.* (2011) a atividade extrativista do Sururu confere o beneficiamento de 50,00% do filé em relação ao peso total do molusco e, mesmo sendo muito apreciado na gastronomia local. De acordo com Silva *et al.* (2010) os subprodutos da cadeia extrativista do Sururu resultam em problemas ambientais na região, visto que há o descarte diário de 6 toneladas (Quadro 01) das conchas nos locais de comercialização em via pública e nos ambientes de extração, contribuindo segundo Fulgêncio (2015) para o assoreamento da laguna.

Araújo e Pimentel (2015) demonstram em seu estudo que o descarte de conchas também é questão de saúde pública, visto que o subproduto depositado a céu aberto promove o surgimento de patógenos relacionados a diversas doenças de caráter sanitário.

O descarte inadequado das conchas de Sururu, como foi visto, figura como problema ambiental que pode impactar a fauna e a flora marinha. Diante disso, torna-se importante o estudo de alternativas para o aproveitamento do subproduto, por meio do reuso ou reprocessamento do subproduto, a fim de reduzir o impacto ambiental e contribuir para o Desenvolvimento Sustentável e para Economia Circular da cadeia extrativista do Sururu.

2.4 Economia circular e o aproveitamento das conchas de Sururu

No Brasil, pesquisas recentes vêm demonstrando o grande potencial do uso das conchas de Sururu através do seu processamento, transformando-as em grãos, farinhas e pós de conchas utilizadas em diversos setores e com baixo custo de produção. Os setores em destaque são da construção civil, como insumo em argamassa de alvenaria (LUZ, 2018);

Argamassa de assentamento e revestimento (MENEZES, 2019); Formulações de blocos de concreto (GONÇALVES *et al.*, 2014; FONSECA *et al.*, 2016); Produção de tijolo solocimento (COSTA, 2021); Na agricultura para a correção de solos ácidos (MARTINS, 2018); Nutrição animal como farinha de conchas por meio de suplementação e substituição de fontes tradicionais de cálcio nas rações de aves de corte (LANA *et al.*, 2020); em tratamento sanitário por meio da remoção de carbono e nitrificação no tratamento de esgoto sanitário (FERRO *et al.*, 2021) e também no controle de pH dos resíduos da manipueira em reator anaeróbio UASB (SILVA *et al.*, 2013).

As conchas do Sururu contém altas concentrações de carbonato de cálcio (CaCO_3), em pesquisa realizada por Nascimento (2021) o percentual deste mineral encontrado nas conchas do Sururu foram de 47,05%, valores semelhantes estão dispostos em outras pesquisas descritas na literatura 43,12% (SANTOS *et al.*, 2017); 37,00% (TAMANO *et al.*, 2020) estes valores variam de acordo com as condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento do molusco, principalmente salinidade e temperatura (NASCIMENTO, 2021).

O fluxo de processos da cadeia do Sururu destaca a possibilidade de aproveitar as conchas como subproduto na fabricação de pisos intertravados de concreto, trazendo benefícios econômicos e ambientais à cadeia extrativista. Essa abordagem reduz a geração de subprodutos, mitiga o impacto ambiental do descarte inadequado das conchas e se alinha aos princípios da Economia Circular na construção civil.

2.5 Pavimento intertravado

O pavimento intertravado caracteriza-se por ser um pavimento rígido cuja estrutura é constituída de base ou base e sub-base, continuada por revestimento de blocos de concreto sobrepostos ao pavimento. As juntas no meio dos componentes são preenchidas com material de rejunte e o intertravamento do sistema é feito por vedação, conforme especificado nas normas NBR 15953 - Pavimentos intertravados de concreto - Requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2011) e NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação-Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013).

A preparação da base para a aplicação do piso intertravado é fundamental para garantir a estabilidade e a durabilidade do pavimento, o processo envolve a remoção do solo superficial, a compactação do solo sub-base, a aplicação de camada de areia e a sua compactação.

