

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO PROGRAMA  
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**FELIPE BEZERRA DE LIMA**

**RECIFE - PERNAMBUCO  
2025**

**FELIPE BEZERRA DE LIMA**

CONCHA DE MARISCO COMO MATÉRIA PRIMA PARA AS ARGAMASSAS DE  
REVESTIMENTO EM RESTAURAÇÃO DE MONUMENTOS HISTÓRICOS

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *mestre em Engenharia Ambiental*.

Orientador: Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda

Coorientadores: Prof. Dr. Lincoln Elói de Araújo.

**RECIFE - PERNAMBUCO  
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

L732c

Lima, Felipe Bezerra de.

Concha de marisco como matéria prima para as argamassas de revestimento em restauração de monumentos históricos / Felipe Bezerra de Lima. – Recife, 2025.  
68 f.: il.

Orientador(a): Romindo Morant de Holanda.

Coorientador(a): Lincoln Elói de Araújo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Argamassa. 2. Conchas. 3. Revestimentos. I. Holanda, Romildo Morant de, orient.  
II. Araújo, Lincoln Elói de, coorient. III. Título

CDD 628

**FELIPE BEZERRA DE LIMA**

**CONCHA DE MARISCO COMO MATÉRIA PRIMA PARA AS ARGAMASSAS DE  
REVESTIMENTO EM RESTAURAÇÃO DE MONUMENTOS HISTÓRICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para obtenção do título de *mestre em Engenharia Ambiental*.

APROVADA: Recife de 2025.

---

**ROMILDO MORANT DE HOLANDA**  
Presidente da Banca e Orientador

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Manoel Vieira de França**  
Membro Externo - UFRPE

---

**Alex Souza Moraes**  
Membro Interno - UFRPE

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter guiado cada passo da minha jornada, concedendo-me força, sabedoria e perseverança para superar os desafios e alcançar meus objetivos.

A minha esposa Daniele Ribeiro pelo amor e paciência em acreditar que os anos de estudos poderiam modificar nossa vida.

Aos meus pais Jorge Pereira de Lima (in memoria) e Maria das Graças Bezerra de Lima pelo o amor incondicional.

Ao meu filho Joaquim Felipe que é um grande motivador para que eu busque melhorias continuas para a nossa vida.

A todos os meus familiares em especial meu irmão Eduardo e minhas tias Gilda, Geni e Ivanize.

Aos meus amigos Jackson Santos, Isaac Teles, José Henrique, João, pessoas que contribuíram para que esse objetivo fosse alcançado.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Aos meus orientadores, Prof. Romildo Morant e Prof. Lincoln Elói, pelo comprometimento, paciência e dedicação, guiando-me com sabedoria e contribuindo imensamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao CITAR, pelo ambiente de aprendizado e pelo suporte técnico e intelectual, que foram essenciais para a realização desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEAMB), pela infraestrutura e suporte oferecidos, e aos professores e funcionários, cujo conhecimento e apoio foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em especial ao laboratório LABTAG, pela concessão do espaço de estudo especializado.

*“A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo”.*

(Nelson Mandela)

## RESUMO

LIMA, Felipe de, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, agosto de 2025. CONCHA DE MARISCO COMO MATÉRIA PRIMA PARA AS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO EM RESTAURAÇÃO DE MONUMENTOS HISTÓRICOS. Orientador: Romildo Morant de Holanda. Coorientadores: Prof. Dr. Lincoln Elói de Araújo.

A pesca de mariscos no município de Igarassu (Pernambuco, Brasil) gera um volume significativo de conchas descartadas inadequadamente, ocasionando impactos ambientais como o assoreamento de áreas costeiras e desequilíbrio ecológico. Esta pesquisa investigou o reaproveitamento desses resíduos, transformando-os em matéria-prima para argamassas de revestimento destinadas à restauração de monumentos históricos. As conchas coletadas foram trituradas e submetidas à calcinação para produção de aglomerante, substituindo parcial ou totalmente os agregados e ligantes tradicionais nas argamassas. Foram realizados ensaios mecânicos que indicaram resistência à compressão média de 1,22 MPa, resistência à tração na flexão de 4,86 MPa, compressão axial de 1,49 MPa e resistência à aderência compatíveis com normas técnicas brasileiras aplicáveis (ABNT NBR 13529 e NBR 13528). A caracterização mineralógica por difração de raios X evidenciou a presença de calcita e quartzo, comprovando a compatibilidade dos materiais com os padrões esperados para argamassas de restauração. O levantamento topográfico indicou que cerca de 930 toneladas de conchas são descartadas anualmente, reforçando o potencial de reaproveitamento sustentável. A análise econômica revelou uma redução significativa de aproximadamente 24% dos custos de produção da argamassa com conchas calcinadas em comparação à argamassa convencional, mesmo considerando os custos de energia elétrica para calcinação e transporte dos resíduos. O trabalho integra aspectos técnicos, ambientais e sociais, promovendo uma alternativa viável para manejo de resíduos da mariscagem, valorização do patrimônio histórico e inclusão das comunidades locais.

Palavras-chave: Argamassa; Concha; Revestimento.

## ABSTRACT

LIMA, Felipe da, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, August, 2025. SHELLS AS RAW MATERIAL FOR COATING MORTARS IN THE RESTORATION OF HISTORICAL MONUMENTS. Adviser: Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda. Co-advisers: Prof. Dr. Lincoln Elói de Araújo.

Shellfish fishing in the municipality of Igarassu (Pernambuco, Brazil) generates a significant volume of improperly discarded shells, causing environmental impacts such as coastal siltation and ecological imbalance. This research investigated the reuse of this waste, transforming it into raw material for coating mortars for the restoration of historical monuments. The collected shells were crushed and calcined to produce a binder, partially or completely replacing traditional aggregates and binders in mortars. Mechanical tests were performed, indicating an average compressive strength of 1.22 MPa, flexural tensile strength of 4.86 MPa, axial compression strength of 1.49 MPa, and bond strengths consistent with applicable Brazilian technical standards (ABNT NBR 13529 and NBR 13528). Mineralogical characterization by X-ray diffraction revealed the presence of calcite and quartz, confirming the materials' compatibility with the expected standards for restoration mortars. The topographic survey indicated that approximately 930 tons of shells are discarded annually, reinforcing the potential for sustainable reuse. The economic analysis revealed a significant reduction of approximately 24% in the production costs of mortar made from calcined shells compared to conventional mortar, even considering the costs of electricity for calcination and waste transportation. The study integrates technical, environmental, and social aspects, promoting a viable alternative for managing shellfish waste, enhancing historical heritage, and including local communities.

Keywords: Mortar; Shell; Coating.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Camadas de revestimento .....	27
Figura 2 – Desenho esquemático da Lei Bragg. ....	31
Figura 3 – Difratorômetro comercial com a configuração clássica de Bragg-Brentano.....	32
Figura 4 – Esquema do funcionamento do equipamento, com a trajetória do feixe da fonte até do detector.....	32
Figura 5 – Localização da área da pesquisa pertencente à Igarassu, Pernambuco .....	34
Figura 6 – Levantamento topográfico .....	36
Figura 7 – Conchas utilizadas no experimento. A) Concha in natura. B) Concha triturada após o processo de trituração. ....	38
Figura 8 – Forno utilizado para a calcinação das conchas .....	43
Figura 9 – Moinho de bolas .....	44
Figura 10 – A) Agitador de peneiras; B) Concha de marisco equivalente à brita; C) Concha de marisco equivalente à areia.oinho de bolas .....	44
Figura 11 – A) Corpo de prova cilíndrico; B) Corpo de prova prismático .....	47
Figura 12 – A) amostras cilíndricas; B) Amostras prismáticas .....	47
Figura 13 – Fixação dos pontos para ensaio de resistência a aderência. ....	48
Figura 14 – Ensaio de resistência a aderência .....	49
Figura 15 – Zona granulometrica do saibro .....	50
Figura 16 – Equipamento de análise DRX .....	51
Figura 17 – Curva de nível e zonas de concha de marisco na praia de Mangue Seco .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Traço teste .....	46
Tabela 2 – Traço padrão .....	47
Tabela 3 – Composição de custos.....	52
Tabela 4 – Volume do zoneamento de descarte.....	54
Tabela 5 – Curva granulometrica do saibro.....	56
Tabela 6 – Estatistica resistência compressão (corpos de prova cilíndricos) .....	59
Tabela 7 – Estatistica resistência a tração na flexão.....	59
Tabela 8 – Estatistica resistência a compressão axial .....	60
Tabela 9 – Estatistica resistência a aderência .....	61
Tabela 10 – Quantitativo de insumos para 1m <sup>3</sup> de argamassa.....	61
Tabela 11 – Composição de argamassa com cimento .....	62
Tabela 12 – Composição de preço argamassa pesquisada.....	62

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....;	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo geral .....	14
2.1. Objetivos específicos .....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	15
3.1. Atividade de Mariscagem .....	15
3.2. Argamassa .....	26
3.3. Cal .....	27
3.4. Técnicas de Caracterização .....	29
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1. Técnicas de Caracterização .....	34
4.2. Avaliação dos impactos ambientais .....	35
4.3. Volume de descarte de concha de marisco .....	35
4.4. Avaliação de desempenho das conchas na argamassa .....	37
4.5. Definição e descrição do conjunto amostral .....	46
4.6. Composição granulométrica .....	49
4.7. DRX .....	50
4.8. Viabilidade Econômica .....	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1. Volume de descarte da concha de marisco .....	53
5.2. Caracterização .....	55
5.3. Ensaio Mecânicos .....	58
5.4. Viabilidade Econômica .....	61
6. CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS .....	66

## 1. INTRODUÇÃO

Os monumentos em geral, uma vez expostos à utilização humana e às intempéries do ambiente, tendem a se degradar ao longo do tempo. Dada a sua representatividade cultural, social ou arquitetônica, ou ainda a sua importância funcional, torna-se desejável conservar ou recuperar determinados aspectos de um monumento degradado, sejam estes artísticos, históricos ou estruturais. Santiago (2007) enfatiza que uma das funções das argamassas, utilizadas em qualquer construção feita com pedras, tijolos ou blocos cerâmicos, é unir as diversas unidades desses materiais entre si. Ressalta ainda, que as argamassas de revestimentos devem propiciar uma maior proteção aos vários elementos construtivos e que uma boa argamassa tem grande contribuição na durabilidade das edificações. Entretanto, apesar da importância dos revestimentos, em algumas regiões tem-se encontrado dificuldades nas ações de intervenção que poderiam amenizar a degradação desses elementos, sobretudo, pela falta de conhecimento dos materiais e das técnicas empregadas na execução dos edifícios antigos e de valor histórico. Partindo disso, a restauração de obras, monumentos e artefatos históricos necessitam de atenção não somente nos detalhes e acabamentos dessas obras, como também no tipo de material utilizado para a sua confecção. De acordo com Veiga et al. (2004), as argamassas originais das antigas edificações são parte da história tangível e intangível das gerações anteriores, garantindo desta maneira uma autenticidade histórica, material e arquitetônica da apresentação dos imóveis ancestrais. Especialmente em fachadas restauradas, muitas manifestações patológicas surgem não necessariamente da ação direta exclusiva de agentes de deterioração ambientais, mas, sobretudo, decorrentes de intervenções malsucedidas. Assim, pode-se dizer que um dos problemas mais graves no processo de restauração de obras históricas está no uso inadequado de produtos de restauração, assim como, a incompatibilidade entre esses materiais de reabilitação e os materiais a restaurar (BREITENBACH, 2013). Logo, é imprescindível que a compatibilidade esteja presente em todas as intervenções efetuadas nos edifícios antigos, em termos arquitetônicos, mecânicos e químicos, a fim de minimizar a alteração das características da rigidez da construção e do funcionamento estrutural original e, conseqüentemente, evitar o aparecimento de situações de perda desempenho e de novas manifestações patológicas (GUIMARÃES, 2009; TORRALBA; JALALI, 2010). Um dos pilares para garantir a eficiência da restauração, de acordo com Breitenbach et al. (2017), é a garantia de que a argamassa utilizada na restauração tenha as mesmas propriedades das argamassas empregadas na época de sua construção. Assim sendo, os autores afirmam ainda que as argamassas de cal são as mais utilizadas nas restaurações modernas, por ter a capacidade de