Considerando as inúmeras vantagens, o pavimento intertravado vem conquistando espaço ao longo dos anos, principalmente nos centros urbanos do país. Dentre eles, destacam-se a facilidade de implantação, utilização de equipamentos de pequeno porte, facilidade de manutenção e reutilização e rápida liberação de vazão. Além disso, blocos de cores mais claras podem proporcionar baixa absorção de calor e alta reflexão, contribuindo para o conforto térmico das calçadas e economia na iluminação pública (ABCP, 2010; AMADEI, 2011; MARCHIONI, 2012; SIMIELI *et al.*, 2007).

A utilização de subprodutos na confecção do piso intertravado tem sido objeto de estudos recentes, com o objetivo de reduzir o impacto ambiental e aumentar a possibilidade de fechamento de ciclo na indústria de pavimentos. O trabalho de Monteiro (2021), utilizou subproduto do processamento de concha de mexilhão como substituto parcial da areia na produção de blocos de piso intertravado. Os resultados mostraram que a utilização desse subproduto pode aumentar a resistência mecânica dos blocos e reduzir a absorção de água, tornando-os mais sustentáveis e duráveis.

Além de reduzir o impacto ambiental ao utilizar subprodutos da maricultura na sua produção, a pavimentação com blocos intertravados contribui para a diminuição de inundações em áreas urbanas, devido à maior taxa de infiltração e menor índice de escoamento em comparação ao asfalto, afirma Fernandes *et al.*, (2019).

No Brasil a utilização de peças de pavimentação de concreto deve seguir o requisito normativo da NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013).

3. MÉTODO DA PESQUISA

O desenvolvimento da pesquisa foi dividido em três etapas. A primeira etapa da pesquisa correspondeu à fase de caracterização das conchas de Sururu. Esta etapa contemplou os processos de coleta, limpeza e trituração das conchas, para submissão às análises: Análise Granulométrica, análise química por Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX) e análise Termogravimétrica (TG), a fim de conhecer as composições físico-químicas do subproduto.

Na segunda etapa foram realizados o planejamento, estudo do traço e execução dos processos de desenvolvimento do piso intertravado como: determinação das dosagens, relação água/cimento, granulometrias, percentuais de substituição da areia por grãos das conchas de Sururu para preparação do concreto e, por fim, a moldagem dos corpos de provas para realização dos ensaios laboratoriais.

Na terceira fase, conduzimos ensaios laboratoriais nas unidades amostrais para quantificar propriedades físicas do produto em análise, como a resistência mecânica à compressão e o ensaio de absorção de água. Por fim, procederemos à análise e discussão das correlações identificadas nos resultados, culminando na investigação da viabilidade econômica do estudo.

3.1 Coleta da matéria-prima

A coleta das conchas de Sururu foi realizada na comunidade pesqueira do Vergel, na cidade de Maceió, Alagoas, durante o mês de setembro de 2022. Após a coleta, a matéria-prima foi transportada para o Laboratório de Materiais de Construção Civil do IFAL - campus Palmeira dos Índios para passar pelas etapas de higienização, secagem e moagem.

3.2 Limpeza e higienização das conchas

O processo de preparação das conchas coletadas incluiu etapas de limpeza e higienização para garantir a segurança do subproduto. Foram seguidas as etapas sugeridas por Menezes (2019), que envolveram a pré-lavagem, lavagem com água e sabão, enxágue, imersão em solução sanitizante e enxágue final. Esse processo assegura a eliminação de impurezas e microrganismos presentes nas conchas.

3.3 Trituração das conchas

Para realizar as análises físico-químicas das conchas de Sururu, foi necessário triturar uma porção da amostra. Esse processo de trituração foi realizado com o auxílio de um liquidificador comum da marca Arno, que possibilitou a quebra das conchas em grãos menores, semelhantes ao tamanho de grãos de areia, para facilitar a moagem posterior. Durante o processo de trituração, o volume do subproduto reduziu significativamente, de aproximadamente 5,56 dm³ para 1,39 dm³. No entanto, a trituração resultou em uma granulometria não homogênea, o que exigiu uma etapa posterior de peneiramento para padronização do tamanho dos grãos.

3.4 Caracterização do subproduto

O subproduto derivado das conchas de Sururu foi caracterizado através das seguintes técnicas: Análise Granulométrica (AG); Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX); Análise Mineralógica por Difração de Raios X (DRX) e Análise Termogravimétrica (TG).

3.4.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica tem como objetivo determinar a distribuição dos grãos do agregado, identificando o percentual retido em cada faixa especificada por peneiramento. O método de peneiramento foi utilizado na análise dos grãos de concha de Sururu, bem como da areia e do pó de brita utilizados no concreto. A norma ABNT NBR 7181 (2016) foi seguida rigorosamente durante o ensaio.

3.4.2 Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX)

A técnica de Fluorescência de Raios X (FRX) foi empregada para determinar a composição química dos grãos de concha de Sururu. Essa análise é essencial para compreender as propriedades e comportamentos do material e identificar a proporção dos elementos presentes.

A análise foi realizada no equipamento EDX-720 da marca Shimadzu, seguindo o método semiquantitativo e foi feita a análise de Difração de Raios X (DRX) para identificar as fases cristalinas.

3.4.3 Análise Química por Difração de Raios X (DRX)

A análise de Difração de Raios X (DRX) permitiu conhecer a estrutura cristalina dos grãos de concha de Sururu e classificar seu estado (cristalino ou amorfo). A amostra selecionada para o DRX teve granulometria inferior a 0,075 mm, o que possibilitou identificar os minerais presentes na disposição cristalina e fornecer informações importantes sobre a estrutura da amostra.

3.4.4 Análise Termogravimétrica (TG)

A Análise Termogravimétrica (TG) consiste em registrar a perda de massa da amostra submetida a faixas de temperatura. Com base nos resultados obtidos, foi possível compreender o comportamento do grão de Sururu durante a decomposição térmica e identificar as faixas de temperatura em que a decomposição é mais acentuada, principalmente acima de 1000°C. A análise termogravimétrica permitiu investigar a estabilidade térmica do grão de Sururu em diferentes condições de armazenamento e avaliar sua viabilidade como matéria-prima para produção de material de construção.

3.5 Dosagem do Traço

A dosagem do traço foi realizada após a caracterização do subproduto e definição dos traços de substituição a serem utilizados na confecção dos corpos de prova e piso intertravado. Utilizando o método da curva ABCP, estabeleceu-se o traço de referência para o concreto convencional. A dosagem considerou o subproduto como substituto parcial da areia na composição do concreto. Ao definir o traço do concreto, foi estabelecida uma proporção em massa de 1:2,33:0,37:2,00:0,43 (cimento: areia: pó de brita: brita 0: água) e investigado várias composições de substituição da areia, variando de 2,5% a 10,0%.

Tabela 1 - Composições utilizadas para fabricação do concreto

Composição	Cimento	Agregado Miúdo 1	Agregado Miúdo 2	Agregado Graúdo	Relação a/c
C R	1	2,33	0,37	2,00	0,43
C 2,5	1	2,27	0,37	2,00	0,43
C 5,0	1	2,21	0,37	2,00	0,43
C 7,5	1	2,15	0,37	2,00	0,43
C 10,0	1	2,09	0,37	2,00	0,43

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

3.6 Moldagem dos corpos de Prova

Para a preparação dos corpos de prova, utilizou-se a betoneira e seguiram-se as recomendações da ABNT NBR 5738(2015). Os corpos de prova foram moldados com dimensões padronizadas de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Foram confeccionados 15 corpos de prova a partir das cinco formulações, incluindo o traço de referência, para garantir a representatividade dos resultados.

3.7 Ensaios tecnológicos

3.7.1 Ensaio mecânico de resistência à compressão

O ensaio mecânico de resistência à compressão é fundamental para dimensionar e controlar a qualidade do concreto. Foi utilizado para avaliar a capacidade do material em suportar cargas aplicadas perpendicularmente à sua superfície. O ensaio foi realizado seguindo os parâmetros recomendados pela ABNT NBR 9781(2013) e executado utilizando a prensa hidráulica da

CONTECO, modelo I.3001, do Laboratório TECOMAT, localizada em Arapiraca-AL, para análise de tensões, seguindo os parâmetros recomendados pela ABNT NBR 9781(2013).