manter as características das obras antigas, como também proteger as alvenarias tradicionais com a sua alta plasticidade. De acordo com Salles (2017), a cal era o aglomerante empregado nessas argamassas de revestimento e de assentamento de alvenaria até meados do século XIX. A sua obtenção era por meio da calcinação de rochas carbonáticas ou de conchas coletadas dos sambaquis (bancos de conchas), encontrados no continente e ao longo do litoral. Já no século XVII, em algumas cidades como Belém, foram construídos fornos para calcinação de conchas, com o objetivo de produção de cal para aplicação nas argamassas utilizadas na construção das edificações do centro histórico (SANTIAGO, 2007). Considerando que em Pernambuco, a produção/extração de moluscos é intensificada no litoral norte, especificamente no Canal de Santa Cruz, que envolve os municípios de Igarassu, Araçoiaba, Itapissuma e Ilha de Itamaracá. Apenas em Itapissuma, a produção de marisco em 2002, foi de 295,7 toneladas (QUINAMO, 2006). De acordo com Oliveira (2016), a produção mensal estimada em Igarassu é de 789,6 ton. Após o processo de pesca, as marisqueiras os fervem e os tiram de dentro das suas conchas (OLIVEIRA; LIMA, 2016). As conchas, que corresponde a 80% da constituição do marisco, após a retirada, são descartas (HAMESTER; BECKER, 2010). O descarte de forma inadequada, na maior parte das vezes, ocorre no próprio manguezal e o acúmulo de resíduos (sambaquis) geram impactos ambientais, como: assoreamento; ferir turistas através do contato acidental com as conchas cortantes; levar ao aparecimento de vetores; produzir gases tóxicos, como o metano, pela degradação da matéria orgânica presente e mau cheiro; provocar distúrbios das comunidades naturais de fitoplâncton e deteriorar a qualidade da água devido ao acúmulo de dejetos (CHIERIGHINI et al, 2011). Outro ponto a ser ressaltado é a extração da pedra calcária em minas, que pode causar impactos ambientais significativos. Dessa forma, a busca de alternativas como o aproveitamento de resíduos ou subprodutos, como é o caso da casca de mexilhões, se mostra ainda mais viável (ÁLVAREZ et al., 2012). Ao considerar que as conchas provenientes do processo de mariscagem já eram utilizadas na fabricação de argamassas nas obras do século XVII, possuem cerca de 95% de pureza em relação ao carbonato de cálcio (GLOBEFISH, 2018), e por ser descartado de forma inapropriada pelos pescadores causando um impacto ecológico, econômico e social na região da zona da mata norte de Pernambuco (CUNHA, 2020), esta pesquisa propõem o estudo do uso das conchas extraídas no processo de mariscagem no litoral da zona da mata norte de Pernambuco como argamassa de restauro em monumentos históricos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Aproveitar os rejeitos das conchas de marisco, descartados por pescadores do litoral da região de Igarassu-PE, para criar uma argamassa de revestimento, a ser utilizada na restauração de monumentos históricos.

### **2.1. Objetivos específicos**

- Analisar os impactos ambientais da atividade marisqueira que geram os rejeitos, conchas bivalves de mariscos;
- Quantificar o volume anual de descartes (resíduos) de conchas pela atividade de mariscagem no município de Igarassu-PE;
- Avaliar o desempenho do aglomerante artificial a ser desenvolvido pela calcinação das conchas de marisco na substituição do cimento na produção para a confecção de uma argamassa para revestimento para monumentos históricos;
- Quantificar a redução do uso do aglomerante, quanto à incorporação de pó das conchas calcinadas e moídas;
- Analisar a viabilidade econômica.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

No decorrer desse tópico foram abordados temas de embasamento teórico para dar subsídio ao desenvolvimento do trabalho.

#### **3.1 Atividade de Mariscagem**

A mariscagem é entendida como uma atividade pesqueira baseada na coleta de moluscos bivalves em áreas de grande produtividade biológica, em sua maioria, localizadas em territórios de comunidades tradicionais (OLIVEIRA; EL-DEIR, 2013). Tal atividade está entre as atividades de subsistência mais comuns em Unidades de Conservação (UC), principalmente na costa litorânea, ecossistemas manguezais e adjacências, sendo sua produtividade diretamente influenciada pelas marés (NISHIDA; NORDI; ALVES, 2018). A mariscagem é considerada pela Organização de Agricultura e Alimento das Nações Unidas (FAO/ONU) uma atividade ecologicamente correta, pois promove a preservação e a manutenção dos recursos naturais marinhos (FAO, 2018). Esta atividade é reconhecida mundialmente como uma importante alternativa de geração de empregos, renda e alimento, que tem contribuído para a fixação de comunidades tradicionais em seus locais de origem (BARBIERI et al., 2016). A pesca artesanal, realizada culturalmente por comunidades tradicionais que se ocupam da coleta de mariscos, é realizada em países que possuem vasto litoral, e tem ganhado importância como fornecedora de proteína animal, devido aos baixos custos e rentabilidade. Além disso, oferece oportunidade para gerar renda às comunidades costeiras (DIAS; ROSA; DAMASCENO, 2017). Porém sua exploração excessiva, cujo interesse debruça-se cada vez mais no aporte econômico, pode estimular a insustentabilidade da mariscagem e acarretar impactos ambientais associados que podem perturbar a natureza da atividade tradicional, sendo indispensável a existência de estudos que colaborem para empoderar as relações das comunidades com o poder público, bem como com a sociedade em sua totalidade (OLIVEIRA et al., 2017).

### 3.1.1 Origem da atividade marisqueira

De acordo com GASPAR et al. (2013), a ocupação do litoral por populações que realizavam a exploração de mariscos, conseqüentemente que acumulavam as conchas dos moluscos é uma realidade, ocorrendo há centenas de anos, o que tem despertado a atenção de pesquisadores desde o início da arqueologia brasileira. Ainda de acordo com 20 os pesquisadores, as conchas são os testemunhos mais visíveis do surgimento da ocupação de áreas costeiras por populações humanas que praticavam pesca, coleta e caça, pois os descartes delas formam verdadeiras montanhas de marisco, chamadas de sambaquis<sup>1</sup> (GASPAR et al., 2013). Existem sítios formados por conchas no mundo todo, mas apenas no Brasil eles são chamados de sambaquis. Em território brasileiro os sambaquis costeiros estão distribuídos ao longo de toda a faixa litorânea (do Rio Grande do Sul ao Amapá, embora os estudos estejam concentrados no Sul e Sudeste), junto a corpos d'água como lagoas, estuários, mangues, marismas e praias do Oceano Atlântico (BENDAZOLLI; FRANCISCO; GUIMARÃES, 2009). Em algumas regiões do Brasil, como Amazônia, São Paulo e Norte de Santa Catarina, existem também sambaquis localizados próximos aos rios, chamados sambaquis fluviais. A grande dispersão de sambaquis pela costa brasileira corresponde também uma certa variação de formas de viver e se organizar por parte dos grupos que os construíram. (SCHEEL-YBERT et al., 2013).

Klökler (2012) afirma que os povos construtores de sambaquis viviam em sociedade, produziam ferramentas para a pesca e a caça, e desenvolviam atividades de maneira coletiva. Ele afirma ainda que os sambaquis não são locais de moradia, mas que representam monumentos ligados à memória, eventos sociais e demarcação territorial. Grande parte deles são locais onde eram sepultados os mortos (KLÖKLER, 2012). Desde os primeiros anos da colonização das terras brasileiras se tem notícias dos grandes montes de conchas, os quais eram chamados de casqueiros, e que era encontrado no seu interior ossos humanos misturados com machados líticos, panelas de barro, elementos confusos e heterogêneos (SOUZA, 1991). A referência mais antiga dos sambaquis se encontra nos primeiros relatos das descrições sobre a população brasileira encontrada nas cartas dos jesuítas Manoel da Nobrega, Aspilcueta Navarro e José de Anchieta, o qual mencionou em 1549, na Informação da Província do Brasil, a grande quantidade de conchas existentes em São Paulo e as "ilhas de cascas" das quais se fazia uma cal tão boa quanto à obtida a partir da pedra calcária (SOUZA, 1991).

Sabe-se por vários relatos históricos que nessa época já não havia populações pescadores-coletoras vivendo na costa, mas existiam grupos que vinham do interior ao litoral para explorar sazonalmente os recursos marinhos, empregando estratégias de conservação para consumo posterior (GASPAR; SOUZA, 2013). Com a descoberta de montes de conchas na Dinamarca, designados como "kjoekkenmoeddings" por volta de 1850, logo começaram a ser feitas comparações entre os sambaquis brasileiros e os mounds dinamarqueses, entendidos como "acumulações de detritos de cozinha do homem neolítico" ou ainda como cemitérios, ou mesmo monumentos fúnebres. No seu interior eram encontrados fogões com cinzas e carvões, ossos e artefatos então considerados típicos da indústria neolítica (FIGUTI, 1993). Inúmeras especulações começaram a ser feitas sobre a antiguidade desses sítios. Alguns historiadores como Rath os considerava terciários, enquanto para Calixto e Siemiradski eles eram do quartanário "antigo", bem como Lhering, que os entendia como pleistocêntricos (ANDRADE, 2000). Para Koseritz (1884), os sambaquis não podiam ser mais antigos que 6000 anos, pela comparação com os "kjoekkenmoeddings" dinamarqueses. Já Loefgren (1893) rejeitava a idade terciária, pois para ele os sambaquis estavam situados sobre camadas de aluvião recente. Classificou-os então como pré-colombianos, por não serem nem contemporâneos nem posteriores ao "descobrimento". Foi seguido por Krone (1902), mas contestado por Paldaof (1900) que, registrando a presença de elementos europeus nesses sítios, os inseria no período histórico.

Hoje através de diversas datações obtidas por todo o país, os sambaquis foram situados num período que vai de 6.000 a.C. até 1.000 d.C (GASPAR, 2013). Os sambaquis têm sido encontrados em registros fósseis no Uruguai (MARTINEZ et al., 2017). No Brasil, encontra-se desde o Amapá até o Rio Grande do Sul, principalmente em enseadas, baías e estuários (TENÓRIO; MELLO, 1979; MONTI; FRENKIEL; MOUËZA, 1991; RIOS, 1994; MELLO; TENÓRIO, 2000). Durante o período colonial brasileiro, houve grande destruição da mata original e dos sambaquis também. Eles eram devastados porque deles se fabricavam a cal, utilizada como material construtivo e posteriormente as conchas ou blocos de conchas foram utilizados para construção de estradas (SOUZA, 1938). Nessa mesma época tem início um intenso movimento visando proteger os sambaquis e, em 1961, é criada a lei que protege os sítios arqueológicos brasileiros (BRASIL, 1961). Em 1988, a Constituição Brasileira reconheceu esses bens como patrimônios da União, incluindo-os no conjunto do Patrimônio Cultural Brasileiro. Alguns bens arqueológicos, tanto sítios como acervos integrados por peças neles encontradas, estão protegidos por tombamento (RODRIGUES et al., 2011). No Maranhão

o sambaqui do Pindaí, situado entre os quilômetros 22 e 23 da rodovia que liga as cidades de São Luís a São José de Ribamar, é uma jazida de grande importância por ser uma das primeiras do gênero na região e pela abundância de vestígios de grupos indígenas extintos. Em 1927, foram encontrados fragmentos de cerâmica que se encontram expostos no Museu Nacional, no Rio de Janeiro. O sítio foi tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 1940 (IPHAN, 2020). No Rio de Janeiro, a intensa ocupação desde o início da colonização e, principalmente, sediando a capital do país por mais de duzentos anos, contribuíram para a destruição de muitos sítios arqueológicos pré-coloniais. Mesmo assim, restou o sambaqui de Camboinhas, no município de Niterói, onde foram encontrados vestígios humanos com mais de 7 mil anos (MACARIO et al., 2014).

Em São Paulo, na área de proteção ambiental de Cananéia-Iguape, no litoral paulista, está o sambaqui da Barra do Rio Itapitanguí, sítio arqueológico tombado em 1955. Apresenta-se como pequena elevação arredondada e constituída, exclusivamente, por carapaças de moluscos. É um testemunho da presença de grupos de coletores e pescadores naquela região (AFONSO, 2017). Em Santa Catarina, o IPHAN cadastrou 1.471 sítios arqueológicos no estado, conforme o Cadastro Nacional de Sítios Arqueológicos (CNSA), caracterizados como pré-coloniais (anteriores ao contato europeu), sítios de contato e sítios “históricos” (marcados pelos vestígios materiais oriundos de processos de ocupação do território depois do contato europeu). Ali se encontram os maiores sambaquis do mundo, concentrados, principalmente nas cidades de Laguna e Jaguaruna. Destaca-se o sítio arqueológico de Garopaba do Sul, em Jaguaruna, com 30 metros de altura e 200 de diâmetro, e mais de 3.700 anos. Entre os achados encontraram-se restos humanos sepultados e estatuetas de pedra polida, os zoólitos, figuras de animais representadas de maneira estilizada representando em geral baleias, peixes e pássaros. Na Ilha do Campeche, em Florianópolis, encontra-se outro importante sítio arqueológico: um conjunto de inscrições e registros, a maior concentração desse tipo num único sítio arqueológico em todo o litoral brasileiro. São desenhos que lembram flechas e máscaras, símbolos geométricos, um monólito com nove metros de altura e um ponto.

Magnético sinalizado com inscrição rupestre onde as bússolas têm comportamento alterado. O local possui ainda ruínas de armação de baleia, datada de 1772. A Ilha do Campeche foi tombada pelo IPHAN em 2001 (DeBLASIS; GASPARG, 2009). Atualmente, em toda a costa brasileira regiões de manguezal são verdadeiras fontes de recursos para populações carentes que retiram dali o seu sustento, sendo estas usualmente ocupadas por famílias de pescadores locais (NISHIDA et al., 2018). A atividade de mariscagem, portanto, é considerada “uma forma

não predatória de uso dos recursos”, realizada de forma artesanal, tanto para consumo próprio quanto para venda, para suprir o mercado consumidor de frutos do mar. Porém esta atividade está cada vez mais comprometida devido aos impactos provenientes dela e uma das consequências que pode gerar é a significativa redução em termos de coleta de mariscos (CARDOSO, 2007).

### 3.1.2 Mariscagem no Município de Igarassu/PE

Em Pernambuco, a atividade de mariscagem tem destaque no litoral norte, especialmente no complexo estuarino-costeiro de Igarassu, com vastas áreas de 25 manguezais associadas ao Canal de Santa Cruz e aos estuários de vários rios que nele desembocam (PEDROZA-JÚNIOR et al., 2012). Este Complexo representa um valor cultural, econômico e científico muito grande em virtude da existência de um conjunto de habitats para espécies pesqueiras de importância comercial, como peixes, crustáceos e moluscos. O molusco mais capturado e comercializado no Canal é a *Anomalocardia brasiliana* (GMELIN, 1791), a qual é muito comum no litoral pernambucano, e em toda a costa brasileira desde o Pará até o Rio Grande do Sul. Representa uma fonte tradicional de alimento e renda para as marisqueiras (BARROS et al., 2010).

O Canal é considerado por Barros et al. (2010) como um dos sistemas mais importantes do litoral do Estado de Pernambuco representando uma unidade ecológica de grande significado socioeconômico, produtividade natural e biodiversidade. Por todas estas características únicas, pela importância das atividades piscícolas e a necessidade de se garantir o desenvolvimento socioeconômico da região aliado à preservação do seu patrimônio natural, histórico e cultural, a região foi transformada em Área de Proteção Ambiental (APA) pelo Decreto Estadual de nº 32.488, de 17 de outubro de 2008, compreendendo uma área de 38.692,32 ha, entre os Municípios de Itamaracá, Itapissuma, Igarassu e Goiana. Os objetivos principais da APA são promover o desenvolvimento sustentável do ecossistema, proteger o complexo estuarino do Canal de Santa Cruz e suas espécies raras e endêmicas, além de preservar a cultura local e os hábitos das comunidades tradicionais no que tange às atividades econômicas e valores locais (BRASIL, 2008). No município de Igarassu-PE, a Lei Municipal nº 2.629 de 2006, que institui o Plano Diretor, assinala que o município tem como ação prioritária, tangenciando a proteção ambiental: i) disciplinar a pesca do marisco e apoiar projetos de aproveitamento das conchas

desses moluscos; ii) diversificar as atividades na propriedade rural, a partir da criação de um Programa de Fomento e Educação Produtivo/Ambiental, integrando e inter-relacionando as atividades: agrícola, florestal, pesca, artesanato, ecoturismo, extrativismo; iii) sensibilizar e conscientizar a população marisqueira, sobre a importância da flora para o desenvolvimento da fauna do manguezal; iv) garantir instalação de equipamentos de apoio ao turista e ao pescador, no limite da praia, respeitando a faixa da linha de preamar, mediante plano de urbanização autorizado pelos órgãos competentes e pela APA de Nova Cruz (CONDAPA); v) promover uma agenda de atividades produtivas para os Pescadores no período da desova dos peixes, das espécies que são utilizadas na pesca e extrativismo dos mangues e praias; vi) fiscalizar a pesca predatória e orientar para o manejo adequado da pesca; vii) incentivar a pesca artesanal, sensibilizando os pescadores para a pesca sustentável; viii) implantação da Colônia das marisqueiras e Pescadores de Nova Cruz (IGARASSU, 2006).

Um dos principais rios do município, o rio São Domingos (também conhecido e registrado em documentos oficiais como Rio Igarassu), foi chamado primitivamente pelos nativos índios Caetés de rio “Jussara”. Possui sua nascente no córrego do arregalado na cidade de Abreu e Lima, e extensão aproximada de 50km e 14.341,20 ha, sendo 81,70% no território de Igarassu. Tem como principais afluentes os rios Taépe, Tabatinga, Bonança, Utinga, Monjope, Maniquara e os riachos do Paulo, Pitanga e Arrombados. O rio São Domingos é um dos mais impactados pelo descarte inadequado dos resíduos sólidos da mariscagem em seu leito e considerado “poluído” na classificação do órgão ambiental estadual (CPRH, 2003a; IGARASSU, 2006). O Município apresenta um clima tropical úmido de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura média anual em Igarassu é 25.5 °C, sendo o mês de fevereiro o mais quente com temperatura média de 26.7 °C, e julho o de menores temperaturas com média de 23.8 °C. Apresenta pluviosidade média anual flutuante entre 1661 – 2050 mm, sendo novembro o mês mais seco e junho o mais chuvoso (APAC, 2014).

O índice pluviométrico, além de outros fatores físicos, químicos e biológicos, afeta diretamente a reprodução das espécies de marisco envolvidas na atividade da mariscagem, e consequência disto, a pesca e a geração dos resíduos sólidos desta atividade (NASCIMENTO et al., 2018). Estes fatores físicos favorecem o predomínio do bioma Mata Atlântica, com vegetação do tipo Floresta Subperenifólia, com partes de Floresta Subcaducifólia e grande faixa de manguezal que se estende até o litoral, importante habitat de reprodução dos mariscos (CPRH, 2003b). As principais praias do Município são Mangue Seco e do Capitão, que possuem extensa faixa de areia e é extremamente importante para o desenvolvimento da

atividade da mariscagem (EL-DEIR, 2009). A praia de Mangue Seco, conhecida como praia do Ramalho, e a praia do Capitão, localizam-se no Distrito de Nova Cruz, bastante frequentada por marisqueiros amadores e profissionais, possui aproximadamente 1500 metros de extensão, águas pouco profundas e recuo de cerca de 500 metros na maré baixa. Esse recuo da maré permite o acesso à ilha da Coroa do Avião durante a baixamar (IBGE, 2015; IGARASSU, 2006).

A Coroa do Avião é um banco de areia de formação geológica recente oriunda da erosão e deposição de sedimentos localizado na parte sul do Canal de Santa Cruz (complexo estuarino), entre o Município de Ilha de Itamaracá e Igarassu. Possui cerca de 20.000m<sup>2</sup> com 560m de comprimento e 80m de largura, que se liga com o continente na baixa-mar, onde em determinadas épocas do ano é rota de aves migratórias para abrigo e alimentação (PINTO; SANTOS, 2016).

### 3.1.3 Quantitativo de resíduo da mariscagem

Para muitos municípios, como os do litoral norte pernambucano, ainda existe carência de dados oficiais que mensurem ou identifiquem a quantidade de conchas de mariscos geradas pela atividade da mariscagem por unidade de tempo em uma determinada região. Essa incógnita em relação aos resíduos da mariscagem dificulta a atuação de órgãos públicos no planejamento e operacionalização de planos de manejo e gestão adequada para com os resíduos, bem como o controle e o monitoramento dos impactos socioambientais oriundos de sua geração desenfreada (VALENTIM et al., 2011). Em 2006 a coleta de marisco no litoral pernambucano foi responsável por 17,7% da produção pesqueira estadual, em torno de 2.475 toneladas, com destaque para os municípios de Goiana, Itapissuma e Igarassu (CEPENE, 2008). Alguns estudos apresentaram, ainda que de forma parcial, resultados importantes do quantitativo dos resíduos da mariscagem gerados. Segundo Oliveira (2013a), cada saco de 60kg de mariscos, produzem entre 3 e 5 kg de "filé" de marisco (a depender da época do ano), sendo o restante a porção líquida e a concha, que correspondem a aproximadamente 55kg. No entanto, Petrielli (2008) constatou que o peso das conchas após dois meses do descarte reduzira em aproximadamente 40%. Isso pode ser explicado pela degradação do residual da matéria orgânica, perda de água e pela decomposição do CaCO<sub>3</sub> (principal componente das conchas) em CaO e CO<sub>2</sub> (que volatiliza).

Vale ressaltar que a diferença de produção nos primeiros meses do ano deve-se ao aumento do número de turistas visitantes, durante a temporada de verão, que demanda maior comercialização, frequência do manejo e, conseqüentemente, a quantidade de resíduos (ROCHA-BARREIRA; ARAÚJO, 2015). A pesquisa realizada por Silva-Cavalcanti (2011), na comunidade de BeiraMar 2, Município de Igarassu-PE, apresentou uma amostra da produção de resíduos despejada nas margens do Rio São Domingos (conhecido como Rio Igarassu) com geração de  $100 \text{ t x mes}^{-1}$ , quantidade esta responsável pelo assoreamento de vários trechos do rio, bem como por dificuldades em sua navegação. Oliveira (2013a) constatou que das conchas resultantes da mariscagem na APA de Santa Cruz, que compreende os municípios de Itamaracá, Itapissuma e Igarassu, 15% eram destinadas a artesanato, 4% eram doadas e 4% vendidas - fins mais nobres. Entretanto, das conchas 6% são descartadas no mar, 15% são utilizadas em aterramentos, 12% são misturadas a outros resíduos e descartadas como “lixo” (recolhido pela prefeitura) e 42% descartadas em terrenos ociosos, baldios ou cedidos. Considerando os percentuais descartados em aterros e em terrenos ociosos, chega-se a 57% de descarte em solo, o que equivale a  $690 \text{ t x mes}^{-1}$ .

Dias; Rosa; Damasceno, (2017) constatou no Rio Grande do Norte, a partir dos dados de produção diária fornecida pelas entrevistas realizadas, uma estimativa de uma produção diária média de 48 kg/dia, resultando em 3,2 kg/pessoa/dia. Entretanto, os valores de produção diária por marisqueira variam de 1,0 a 5,0kg de marisco (apenas a carne). Ainda de acordo com Dias; Rosa; Damasceno, (2017), considerando que as coletas ocorrem pelo menos durante 15 dias por mês, a produção mensal pode chegar a 671 kg, com uma média mensal de 460 kg. Para cada quilo de carne de búzio retirada, 16kg de conchas são descartados. Considerando-se uma produção média mensal estimada em 460 kg, estima-se que há um descarte de aproximadamente 7.357 kg (ou 7,4 toneladas) de conchas, que são jogadas nos quintais e em frente às casas e até mesmo em terrenos baldios das comunidades. Segundo Santos et al. (2017), estudos preliminares têm mostrado que dos volumes extraídos de marisco no estuário do rio Paraíba somente 10% é correspondente a carne do marisco. O restante, que corresponde às conchas, é normalmente descartado nos ambientes de manguezal como aterro ou nas margens do mesmo rio.

### 3.1.4 Impactos ambientais gerados pelo rejeito da mariscagem

Segundo a Resolução CONAMA 001/1986, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais. Essas alterações precisam ser quantificadas, pois apresentam variações relativas, podendo ser positivas ou negativas, grandes ou pequenas (TOMMASI, 1994). As conchas dos mariscos, resíduos gerados, são benéficas aos ecossistemas marinhos e costeiros, contribuindo para a preservação do equilíbrio natural desses locais. As conchas juntamente com outros esqueletos de origem carbonácea são elementos do ciclo natural do cálcio e que, portanto, fornece o cálcio existente nos oceanos. No entanto, o problema se encontra na produção intensiva destes resíduos, que gera uma quantidade muito maior de conchas e outros resíduos, quando comparada com a produção natural, causando assim impactos ao ambiente (PAOLA, 2016). Após a retirada do marisco de sua concha estas são descartadas, geralmente de maneira inadequada, formando verdadeiros montes de mariscos, os sambaquis, que transformam o ambiente e tendem a uma conformação histórico-geológica (LIMA; LOPES, 2016). Os resíduos oriundos da pesca são classificados como não perigosos, encontrada na Instrução Normativa nº 13 do IBAMA (IBAMA, 2012) que publica a “Lista Brasileira de Resíduos Sólidos”, no “Capítulo 02, Subcapítulo 02, e resíduo 03 (Materiais impróprios para consumo ou processamento)”. Essa classificação adotada no Brasil tem como referência a Directiva 2008/98/CE (CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA, 1998).