Esse ensaio permite determinar a carga máxima que o bloco de piso intertravado pode suportar antes de se romper, garantindo sua eficiência e segurança em uso.

3.7.2 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água em concreto desempenha um papel crucial na avaliação das características de porosidade e permeabilidade do material, especialmente em estudos que envolvem a substituição parcial da areia por grãos de concha de sururu no desenvolvimento de pisos intertravados. Esse ensaio fornece informações essenciais sobre a capacidade do concreto de absorver água, o que influencia diretamente sua manutenção, resistência e desempenho em diferentes ambientes.

De acordo com a norma ABNT NBR 9781/2013, que rege a fabricação de peças de concreto para pavimentação, é necessário que as amostras apresentem uma absorção média de água não superior a 6%, com nenhum valor individual acima de 7%. Ao seguir essas diretrizes e realizar o ensaio conforme as normas estabelecidas, é possível compreender como a substituição de materiais afeta as propriedades do concreto, contribuindo significativamente para a avaliação de sua viabilidade em aplicações práticas, com base em evidências científicas sólidas (MONTEIRO, 2021).

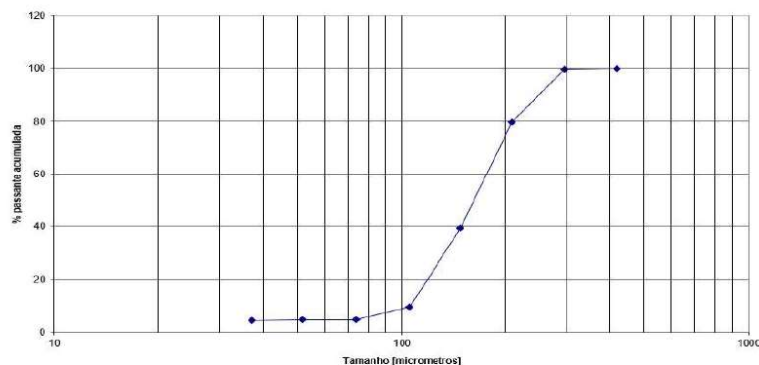
4. RESULTADOS DA PESQUISA

Nessa seção, apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de caracterização das conchas de Sururu e nos ensaios tecnológicos de aplicação do subproduto no concreto para confecção do piso intertravado, por meio de tabelas e gráficos, juntamente com as discussões e análises correspondentes.

4.1 Análise granulométrica

A curva granulométrica das conchas de Sururu trituradas (Gráfico 1) mostrou que a maioria das partículas apresenta tamanho na faixa de 0,30 a 0,60 mm. Isso indica que o peneiramento realizado após a trituração foi eficaz em padronizar a granulometria das partículas, separando o material em grãos de tamanho médio, conforme mencionado anteriormente.

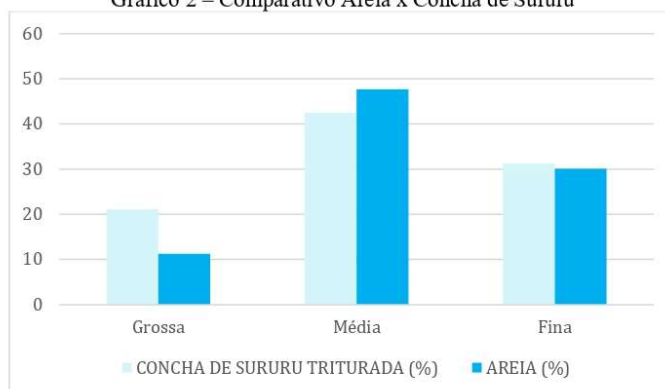
Gráfico 1 – Análise granulométrica da concha do Sururu



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Ao observar o gráfico 2, é notável a semelhança e uniformidade dos grãos de areia e concha de Sururu triturada. Ambos os materiais mostram uma distribuição de tamanhos de partículas equilibradas, o que sugere que a concha de Sururu pode ser uma alternativa eficaz à areia em várias aplicações na construção. A uniformidade na granulometria é um fator importante a ser considerado para avaliar o desempenho desses agregados na produção de concreto e pavimentação, pois impacta diretamente na qualidade e nas propriedades finais do material.