As conchas resultantes do cultivo da mariscagem representam o peso majoritário dos bivalves. Esse material na maioria das vezes é depositado de forma incorreta, com a maior parte sendo devolvida ao mangue/mar ou depositados nas praias, em aterros ou lixões não havendo destino apropriado ou reutilização, causando impactos ambientais e desequilíbrio no ecossistema, devido a uma maior produção dos resíduos sólidos. O Brasil, portanto, carece de trabalhos específicos voltados ao aproveitamento desses recursos (SILVA; MARTINS, 2017). Segundo o Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos (NRC, 1992), os impactos ambientais da malacocultura restringem-se àquelas áreas onde o cultivo é praticado de forma intensiva. Ainda de acordo com o Conselho Nacional de Pesquisa dos EUA, os principais impactos identificados são: distúrbios das comunidades naturais de fitoplâncton, deterioração

da qualidade da água devido à acumulação de dejetos, introdução de espécies que competem com as já existentes ou que transmitem doenças, poluição visual, assoreamento de áreas de cultivo, danos à atividade turística e contaminação genética dos estoques selvagens.

Chierighini (2011) destaca alguns impactos ambientais decorrentes do descarte irregular de grandes quantidades de conchas que, em ambientes aquáticos (mar e rio), podem levar ao assoreamento e provocar acidentes em banhistas; em terrenos baldios, pode levar à proliferação de vetores, doenças e mau cheiro. 32 A deposição das conchas em aterros sanitários não é um impacto ambiental. Porém, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), há uma sequência de prioridades com relação aos resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Assim, antes de destinar a aterros sanitários, é preciso reciclar. Nesse caso, as conchas podem ser empregadas como matéria-prima para diversos fins, nos quais é possível agregar valor a esse resíduo e promover a proteção do meio ambiente, pois a opção pelos aterros sanitários não elimina o problema.

A decomposição da matéria orgânica aderida nas conchas acumuladas, permite a proliferação de vetores de doenças, incluindo a colonização de micro-organismos patogênicos (SANTOS, 2017). Os lixiviados desses depósitos podem contaminar cursos d'água, podendo ocorrer o fenômeno de eutrofização ou blooms fitoplantônicos com a diminuição do oxigênio dissolvido, pois a decomposição dessa matéria orgânica consome grande quantidade de oxigênio, com formação de gases nocivos e de odor desagradável (CASTILHOS JUNIOR, 2013).

### 3.1.5 Alternativas para aproveitamento das conchas

As problemáticas socioambientais causadas pelo descarte inadequado das conchas provocam pesquisadores ao desenvolvimento de estudos e modelos aplicados para diversos setores. É importante que se busquem formas corretas de se descartar e, se possível, reutilizar os resíduos, sejam eles sólidos ou líquidos, gerados pela atividade de mariscagem (EUROPEAN COMMISSION, 2015). As conchas podem ser utilizadas como matéria-prima em diversos processos industriais. Quando aquecidas a 500°C, elimina a matéria orgânica, obtendo CaCO<sub>3</sub> com 90% de pureza (GREMI DE RECUPERACIÓN DE CATALUNYA, 2007).

Produtos oriundos do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) podem reagir por meio da estabilização química de alguns materiais devido à sua capacidade de estagnar a corrosão. Bastante utilizado, o  $\text{CaO}$  é usado para evitar a corrosão nos materiais de construção civil (LAFARGE, 2015). Um material plástico, feito de polietileno reciclado e pó de concha, foi desenvolvido na Coréia do Sul para retardar as chamas de fogo na incineração. O uso da concha mostrou ser eficiente na transformação de carbonato de cálcio em óxido de cálcio e dióxido de carbono em temperaturas superiores a  $800^\circ\text{C}$ , o que faz diminuir o acesso do fogo ao oxigênio. E assim, este mecanismo diminui a geração de compostos tóxicos durante a incineração (CHONG et al., 2005). A correção da acidez do solo pode ser feita pelo uso de calcário de origem mineral ou de conchas marinhas ricas em  $\text{CaCO}_3$  que constitui, portanto, uma substância adequada para correção da maioria dos solos ácidos (FERNÁNDEZCALVIÑO et al., 2017). Para Cysy (2015), o uso do calcário de conchas como corretivo da acidez dos solos é mais eficiente em produtividade e lucratividade devido às diferenças físicas e químicas do que o calcário das rochas. Segundo o autor, o primeiro tem porosidade de 10,6% que comparada a 5,9% do calcário da rocha perfaz uma superfície de contato muito maior, o que contribui para o aumento da solubilidade, dez vezes maior do que a rocha. Monaco et al. (2012), utilizaram farelo de conchas da espécie *Anomalocardia brasiliana*, bastante abundante no litoral brasileiro, sobretudo na região Nordeste, para adsorção de fósforo e correção da acidez do solo e constataram que o farelo de concha apresenta potencial de uso como corretivo de acidez do solo.

Na Coréia do Sul estudos revelam que as conchas, após serem pirolisadas a uma temperatura de  $750^\circ\text{C}$  durante 1 hora numa atmosfera de nitrogênio, transformam-se num produto para remoção de fosfatos em águas residuárias, com eficiência superior a 98%, sendo esta uma importante estratégia para o controle da eutrofização de águas (KWON et al., 2014). Jung et al. (2016) pesquisaram o uso das conchas para remoção do fosfato. Possível através da combinação de um bioreator de membrana microfiltrante com um leito de adsorção composto de conchas de ostras moídas e zeólitos, como tratamento terciário, resultou numa remoção de 90% de fosfato total. No setor aviário pode ser usado como suplemento alimentar das rações, evitando a ocorrência de doenças ligadas à má formação óssea devido à deficiência de cálcio e propiciando ovos mais resistentes, com um diferencial comercial (YAO et al., 2014). O carbonato de cálcio extraído das conchas, vem sendo muito utilizado como suplemento alimentar para reposição de cálcio no organismo. Estudos feitos com pessoas idosas, no Japão, confirmam que o carbonato extraído das conchas é melhor absorvido com maior eficiência pelo intestino e aumenta a densidade mineral dos ossos, principalmente na região lombar em pessoas

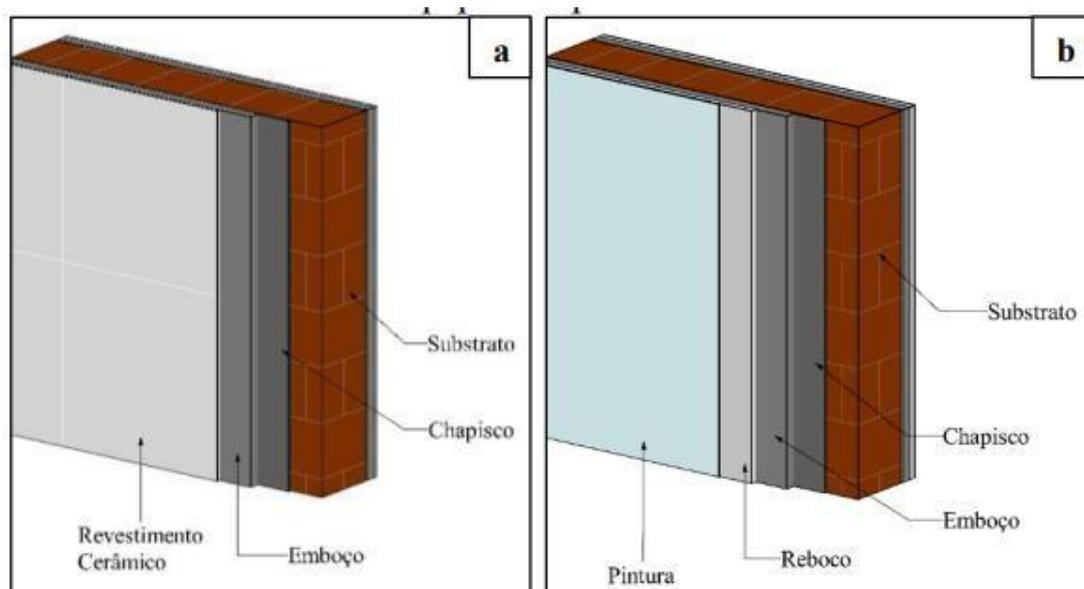
com deficiência em cálcio, hiperparatireoidismo secundário (OSO; IDOWU; NIAMEH, 2011).

### **3.2 Argamassa**

A NBR 13281 define argamassa como uma combinação de aglomerantes, agregados e água, podendo conter aditivos, e que apresentam propriedades e aderência e endurecimento (ABNT, 2005a). As argamassas podem ser classificadas quanto a sua função em: de revestimento de paredes e tetos, de revestimento de pisos, de revestimentos cerâmicos, de assentamento de alvenaria e de recuperação de estruturas (CARASEK, 2017). A aplicação de revestimentos de argamassa tem os objetivos de proteger os elementos de vedação contra as intempéries, contribuir para o isolamento termoacústico, regularizar a superfície de elementos internos e externos, além de ser base para aplicação de acabamentos decorativos (CARASEK, 2017; TOKUDOME, 2020).

A NBR 13529 descreve que o sistema de revestimento de argamassa em paredes e tetos, seja para vedação de substrato cerâmico ou estrutural, é composto por uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa que desempenham diferentes funções (ABNT, 2013a). O substrato é a base sobre a qual as camadas de revestimento serão aplicadas, o chapisco tem a função de uniformizar a base quanto a absorção de água e aumentar a aderência da base com o emboço, este último, responsável por produzir uma superfície regularizada antes de receber acabamentos como cerâmicas, pedras e placas (Figura 1a). O reboco é o revestimento que encobre o emboço, que constitui a última camada antes de iniciar o sistema de pintura ou de papeis de parede (Figura 1b) (ABNT, 2013a).

Figura 01: Camadas de revestimento



Fonte: Adaptado de Carasek (2017)

Carasek (2017) indica que existem propriedades fundamentais para que as funções do revestimento de argamassa sejam obtidas. A trabalhabilidade deve possibilitar a correta aplicação do material, caso contrário o desempenho do revestimento será comprometido, afetando as propriedades no estado endurecido. A retração, relacionada à perda de umidade durante a cura da argamassa, é diretamente proporcional à quantidade de água utilizada na mistura, afetando a porosidade e resistência mecânica (JOSHAGHANI; BALAPOUR; RAMEZANIANPOUR, 2018).

A aderência é a principal propriedade no estado endurecido da argamassa, referente à resistência mecânica diante de tensões aplicadas na superfície ou na interface revestimento substrato. Considerando a necessidade de estanqueidade e durabilidade do revestimento, a resistência mecânica das argamassas é importante, para que suportem esforços de tração e compressão sem a ocorrência de rupturas e fissuras (CARASEK, 2017; ABNT, 2019a).

### 3.3 Cal

A cal hidratada é um importante componente de argamassas utilizadas na construção civil. O seu uso nas argamassas traz vantagens como trabalhabilidade e durabilidade. Porém, há desvantagens, como o seu processo lento de endurecimento e a ausência de requisitos mais efetivos de qualidade das cales na normalização brasileira (a NBR 7175) que determinam uma

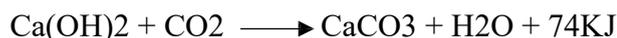
cal com a qualidade necessária ao seu emprego em argamassas. Atualmente, as argamassas simples de cal hidratada estão sendo usadas para restauração de prédios históricos, pois são produtos compatíveis quimicamente e fisicamente com os materiais tradicionais desses prédios.

Um fator importante para a qualidade do produto é o cuidado com a sua produção, que consiste na extração da rocha, calcinação e hidratação. No processo de extração, há diferentes constituições de rochas que poderão ser utilizadas e que irá definir a composição da cal. A diferença na constituição das rochas é a quantidade de cálcio e magnésio presentes, podendo ser calcária ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomítica ( $\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$ ) ou magnésiana (nesse caso com um teor mais elevado de magnésio). A decomposição de carbonato de cálcio a temperaturas entre 700 à 1000°C e posteriormente reagem com água, em seu processo de hidratação, formando o produto final da cal, o hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio. Nas argamassas, a cal funciona como um aglomerante aéreo, pois reage com o gás carbônico formando um produto sólido e rígido, processo conhecido como carbonatação.

Há diferentes formulações para as argamassas na construção civil e o que irá definir os materiais e traços será a sua função e aplicação, podendo ser argamassa de assentamento, revestimento de paredes, pisos e tetos, para recuperação de estruturas, entre outras. Nas argamassas mistas, ou seja, de cimento, cal e areia, ocorre dois processos distintos na fase de endurecimento: a hidratação do cimento e a carbonatação da cal. O mecanismo da hidratação do cimento é o fator principal para o endurecimento da argamassa, sendo que o processo de carbonatação influencia a hidratação: altera a cinética convencional de hidratação do clínquer. Já em argamassas simples, de cal e areia, seu endurecimento depende apenas da carbonatação que ocorre lentamente, podendo levar anos para ocorrer.

A reação de carbonatação possui vários fatores intervenientes. MOOREHEAD mostrou alguns destes fatores, tais como: concentração de gás carbônico, temperatura do gás e umidade. Todos os fatores que interferem na taxa de carbonatação da cal são consequência do poder de penetração de  $\text{CO}_2$  na argamassa. Além desses fatores, a reação depende da presença de água para dissolução e transporte do  $\text{CO}_2$  ocorrendo rapidamente na superfície externa, sobretudo em uma atmosfera saturada de  $\text{CO}_2$ .

A carbonatação da cal, como é chamado seu processo de endurecimento, é a reação de hidróxido de cálcio com o anidrido carbônico, que pode ser descrita pela envolvendo um ganho de massa causado pela transformação do hidróxido em carbonato. Esta reação também ocorre com o hidróxido de magnésio, outro constituinte da cal hidratada que funciona como aglomerante.



Este processo é controlado por dois mecanismos principais: difusão do gás atmosférico dentro dos poros da argamassa e reação química entre o CO<sub>2</sub> dissolvido e o Ca(OH)<sub>2</sub>. Porém, o fato de o carbonato ter maior massa e volume que o hidróxido, ao longo do tempo, a argamassa ficará menos permeável, dificultando o mecanismo de difusão do gás carbônico e causando a diminuição da taxa de carbonatação. DHEILLY et al. [5] estudaram a influência das condições ambientais na taxa de carbonatação de cales. Foi observado que quanto maior a temperatura, menor a taxa de carbonatação, pois há menor absorção de água pela cal e menor solubilidade do gás na água; a temperatura recomendada é de 10°C, no máximo 20°C. Em relação à umidade e a porcentagem de CO<sub>2</sub>, esses pesquisadores observaram uma relação proporcional com a taxa de carbonatação; quanto maior a porcentagem destas variáveis, maior a taxa de carbonatação. Conhecendo-se melhor este fenômeno de endurecimento da cal em argamassas e identificando as melhores condições para a carbonatação, poder-se-á aproveitar o potencial desse fenômeno para obter-se argamassas de cal mais resistentes.

### 3.4 Técnicas de Caracterização

#### Difração de raio-x

Em 1895, o raio-x foi descoberto por Wilhelm Roentgen e definido como ondas eletromagnéticas de comprimento muito curto, da ordem de 10<sup>-10</sup>m. Roentgen observou que os elétrons emitiam uma radiação capaz de marcar uma chapa fotográfica quando adquiriam energia cinética suficiente no tubo de raios catódicos. Ele colocou corpos opacos entre tubo e a chapa fotográfica e observou que a radiação transmitida diminuía com a presença dos materiais, porém, os corpos não conseguiam impedir totalmente a chegada da radiação na placa. Em 1913, Max Von Louve sugeriu que os arranjos regulares dos átomos em um cristal, cujo espaçamento conhecido era de 10<sup>-10</sup>m, poderiam agir como uma rede tridimensional de difração de raios (JEWET JUNIOR; SERWAY, 2005).

O raio-x é largamente aplicado em radiografias, na área da medicina, porém, pelo alto poder de penetração, essa radiação também é utilizada em análises de materiais. O raio-x é produzido a partir da desaceleração de uma partícula com alta energia cinética, como por exemplo, quando um elétron de alta energia colide com uma superfície metálica. Henry Bragg e seu filho são os principais responsáveis pelos estudos que levaram as primeiras interpretações de experimentos de difração para cristais de estruturas simples. Posteriormente, ambos

desenvolveram um detector de raio-x e, desde então, os experimentos para detecção de estruturas cristalinas se desenvolvem rapidamente (SURYANARAYANA, 2011).

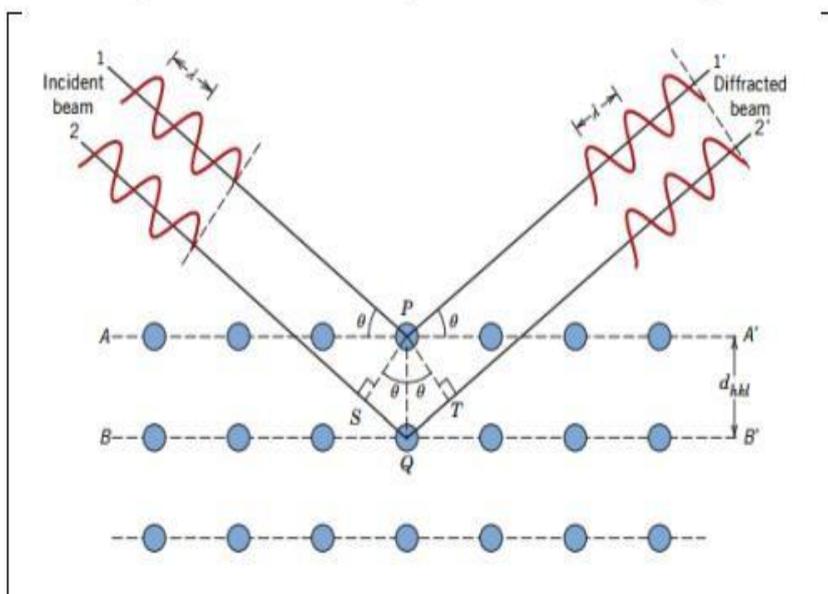
A difração de raio-X (DRX) é a técnica recomendada para determinação das fases cristalinas dos materiais, porque na maior parte dos sólidos, os átomos se distribuem ordenadamente em planos cristalinos, que são separados por distâncias da mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda do raio-X (ALBERES et al., 2002).

A difração é um fenômeno que consiste no espalhamento da radiação eletromagnética, provocada pela interação entre feixe de raio-X incidente e os elétrons dos átomos que compõem a eletrosfera do material. Esse espalhamento fornece informações que normalmente são utilizados junto a outras técnicas de caracterização de materiais, para que se tenha uma análise mais completa (CANEVAROLO JUNIOR, 2004).

Tratando-se da identificação de estruturas cristalinas e da compreensão da estrutura da matéria de uma geral, a técnica de difração é extrema importância e a mais usual (CANEVAROLO JUNIOR, 2004).

Segundo Alberes *et al.* (2002), ao incidir um feixe de raio-X em um material, os átomos presentes na sua estrutura cristalina provocam o fenômeno da difração, e esta difração obedece a Lei de Bragg. Considerando a estrutura periódica de material cristalino, a lei de Bragg estabelece a relação entre ângulo de incidência de feixe de raio-X ( $\Theta$ ), a distância entre os planos cristalográficos do material ( $d$ ) e o comprimento de onda do raio incidido ( $\lambda$ ), conforme a expressão  $n\lambda = 2d \cdot \sin\Theta$ , exemplificada na figura 02.

FIGURA 02: Desenho esquemático da Lei Bragg.



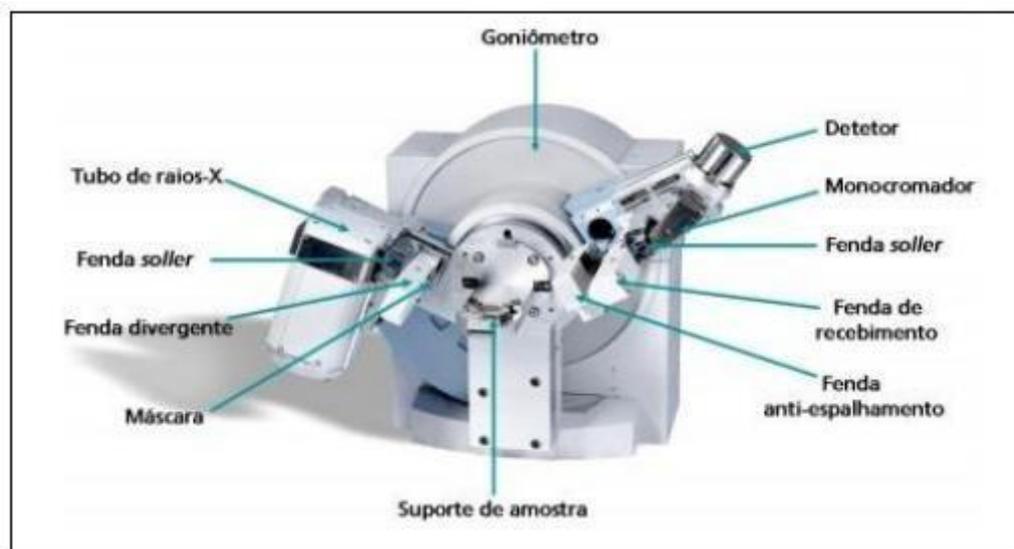
FONTE: Calister Jr e Rethwish (2016)

Essas interações entre ângulo de difração e a distância entre planos geram um perfil de difração, que é característico para cada fase cristalina do material, determinando sua composição mineralógica (ALBERES *et al.*, 2002).

O padrão de difração se dá pela interferência dos feixes dispersos que estão em fase. Os comprimentos de onda interagem com diferentes planos cristalográficos e por saírem em fase, tem suas amplitudes somadas, determinando um pico de difração que posteriormente será usado para a obtenção dos dados de interesse (SURYANARAYANA, 2011).

O equipamento utilizado para realizar o ensaio de difração é o difratômetro, cujos componentes são basicamente uma fonte de raio-X, o goniômetro, um suporte de amostra, um monocromador e um detector móvel (GOBBO, 2009). Na figura 3 pode-se observar um modelo de difratômetro comercial.

FIGURA 03: Difratômetro comercial com a configuração clássica de Bragg-Brentano.

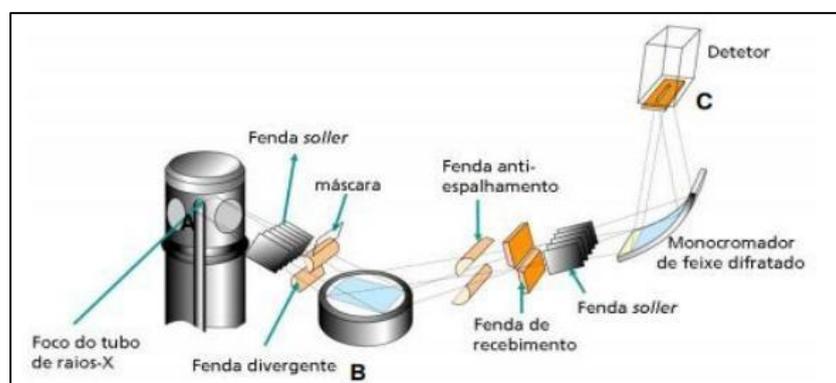


FONTE: Calister Jr e Rethwish (2016)

Os raios-X são gerados aplicando feixe de elétrons de elevada energia em um ânodo de metal, que fica dentro do tubo sob vácuo, com corrente variável, dependendo do metal utilizado. A intensidade da corrente aplicada afeta a intensidade dos picos obtidos, mas não altera os valores dos ângulos (SURYANARAYANA, 2011).

Além disso, o detector do equipamento pode ser de três tipos, sendo os mais usuais: o proporcional, de cintilação e estado sólido. Em geral, os difratômetros para amostras em pó utilizam os detectores proporcionais (SURYANARAYANA, 2011). A figura 4 demonstra de forma esquemática como acontece a detecção dos raios X em uma amostra.

FIGURA 04: Esquema do funcionamento do equipamento, com a trajetória do feixe da fonte até do detector.



Fonte: Gobbo (2009)

O feixe gerado pela fonte sai do tubo, passa pela fenda *soller*, a qual tem a função de diminuir a divergência axial do feixe (também chamada de colimador), incidindo sobre a amostra, indicado por “B”. O feixe difratado passa pelas demais fendas e incide no detector “C”, depois de ter passado pelo monocromador (GOBBO, 2009).

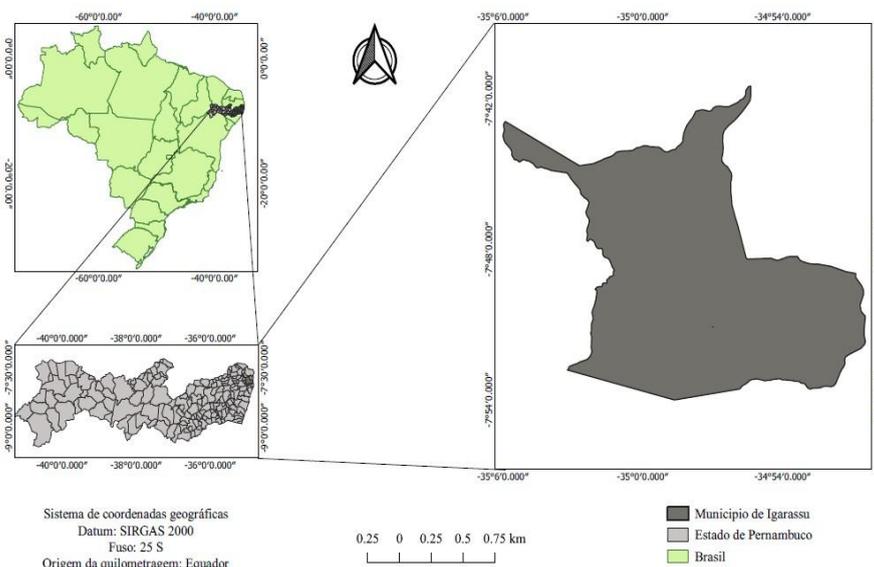
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste tópico é apresentado uma metodologia descritiva que vem a atender aos objetivos propostos nesta pesquisa, o método utilizado e os procedimentos de como a referida pesquisa foi realizada.