Gráfico 2 – Comparativo Areia x Concha de Sururu



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.2 Análise Química por Fluorescência de Raios X (FRX)

Observa-se na Tabela 2 que o Cálcio (Ca) é o elemento majoritário, apresentando concentração de aproximadamente 90,25% dos minerais contidos na amostra e é encontrado, principalmente, na forma de carbonato de cálcio (CaCO_3).

Tabela 2 – Análise de Fluorescência de Raios X da concha de Sururu triturada

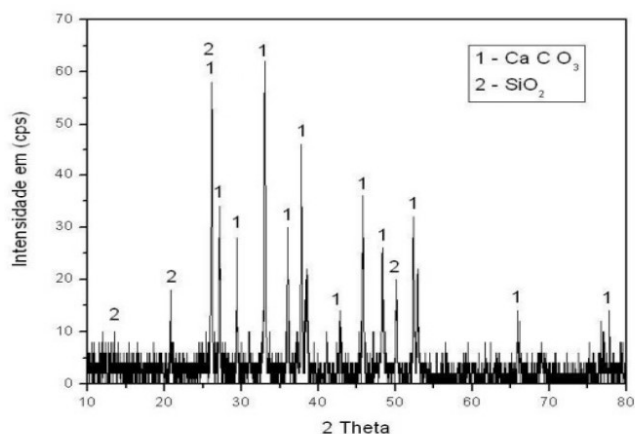
ÓXIDOS	Ca	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SrO	SO_3	K_2O	Sc_2O_3	TiO_2	MnO	CuO
(%)	90,25	3,62	2,41	1,4	0,78	0,56	0,46	0,28	0,15	0,07	0,02

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.3 Análise Química por Difração de Raios X (DRX)

Foi possível observar a presença de dois picos principais: um correspondente ao carbonato de cálcio (CaCO_3) e outro ao dióxido de silício (SiO_2). O pico referente ao CaCO_3 é característico da concha de Sururu, uma vez que essa substância é o principal componente químico presente nesse material.

Gráfico 3 – Análise de DRX da amostra da concha de Sururu triturada

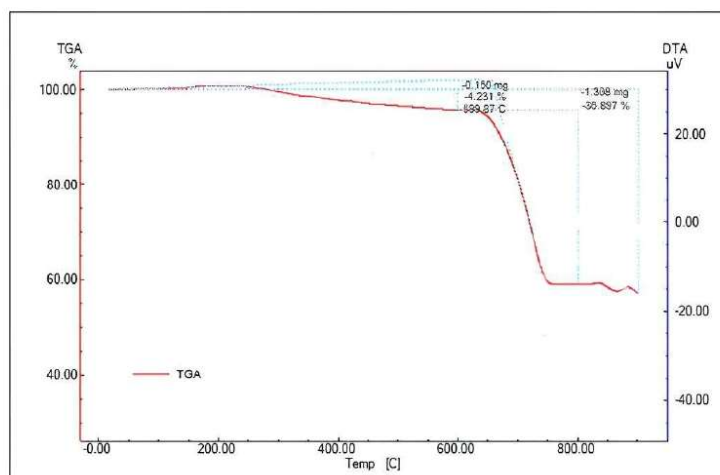


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.4 Análise Termogravimétrica (TG)

O gráfico 4 apresenta a curva termogravimétrica da concha de Sururu após processo de moagem. O resultado obtido mostrou que houve perda de massa de cerca de 4,23% quando a amostra foi mantida na faixa de temperatura de 200 - 600°C. O aumento da temperatura para a faixa entre 600°C e 700°C resultou em redução de 36,89% do total da massa.