### 4.1 Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida no município de Igarassu-PE, localizado na Região de Desenvolvimento Metropolitano do Recife (figura 1), o qual ocupa área de 305,6 km<sup>2</sup>, representando 0,33% do território pernambucano (IBGE, 2010; IGARASSU, 2015; PERNAMBUCO, 2010). A área está inserida nas coordenadas geográficas: latitude 07° 50' 03" S, longitude 34° 54' 23" O e altitude de 19 m. O litoral de Igarassu, onde está situada a APA de Nova Cruz (distrito de Nova Cruz), possui praias com águas quentes e calmas. As praias tratadas nesse estudo foram Mangue Seco, conhecida como praia do Ramalho, e praia do Capitão, que possuem extensa faixa de areia e são extremamente importantes para o desenvolvimento da atividade da mariscagem. Estas praias localizam-se no Distrito de Nova Cruz, sendo bastante frequentada por marisqueiros amadores e profissionais, possuindo aproximadamente 1.500 metros de extensão, águas pouco profundas e recuo de cerca de 500 metros na maré baixa. Esse recuo da maré permite o acesso à ilha da Coroa do Avião durante a baixa-mar (IBGE, 2015; IGARASSU, 2015).

FIGURA 05: Localização da área da pesquisa pertencente à Igarassu, Pernambuco.



Fonte: Cunha (2020)

## **4.2 Avaliação dos impactos ambientais**

A identificação dos impactos ambientais se deu através de visitas de campo, de caráter exploratório, no município de Igarassu, especificamente nos bairros: Agamenon Magalhães, Beco do Machado, Escorregou Tá Dentro, Beira Mar 1, Beira Mar 2 e nas praias de Mangue Seco e do Capitão. Foram realizadas oito visitas, no período de setembro de 2024 a março de 2025. Neste período, foram realizadas entrevistas aos marisqueiros, com perguntas sobre a atividade de mariscagem, conceitos de conservação e aspectos socioeconômicos para uma melhor compreensão do modo de pensar dos marisqueiros e percepção ambiental relativa às alterações no ambiente, da determinação dos sítios de coletas, da preservação da população e da continuidade das atividades de mariscagem pelos seus descendentes. O objetivo da entrevista foi de conhecer a relação dos marisqueiros com o meio ambiente, levantar a destinação dos rejeitos da atividade, entender as condições de coleta e as possibilidades de reutilização/reciclagem das conchas.

Para a identificação dos impactos ambientais foram identificadas as ações ou atividades, que são as causas, enquanto os impactos são as consequências sofridas (ou potencialmente sofridas) pelos receptores ambientais (os recursos ambientais, os ecossistemas, os seres humanos, a paisagem, o ambiente construído). Os mecanismos ou os processos que ligam uma causa a uma consequência são os efeitos e aspectos ambientais, sendo o efeito ambiental a alteração de um processo natural ou social decorrente de uma ação humana e o aspecto ambiental os elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir como meio ambiente.

## **4.3 Volume de descarte de concha de marisco**

Durante o mês de maio de 2024, foram realizadas visitas de campo com o objetivo de executar o levantamento topográfico. Para isso, foram coletados pontos nos diferentes níveis dos montes de conchas — base, meio e topo —, bem como em áreas do terreno natural da praia, com a finalidade de compreender a declividade do local. Adicionalmente, estabeleceram-se pontos de controle, conhecidos como benchmarks, assegurando a consistência e compatibilidade entre os dois métodos de levantamento topográfico utilizados. Para mensurar a declividade dos montes de conchas in loco, foi realizado um levantamento planialtimétrico utilizando dois Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) da marca Emlid — o Reach RS2 RTK e o Reach RS+ — operados via conexão Wi-Fi por meio do aplicativo Emlid Flow (metodologia 1).

Complementarmente, foi empregada uma segunda metodologia utilizando uma Estação Total (marca PENTAX, modelo R-425VN reflectorless), com o suporte de um prisma refletor, responsável por devolver o sinal à estação. A adoção de ambas as metodologias e deve à dificuldades encontradas em campo, relacionadas à perda de comunicação entre os equipamentos GNSS base e rover, causadas pela distância entre eles. Na aplicação do GNSS, o equipamento Reach RS2 RTK foi configurado como estação base (fixa), enquanto o Reach RS+ atuou como estação rover (móvel), operada manualmente em deslocamento pelo terreno. Ambos os dispositivos foram posicionados a uma altura de 1,60 metros, e cada ponto foi registrado com um tempo de captação de três segundos (Figura 5). Na segunda metodologia, a Estação Total foi posicionada em três locais distintos (estacas 1, 2 e 3), sendo realocada conforme surgiam obstáculos visuais, principalmente vegetação como coqueiros, que dificultavam a visada direta ao prisma. Ressalta-se que tanto a estação base quanto a Estação Total foram montadas sobre tripés para garantir a estabilidade dos equipamentos durante a coleta de dados.

FIGURA 06: Levantamento topográfico.



Após a realização do levantamento topográfico, os dados obtidos em campo — incluindo latitude, longitude e altitude — foram organizados em formato tabular e transferidos para o computador. Em seguida, foram processados em um software acadêmico gratuito de modelagem e desenho. A geração dos desenhos topográficos e o cálculo dos volumes foram

realizados com escala de 1:500, adotando-se intervalos altimétricos de 0,20 metros entre as curvas de nível.

A representação dos dados topográficos realizou-se por meio de curvas de nível — ligando os diferentes pontos que possuem a mesma altura dentro da área levantada. Para facilitar o cálculo do volume foi feito um zoneamento dos montes dispostos na área da praia, visto que resultava em três pontos principais de descarte. Além da análise topográfica para mapeamento o volume de descarte das conchas de marisco geradas em 2024, esses dados foram comparados com a prática realizada em 2020 (Cunha, 2020) no mesmo local (praia de Mangue Seco).

A quantidade de conchas acumuladas ao longo do tempo — especialmente em períodos em que não há coleta regular pela prefeitura — pode servir como um indicativo indireto da produção realizada pelas marisqueiras. Considerando que a prefeitura realiza a remoção desses resíduos aproximadamente a cada dois meses, o volume acumulado entre uma coleta e outra reflete a produtividade coletiva do grupo de marisqueiros no intervalo. A partir de estimativas empíricas baseadas em observações locais, entrevistas com as marisqueiras e análise do volume total levantado, é possível deduzir a média mensal de produção por pessoa.

Supondo que as conchas representem um subproduto direto da extração da carne de marisco, e considerando a densidade das conchas, pode-se estimar o número de marisqueiras atuantes, mesmo que de forma intermitente, e sua produtividade média, o que contribui para compreender o impacto socioeconômico e ambiental da atividade.

#### **4.4 Avaliação de desempenho das conchas na argamassa**

##### **4.4.1 Caracterização dos materiais**

###### **4.4.1.1 Agregado Concha Triturada**

A concha triturada utilizada como agregado nesta pesquisa foi proveniente da praia de Mangue Seco em Igarassu/PE, a qual foi recolhida após o processo de separação da carne e da concha e levada para o laboratório de Materiais de Construção da UFRPE, sendo realizada a trituração das conchas com uma forrageira (figura 6), e por fim sendo possível ser realizado os ensaios de características físicas no agregado triturado in natura.

FIGURA 07: Conchas utilizadas no experimento. A) Concha in natura. B) Concha triturada após o processo de trituração.



Fonte: autor (2025)

#### 4.4.1.2 Massa específica da concha triturada

O ensaio foi realizado conforme NBR NM 52:2009, agregado miúdo Determinação da massa específica e massa específica aparente. A massa específica do agregado miúdo foi calculada a partir da execução do ensaio, onde:

- Foi pesado 1 kg de concha, a amostra foi colocada em um recipiente submersa em água e deixada em repouso durante o período de 24 horas;
- Depois da areia estar encharcada, retirou-se a amostra da água e espalhou-se em superfície plana, submetendo à ação de uma suave corrente de ar para secagem, até que os grãos do agregado miúdo não ficassem fortemente aderidos entre si;
- Após a secagem não por completo da areia, assegurando que a amostra ainda tivesse umidade superficial, colocou-se o agregado no molde tronco-cônico, sem comprimi-lo dando 25 golpes suaves e depois levantou-se verticalmente o molde. Assegurar que no primeiro ensaio o agregado tenha alguma umidade superficial. Se o cone desmoronar na primeira tentativa, o agregado miúdo terá sido seco além do seu ponto de saturada superfície seca;
- Depois da realização do ensaio do tronco-cônico, pesou-se 500g ( $m_s$ ) de areia sendo colocada em um frasco aferido;
- Após pesagem das 500g e da colocação no frasco aferido, pesou-se o conjunto ( $m_1$ );

- Após a pesagem do frasco com o material foi colocada água até próximo da marca de 500 cm<sup>3</sup> ( $V$ ). O frasco com areia e água foi agitado para eliminar as bolhas de ar e depois colocado em um banho mantido à temperatura constante de 23 2°C;

- Após o frasco ficar no banho por 1h, completou-se com água até a marca de 500 cm<sup>3</sup>. Foi pesado o frasco determinado a massa total ( $m_s$ );

- Após pesagem do frasco com areia e água, retirou-se o agregado miúdo do frasco, a mesma foi seca a temperatura de 105 5°C até massa constante, deixando esfriar até temperatura ambiente e então pesada ( $m$ ).

Com os valores adquiridos, aplicou-se a equação 1, de Massa específica do agregado seco, conforme abaixo.

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a}$$

Em que:

$d_1$ , é a massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

$m$ , é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

$V$ , é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

$V_a$ , é o volume de água adicionada ao frasco de acordo com a seguinte equação 2, em centímetros cúbicos:

$$V_a = \frac{V_2 - V_1}{\rho_a} \quad (2)$$

Em que:

$m_1$ , é a massa do conjunto (frasco + agregado), em gramas;

$m_2$ , é a massa total (frasco + agregado + água), em gramas;

$\rho_1$ , é a massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

Para o cálculo da Massa específica do agregado saturado superfície seca, conforme a seguinte equação 3:

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a} \quad (3)$$

Em que:

$d_2$ , é a massa específica do agregado saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

$m_s$ , é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

$V$ , é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

$V_a$ , é o volume de água adicionada ao frasco, em centímetros cúbicos.

Para o cálculo da Massa específica do agregado, conforme a seguinte equação 4:

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad (4)$$

Em que:

$d_3$ , é a massa específica do agregado, em gramas por centímetros cúbicos;

$m$ , é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

$V$ , é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

$V_a$ , é o volume de água adicionada ao frasco, em centímetros cúbicos.

$m_s$ , é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

$\rho_a$ , é a massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

#### 4.4.1.3 Massa unitária da concha triturada

O ensaio foi realizado conforme NBR NM 45:2006, Agregado - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

A massa unitária do agregado miúdo foi calculada a partir da execução do ensaio, onde:

- Utilizou-se um recipiente cheio com água à temperatura de 25°C e foi colocado uma placa de calibração para cobrir o recipiente para que fossem eliminadas as bolhas de ar e a água em excesso;

- Após o recipiente cheio e sem bolhas, foi feita a pesagem para determinar a massa de água no recipiente (m);

- Depois da pesagem, foi feita a medição da temperatura da água, para obter sua massa específica, utilizando a tabela 5, interpolando os valores se necessário.

TABELA 01: Massa específica da água.

Temperatura (°C)	Massa Específica (kg.m <sup>-3</sup> )
15,6	999,01
18,3	998,54
21,1	997,97
23,0	997,54
23,9	997,32
26,7	996,59
29,4	995,83

Fonte: ABNT NBR NM 45:2006.

- Depois realizou-se o cálculo do volume V, do recipiente, dividindo a massa de água necessária para encher o recipiente por sua massa específica;

- O procedimento adotado foi o Método C, que deve ser empregado para determinar a massa unitária do material no estado solto;

- O recipiente vazio foi pesado e determinado sua massa ( $m_{\emptyset}$ );

- Após a pesagem do recipiente vazio, o mesmo foi cheio utilizando uma pá ou uma concha até que transbordasse, despejando o agregado de uma altura que não superasse 50mm acima da

borda superior do recipiente. Evitando ao máximo a segregação dos agregados que compõem a amostra;

- Depois do recipiente cheio foi feito o nivelamento da camada superficial do agregado e foi feita a pesagem da massa do recipiente mais seu conteúdo ( $m_{at}$ ).

Com os valores adquiridos, aplicou-se a equação 5, da Massa unitária, conforme abaixo.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (5)$$

Em que:

$\rho_{ap}$ , é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

$m_r$ , é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

$V$ , é a massa do recipiente vazio, em quilogramas.

#### 4.4.1.4 Teor de umidade da concha triturada

O ensaio foi realizado conforme NBR 9775:2012, Agregado miúdo - Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman.