Gráfico 4 – Análise Termogravimétrica da amostra da concha de Sururu triturada

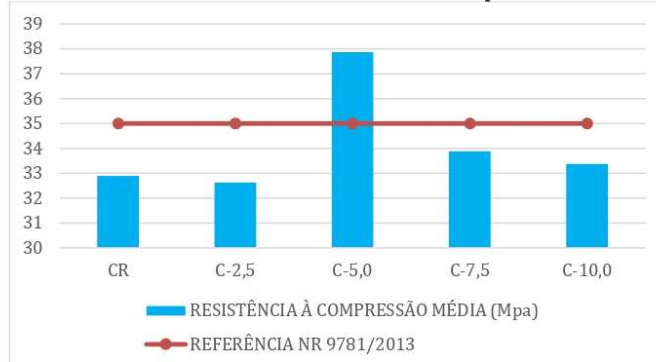


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.5 Difração de raios X

Ao analisar os resultados no gráfico 5, destaca-se que a formulação C-5,0 demonstrou uma resistência superior à norma de piso estipulada em 35 MPa. Com um valor médio de resistência à compressão de 37,87 MPa, a formulação C-5,0 excede os requisitos mínimos da norma. Por outro lado, as formulações C-2,5, C-7,5 e C-10 apresentaram valores médios de resistência de 32,63 MPa, 33,88 MPa e 33,37 MPa, respectivamente.

Gráfico 5 – Resultado do ensaio de resistência à compressão com 28 dias

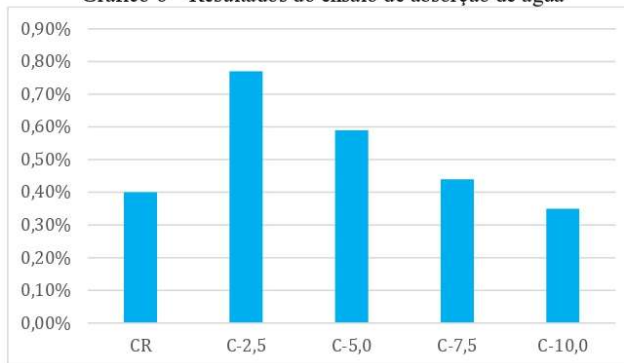


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.6 Ensaio de absorção de água

Os resultados obtidos no gráfico 6 revelam a consonância das formulações C2,5, C5, C7,5 e C10, nas quais ocorreram substituições parciais da areia por grãos de concha de sururu, com os padrões normativos. A observação de uma absorção de água consistentemente inferior a 6% em todas as formulações destacou não apenas a adequação às diretrizes da ABNT NBR 9781 (2013), mas também sinaliza a eficácia da incorporação dos grãos de concha de sururu na otimização da porosidade do concreto.

Gráfico 6 – Resultados do ensaio de absorção de água



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.7 Viabilidade econômica

Os resultados demonstraram a viabilidade econômica da confecção do piso intertravado com a substituição parcial da areia por grãos de sururu. Além dos benefícios ambientais, a distribuição dos grãos de sururu pode representar uma oportunidade lucrativa para as comunidades envolvidas na atividade extrativa do sururu.

Com base nos resultados de resistência à compressão, a formulação que substituiu em 5% o agregado miúdo por grãos da concha de Sururu apresentou um desempenho superior as demais formulações. Esses resultados indicam que essa formulação específica possui propriedades mecânicas mais propícias em comparação com as demais.

5. CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES

Diante dos resultados apresentados pode-se concluir que:

Os grãos da concha de Sururu apresentaram uma concentração notável de cálcio, chegando a cerca de 90,25%. Durante a análise termogravimétrica, observou-se uma perda de massa de aproximadamente 4,23% quando a amostra foi exposta à faixa de temperatura entre 200°C e 600°C, devido à desidratação dos compostos orgânicos presentes.

Além disso, um aumento subsequente da temperatura, na faixa de 600°C a 700°C, resultou em uma redução de massa significativa, alcançando cerca de 36,89%. Essa faixa de temperatura é indicativa da decomposição térmica do material.

Quanto à resistência, as formulações C2,5, C5, C7,5 e C10 apresentaram resistências médias de 32,83 MPa, 37,87 MPa, 33,88 MPa e 33,37 MPa, respectivamente, com destaque para a formulação C5, que atendeu plenamente aos requisitos técnicos estabelecidos pela norma reguladora dos pavimentos de concreto.

Em relação ao ensaio de absorção de água, todas as formulações (C2,5, C5, C7,5 e C10) exibiram variações de apenas 0,77%, 0,59%, 0,44% e 0,35%, respectivamente. Esses resultados estão dentro dos limites aceitáveis para pavimentos intertravados, indicando a eficácia dos grãos de concha de Sururu na promoção de uma drenagem adequada.

Em resumo, os dados numéricos destacam o potencial desses grãos como substituto parcial da areia na produção de piso intertravado, contribuindo para a redução de resíduos na cadeia extrativista e seu uso na construção civil.

6. REFERÊNCIAS

ALAGOAS. Secretaria Estadual de Cultura (SECULT). **Resolução Conselho Estadual de Cultura (CEC) nº 08/2014**. Diário Oficial do Estado Alagoas de: 15/12/2014. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/120498545/doeal-diario-oficial-15-12-2014-pg14>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

AMADEI, D. I. B. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do município de Juranda/PR**. Universidade Estadual de Maringá, 2011.

ALMEIDA, Tiago A. de, RODRIGUES, Fernando F., ROCHA, Gláucia O., OLIVEIRA, Yara de F. Caracterização física e química da concha de Sururu (*Mytella guyanensis*) e sua potencial aplicação na obtenção de pó calcário para uso em argamassas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 11, p. 1139-1144, nov. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. **NBR 5739** - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 15953:2011** - Pavimentos intertravados de concreto - Requisitos e métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 9781:2013** - Peças de concreto para pavimentação-Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ARAÚJO, K.K.; PIMENTEL, A.K. A problemática do descarte irregular dos resíduos sólidos urbanos nos bairros Vergel do Lago e Jatiúca em Maceió, Alagoas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 626-668, 2015.

CARASEK, H. Pisamentos intertravados de concreto: alternativas viáveis e sustentáveis para pavimentação de vias, estacionamentos e calçadas. **Revista ELO – Engenharia, Logística e Operações**, v. 8, n. 2, p. 70-81, 2021.

COSTA, A.T. **Aproveitamento das conchas de Sururu com matéria-prima alternativa para fabricação de tijolo solo-cimento: uma abordagem em Economia Circular**. 2021. 71 f. (Mestrado em Sociedade, Tecnologias e Políticas Públicas) - Centro Universitário Tiradentes, Maceió, 2021.

COUTINHO, Mauro Knupfer *et al.* **A Cada Lata: A Extração do Sururu na Lagoa Mundaú – Alagoas**. Cooperação Brasil-Espanha para o desenvolvimento de Alagoas. Brasília: Iabs, 2014.

CHRISTO, S. W.; FERREIRA-JUNIOR, A.L.; ABSHER, T.M. Aspectos reprodutivos de mexilhões (Bivalvia, Mollusca) no complexo estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 42, n. 4, p. 924-936, 2016.

FERNANDES, MP *et al.*, Pavimento intertravado de concreto com ingestão de resíduos de conchas de moluscos: desempenho mecânico e ambiental. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, v. 12, n. 5, pág. 852-867, 2019. OLIVEIRA, MC *et al.*, Pavimentação com blocos intertravados de concreto: estudo de caso. **Revista Engevista**, v. 22, n. 2, pág. 293-301, 2020.

FERREIRA, R.O.P.; CRUZ, E.M.M.; MARQUES, R.S. (2019). Caracterização morfológica, biométrica e biológica de *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) (Mollusca: Bivalvia: Veneridae) no litoral do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, 45(4), e448.