O teor de umidade do agregado miúdo foi calculado a partir da execução do ensaio, onde: - Foi colocado água no frasco de Chapman até a marca de 200 ml, deixado em repouso, para que a água aderida às faces internas escorressem totalmente;

- Depois de não ter mais água aderida na parede do frasco, foi colocado o 500g do agregado miúdo cuidadosamente no frasco, sendo agitado para eliminação das bolhas de ar;

- Depois da agitação do frasco, foi colocado em repouso por 45 segundos em superfície plana e isento de vibrações, foi realizada a leitura do nível atingido pela água no gargalo, indicando volume em milímetros, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo. As faces internas devem estar secas e sem grãos aderentes.

- Com a leitura do nível água-agregado miúdo, realizada, aplicou-se na equação 6, de teor de umidade, conforme abaixo.

$$h = \frac{[500 - (v - 200) \cdot \gamma]}{(v - 700) \cdot \gamma} \times 100 \quad (6)$$

Em que:

$h$ , é o teor de umidade superficial, expresso em porcentagem (%) da massa de agregado miúdo na condição saturada de superfície seca (SSS). O resultado deve ser arredondado ao décimo mais próximo;

$v$ , é a leitura do frasco de chapman (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo), expresso em mililitros (ml);

$\gamma_s$  é a densidade na condição saturada de superfície seca (SSS) do agregado miúdo, expressa em gramas por mililitro.

#### 4.4.1.5 Agregado concha calcinada

A concha calcinada utilizada nesta pesquisa teve a mesma origem das conchas trituradas utilizadas como agregado, no entanto foram calcinadas utilizando uma mufla da marca LINN HIGH TERM (figura 08) a temperatura de 900°C, durante um período de 2 horas.

FIGURA 08: Forno utilizado para a calcinação das conchas.



Fonte: autor.

Após esse processo de transformação de calcário em óxido de cálcio, realizou-se sua trituração em um moinho de bolas (figura 09), para diminuir os grãos e realizar o peneiramento em mesa agitadora na malha 200 (0,075 mm), e por fim sendo possível realizar o ensaio de massa unitária.

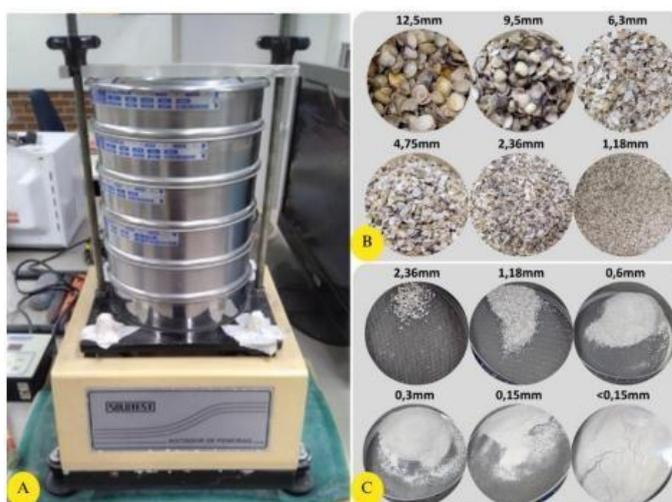
FIGURA 09: Moinho de bolas.



Fonte: autor.

Após o processo de quebra das conchas, foi necessário peneiramento para simular o tamanho dos grãos dos agregados naturais, a partir do ensaio de composição granulométrica foi possível identificar a quantidade de material retida de cada peneira, no Laboratório de materiais de construções sustentáveis foi utilizado agitador de peneiras e serie de peneiras (figura 10 A e B), o processo foi realizado conforme norma ABNT NBR 17054 – Agregados – Determinação da composição granulométrica – método ensaio (ABNT NBR 17054, 2022).

FIGURA 10: A) Agitador de peneiras; B) Concha de marisco equivalente à brita; C) Concha de marisco equivalente à areia.



Fonte: autor.

#### 4.4.1.6 Agregado miúdo

O agregado miúdo usado na pesquisa foi uma areia siltosa com baixo teor de argila mais conhecida na construção civil como saibro, a ABNT 13529 define saibro como um solo proveniente de decomposição de rochas como granitos e gnaisses, com minerais parcialmente decompostos, sendo arenoso ou siltoso. De forma mais simples, como citado por Ferreira (apud GOMES, 2000), o saibro é compreendido nos canteiros de obra como o material resultante da mistura de areia grossa com uma pequena fração de argila. Essa origem a partir da alteração de rochas como granito e gnaisse explica a presença de minerais como quartzo, feldspato e mica em sua composição, além dos argilominerais resultantes da decomposição (MATTOS, 2001).

Realizou-se o ensaio de granulometria é um dos principais testes para caracterizar o solo. O objetivo desse ensaio é determinar a distribuição do tamanho das partículas do solo.

#### 4.4.1.7 Cinza de Madeira

A cinza de lenha pode ser utilizada como um material pozolânico para substituição parcial do cimento em argamassas de restauração, oferecendo benefícios ambientais e técnicos. Essa cinza é obtida pela combustão da madeira e resíduos relacionados, e apresenta propriedades que contribuem para a sustentabilidade da construção civil, reduzindo a extração de matérias-primas e a emissão de CO<sub>2</sub>. Cinzas resultantes do uso de madeira como biomassa também encontram espaço como precursores, especialmente devido ao alto teor de cálcio e alumínio característico desse tipo de resíduo (ABDULKAREEM; RAMLI; MATTHEWS, 2019; HASSAN *et al.*, 2019). A composição das cinzas sofre variações de acordo com o tipo de

planta, a temperatura e a tecnologia da queima, o que as torna materiais adequados para uso como precursor complementar (HASSAN *et al.*, 2019).

#### 4.5 Definição e descrição do conjunto amostral

Experimentalmente foi efetuado um traço teste com as seguintes proporções 1:1:3:1(cal, cinza, areia e água), conforme tabela 01, na qual os resultados ligados a consistência se mostraram uma argamassa para contrapiso mais seca com baixa quantidade de água na mistura.

TABELA 01:Traço teste

<b>TRAÇO UNITÁRIO EM MASSA</b>				
TRAÇO	AGREGADO MIUDO	AGLOMERANTES		ÁGUA
	SAIBRO	CONCHA CALCINADA	CINZA DE LENHA	
TESTE	3,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: autor.

Argamassa produzida sob o traço em massa de 1:1:5:1,365 (cal, cinza, areia e água), conforme tabela 2, no entanto, para controle de dosagem, a equivalência foi convertida em massa, uma vez que os materiais apresentam densidades distintas, a concha calcinada apresenta massa específica superior a (2,8 g/cm<sup>3</sup>), cinza de lenha (2,49 g/cm<sup>3</sup>) e o saibro (1,60 g/cm<sup>3</sup>). Foi realizada essa conversão para assegurar a proporção correta de substituição, mantendo a trabalhabilidade da mistura e resistência. Essa composição visa um revestimento com boa adesão e durabilidade, aproveitando a cinza de lenha como complemento sustentável do ligante e o saibro como agregado regional, conforme estudos realizados em contextos semelhantes, O traço de argamassa para revestimento que utiliza cinza de lenha, cal e saibro é uma composição tradicional e viável para restaurações, especialmente em edificações históricas, combinando propriedades que favorecem a compatibilidade com materiais antigos e a durabilidade do revestimento, com isso um dos grandes desafios da pesquisa foram fabricar uma argamassa com teores adequados.

TABELA 02: Traço padrão

TRAÇO UNITÁRIO EM MASSA				
TRAÇO	AGREGADO MIUDO	AGLOMERANTES		ÁGUA
	SAIBRO	CONCHA CALCINADA	CINZA DE LENHA	
A0	5,00	1,00	1,00	1,365

Fonte: autor.

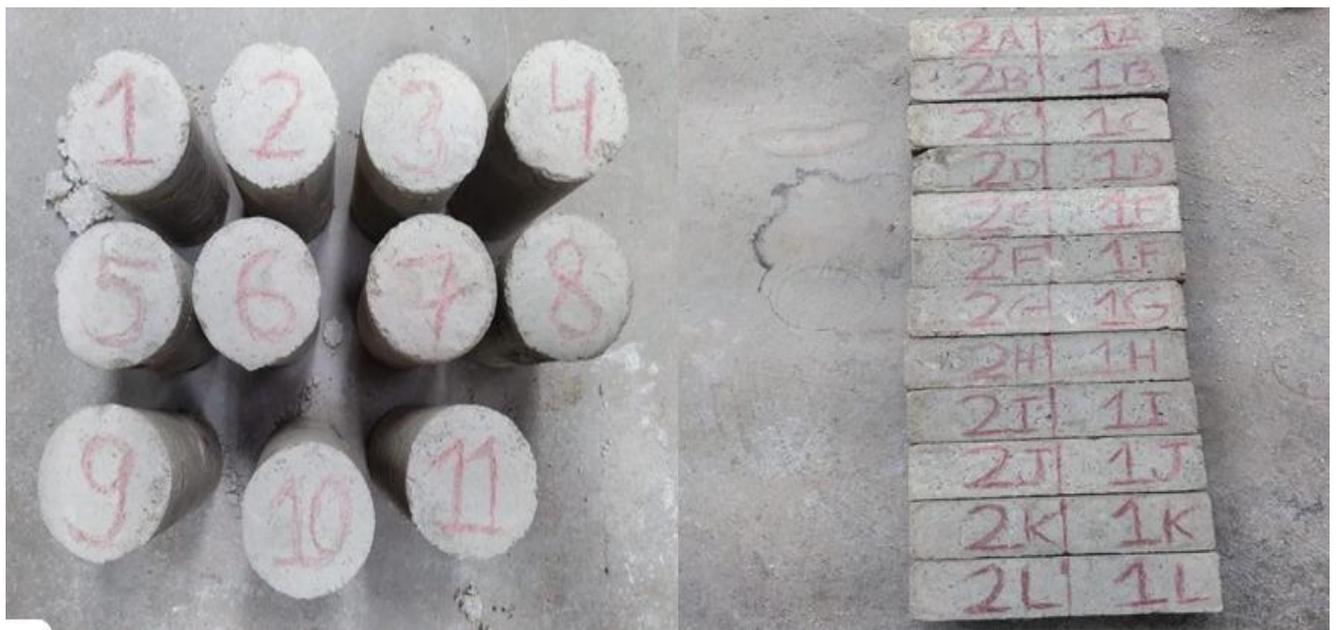
Para realização dos ensaios mecânicos (resistência a compressão, e resistência a tração na flexão), foram produzidas 10 amostras. O ensaio de resistência a compressão será por meio de prensa hidráulica com amostras cilíndricas, já o ensaio de resistência a tração na flexão será por meio de amostras prismáticas (figura 11 A e B). Também será efetuado ensaio de resistência a tração conforme norma ABNT NBR 13528 que tratam da determinação da resistência de aderência à tração em revestimentos de argamassas inorgânicas (figuras 12, 13, 14).

FIGURA 11: A) Corpo de prova cilíndrico; B) Corpo de prova prismático.



Fonte: autor.

FIGURA 12: A) amostras cilíndricas; B) Amostras prismáticas.



Fonte: autor.

FIGURA 13: Fixação dos pontos para ensaio de resistência a aderência.



Fonte: autor.

FIGURA 14: Ensaio de resistência a aderência.



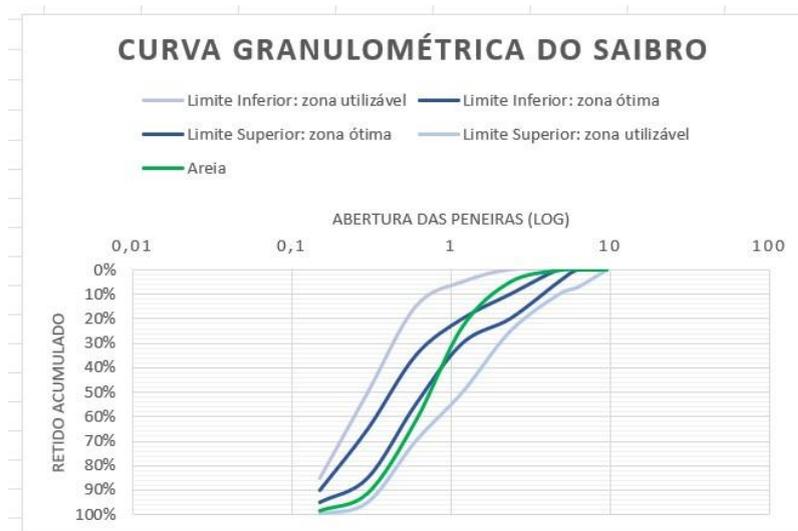
Fonte: autor.

#### 4.6 Composição granulométrica

Foi realizada para o saibro conforme a norma NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio, determina a curva granulométrica, dimensão máxima característica e modulo de finura, consiste no peneiramento dos agregados, utilizando agitador de peneiras e series de peneiras com o objetivo de identificar a quantidade de material relativo ao tamanho das partículas (ABNT – NBR 17054, 2022b), conforme (figura 15).