FERRO, L.M.; OLIVEIRA NETTO, A.P.; AMORIM, E.L.C. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo (RAALF) utilizando conchas de Sururu (*Mytella charruana*) como meio suporte para remoção de carbono e nitrificação de esgoto sanitário. **Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology**, v. 7, n.1, p. 52-59, 2021.

FULGÊNCIO, E.B.G.A. **Estudo do aproveitamento de conchas de mariscos visando a incorporação em massa de porcelanato**. 2015. 85 f. (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

GONÇALVES, L. B.; TENÓRIO, H.C.L.; MOTTA, P.M.S.; MARINHO, A.A. Reaproveitamento de conchas de mariscos e resíduos da construção civil em Alagoas. **Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, v. 1, n.1, p. 61-71, 2014.

LANA, S.R.V.; LANA, G.R.Q.; BARROS-JR, R.F.; SILVA, M.P.L.; SANTOS, D.S.; LEÃO, A.P.A. Utilização de conchas de Sururu como fonte alternativa de cálcio para codornas japonesas. **Revista Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 18, n. 1, p. 21-27, 2020.

LEMOS-FREIRE, J.; SILVA, B.B.; SOUZA, A. Aspectos econômicos e higiênico-sanitários mazonie, **Biota Amazonia, Amazonian Biota**, v. 1, n. 2, p. 17-28, 2011.

LUZ, J.C.P.M. **Reaproveitamento da concha de Sururu como insumo em argamassas de alvenaria**. 2018. 49 f. (Mestrado Profissional em Análise de Sistemas Ambientais)- Centro Universitário CESMAC, Maceió, 2018.

MARAN, José Luiz do Nascimento. **Utilização de conchas de Sururu (*Mytella falcata*) para produção de calcário marinho**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2017.

MARTINS, D. D. **Concha de Sururu com alternativa de correção do pH no solo e fonte de cálcio e magnésio na cultura do rabanete agroecológico**. 2018. 81f. (Mestrado em Agricultura e Ambiente)-Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2018.

MENEZES, R.C. **Desenvolvimento de argamassa de assentamento e revestimento com conchas de Sururu descartadas do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Maguaba**. 2019. 77 f. (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2019.

MONTEIRO, J. A., SOUZA, T. P., FERREIRA, M. T. C., GUERRA, V. S. C., BEZERRA, M. S. S., & CARVALHO, T. S. (2021). Desenvolvimento de um bloco de pavimento interligado sustentável usando resíduos do processamento de concha de mexilhão. **Journal of Cleaner Production**, 314, 127983.

NASCIMENTO, C.W.S. **Conhecimento ambiental e sanitário das marisqueiras da Laguna Mundaú, Alagoas-Brasil**. 2021. 86 f. (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2021.

PEREIRA, O.M.; HILBERATH; R.C.; ANSARAH, P.R.A.C.; GALVÃO, M.S.N. Estimativa da produção de *Mytella falcata* e de *M. guyanensis* em bancos naturais do estuário de Ilha Comprida – SP – Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 29, n.2, p. 139 - 149, 2003.

REIS, R. P. *et al.* **Moluscos Bivalves da Zona Entre-Mares do Litoral Brasileiro: Sistemática e Biologia**. São Paulo: Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2016. 298p.

SANTOS, EP e cols. Caracterização física e química das conchas de Sururu *Mytella falcata* e sua utilização como substratos para a produção de ostras. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 13, n. 4, pág. 39-48, 2018.

SILVA, JRB da *et al.*, Avaliação do processo de produção de cal a partir das conchas de Sururu (*Mytella falcata*). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 14, n. 1, pág. 151-162, 2019.

SILVA, C.O.; SILVA, A.O.; TIMOTEO, D.Á.S.; SANTOS, M.B. Estudo do uso de conchas de Sururu (*Mytella falcata*) no controle de pH da manipueira em reator anaeróbio UASB. **Revista Ibero - Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v.4, n.2, p.111-118, 2013.

TAMANO, L.T. O. *et al.*, Socioeconomia e saúde dos pescadores de *Mytella falcata* da Lagoa Mundaú, Maceió-AL. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 10, p. 699-710, 2015.