Foram utilizadas peneiras de aberturas 2,36mm, 1,18mm, 600 $\mu$ m, 300 $\mu$ m, 150 $\mu$ m, 75 $\mu$ m. O agitador eletromecânico trabalhou na frequência 10Hz por 3min após o peneiramento foram aferidas as massas dos materiais retidos em cada peneira, esses dados foram necessários para a produção dos gráficos da curva granulométrica e calcular o modulo de finura.

FIGURA 15: ZONA GRANULOMETRICA DO SAIBRO.



Fonte: ABNT – NBR 7211, 2022c

#### 4.7 DRX

Realizou-se uma análise drx (figura 16) com o intuito de conhecer a estrutura mineralógica das amostras, foi triturada cerca 10 gramas de um material coletado (material esse que estava no piso de uma casa denominada casa do faroleiro que segundo relatos históricos tem a sua construção no século XVIII). A análise em questão foi realizada na UFPE (UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO no laboratório Labtag.

FIGURA 16: Equipamento de análise DRX



Fonte: autor.

#### 4.8 Viabilidade econômica

Para avaliação da viabilidade econômica da argamassa com o resíduo de concha calcinada realizou-se o levantamento dos custos diretos de produção com base em insumo como saibro, cal, pozolana, água, mão de obra, energia elétrica e transporte. Considerando uma argamassa com materiais convencionais, foram analisados os preços com a base de preços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção (SINAPI), considerando valores atualizados junho/2025 (tabela 03).

As quantidades foram estimadas com base na dosagem padrão adotada (traço em massa), ajustada conforme substituição dos agregados e aglomerantes. Para o traço com argamassa convencional calculou-se o custo unitário dos materiais utilizados. A tabela abaixo apresenta a composição detalhada do custo de referência.

TABELA 03: Composição de custos

ORIGEM	CODIGO	DESCRIÇÃO	Un.	Preço unit. R\$
SINAPI	44537	 LANA	KG	R\$ 0,70
SINAPI	6076	SAIBRO	M <sup>3</sup>	R\$ 69,00
SINAPI	1106	CAL HIDRATADA CH-I PARA ARGAMASSAS	KG	R\$ 1,75
COMPESA		ÁGUA	L	R\$ 0,03
SINAPI	2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	KWH	R\$ 1,00
SINAPI	91369	CAMINHÃO BASCULANTE 6 M3, PESO BRUTO TOTAL 16.000 KG, CARGA ÚTIL MÁXIMA 13.071 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 4,80 M, POTÊNCIA 230 CV INCLUSIVE CAÇAMBA METÁLICA	H	R\$ 3,55

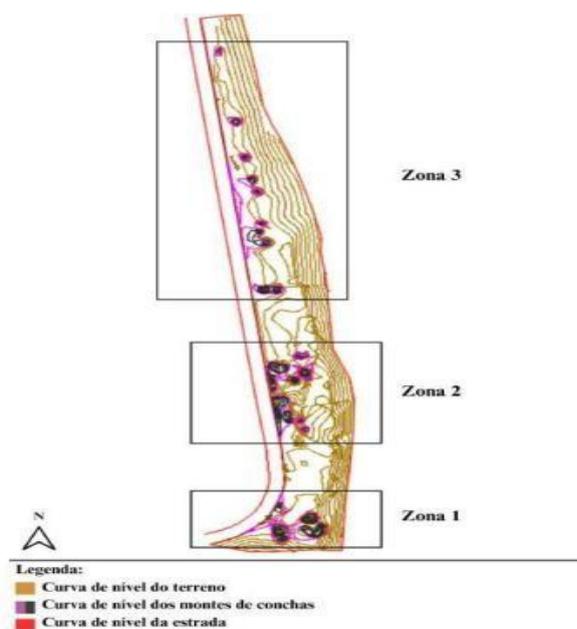
Fonte: autor.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Volume de descarte de concha de marisco

Para possibilitar uma análise comparativa mais eficiente dos resultados, realizou-se um zoneamento da área de descarte de conchas mapeada durante o levantamento topográfico, segmentando-se em três zonas distintas: zona 1, zona 2, zona 3 (figura 17). Ao chegar à Praia de Mangue Seco, observa-se que os maiores acúmulos de conchas estão concentrados em determinados trechos da faixa litorânea. Ressalta-se que os pontos de descarte estão predominantemente próximos aos coqueiros, cujas sombra oferece condições de conforto térmico aos marisqueiros durante o trabalho.

FIGURA 17: Curva de nível e zonas de concha de marisco na praia de Mangue Seco



Fonte: autor.

Ao comparar os dados do presente estudo com o levantamento topográfico realizado por Cunha (2020), observa-se uma redução significativa no volume das pilhas de conchas acumuladas na faixa litorânea. Em 2020, o volume total era de 1.275,64 m<sup>3</sup>, equivalente a cerca de 116% do volume de uma piscina olímpica (aproximadamente 1.100 m<sup>3</sup>). Já no levantamento atual, o volume é de 268,28 m<sup>3</sup>, ou cerca de 24% da capacidade de uma piscina olímpica.

Essa diminuição pode ser atribuída à ausência de ações municipais para remoção das conchas em 2020, ao passo que atualmente estas ações podem ter sido implementadas. Ressalta-se que o estudo de Cunha (2020) incluía principalmente áreas de mangue, que não foram consideradas na pesquisa atual, focando apenas na área da beira-mar.

Além disso, os dados mostram que a zona 2 concentra a maior parte do debulhamento (remoção da carne do marisco), sendo também a área com maior acúmulo de conchas.

TABELA 04: Volume do zoneamento de descarte

Zona	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume total (m <sup>3</sup> )
1	85,17	
2	114,81	268,27
3	68,29	

Fonte: autor.

A estimativa de que cada marisqueiro descarta, em média, 90 kg de conchas por dia baseia-se em um cálculo proporcional à produção coletiva e ao volume total acumulado no local. Considerando que aproximadamente 15 marisqueiros realizam o descarte diretamente na praia, com uma jornada média de 20 dias por mês. Temos:

$$90\text{kg/pessoa/dia} \times 15 \text{ pessoas} = 1.350 \text{ kg/dia}$$

$$1.350 \text{ kg/dia} \times 20 \text{ dias/mês} = 27.000\text{kg/mês}$$

Esse ritmo de descarte de resíduos de concha na praia gera, em média, 27 toneladas mensais desses resíduos. Comparando esse valor com um levantamento topográfico que indicou um volume total de 268,28 m<sup>3</sup> de conchas, e considerando a massa unitária seca das conchas de 1.461,68 kg/m<sup>3</sup>, é possível relacionar a quantidade descartada mensalmente com o volume e peso total dessas conchas acumuladas na praia.

$$268,28 \text{ m}^3 \times 1.461,28 \text{ kg/m}^3 = 392.139,51 \text{ kg (392,1 toneladas)}$$

Dividindo o total acumulado pelo ritmo mensal:

$$392.139,51 \text{ kg} \div 27.000\text{kg/mês} = 14,52 \text{ meses}$$

Esse dado indica que o volume de conchas foi produzido ao longo de aproximadamente 1 ano e 2 meses.

Com base nos dados levantados em entrevistas e pesquisas trabalham em média 43 marisqueiros por dia, com produção média de 90 kg de conchas por pessoa por dia, e jornada de trabalho de 20 dias por mês, podemos calcular a produção anual de resíduos de conchas da seguinte forma:

$$90\text{kg/pessoa/dia} \times 43 \text{ pessoas} = 3.870 \text{ kg/dia}$$

$$3.870 \text{ kg/dia} \times 20 \text{ dias/mês} = 77.400\text{kg/mês}$$

$$77.400 \text{ kg/mês} \times 12 \text{ meses} = 928.800 \text{ kg/ano}$$

Ou seja, a atividade extrativista do grupo pode gerar, em condições constantes, cerca de 930 toneladas de conchas por ano. Esse valor demonstra o impacto significativo do descarte de conchas na área da praia e manguezal, sendo fundamental para compreender a escala da produção de resíduos e planejar estratégias sustentáveis de gestão. A informação reforça a importância de políticas públicas de reaproveitamento e descarte adequado, dado o grande volume acumulado em um curto intervalo de tempo.

## 5.2 Caracterização

### 5.2.1 Composição granulométrica

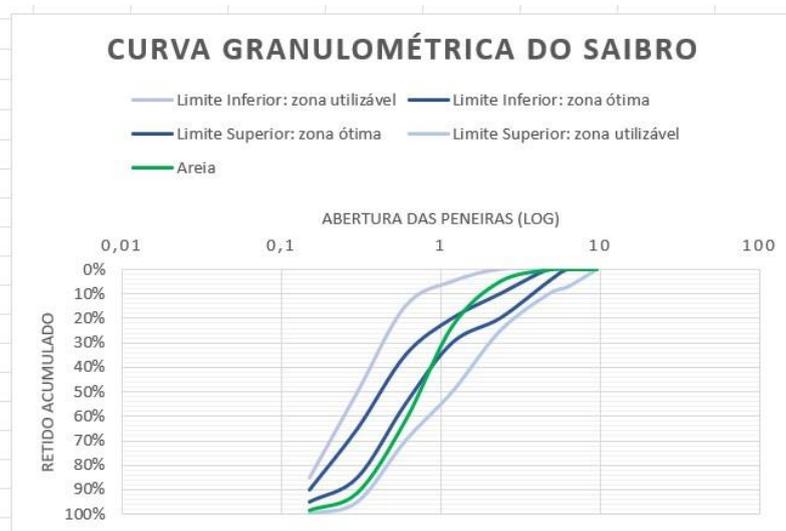
Logo após a realização do ensaio de composição granulométrica, foi elaborada a curva granulométrica (gráfico 01), a dimensão máxima característica (DMC) areia siltosa denominada como saibro 2,36mm e o modulo de finura de 3,79 classificado como areia grossa devido ao modulo de finura 3,79 (tabela 05), conforme (ABNT – NBR 7211, 2022c).

TABELA 05: Curva granulométrica do saibro

ABERTURA DA PENEIRA	MASSA RETIDA			MÉDIA		% ACUMULADO	
	PRIMEIRA AMOSTRA	SEGUNDA AMOSTRA	TERCEIRA AMOSTRA				
MALHA	PESO RETIDO	PESO RETIDO	PESO RETIDO	PESO MÉDIO	% RETIDO	% RETIDO ACUMULADO	PASSANTE ACUMULADA
2,36	17,00	13,00	15,00	15,00	5,00%	5,00%	95,00%
1,18	63,00	49,00	53,00	55,00	18,33%	23,33%	76,67%
0,60	116,77	112,71	113,75	114,41	38,14%	61,47%	38,53%
0,30	81,00	95,00	90,00	88,67	29,56%	91,03%	8,97%
0,15	17,00	24,00	24,00	21,67	7,22%	98,25%	1,75%
0,08	4,00	5,00	3,00	4,00	1,33%	99,58%	0,42%
FUNDO	1,23	1,29	1,25	1,26	0,42%	100,00%	0,00%
TOTAL	300,00	300,00	300,00	300,00	100,00%		
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA						2,36	
MODULO DE FINURA						3,79	

Fonte: autor.

GRAFICO 01: Curva granulométrica agregado miúdo

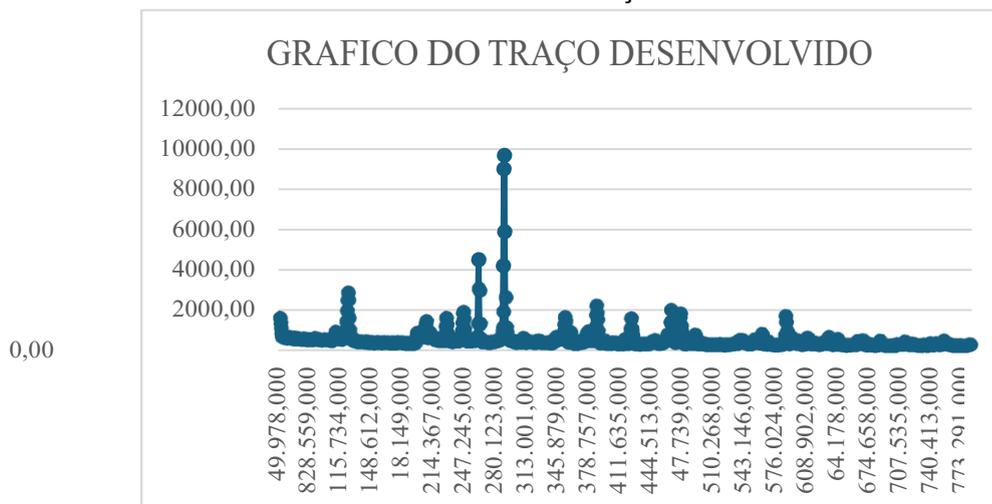


Fonte: autor.

### 5.2.2 Difração de raio-x – DRX

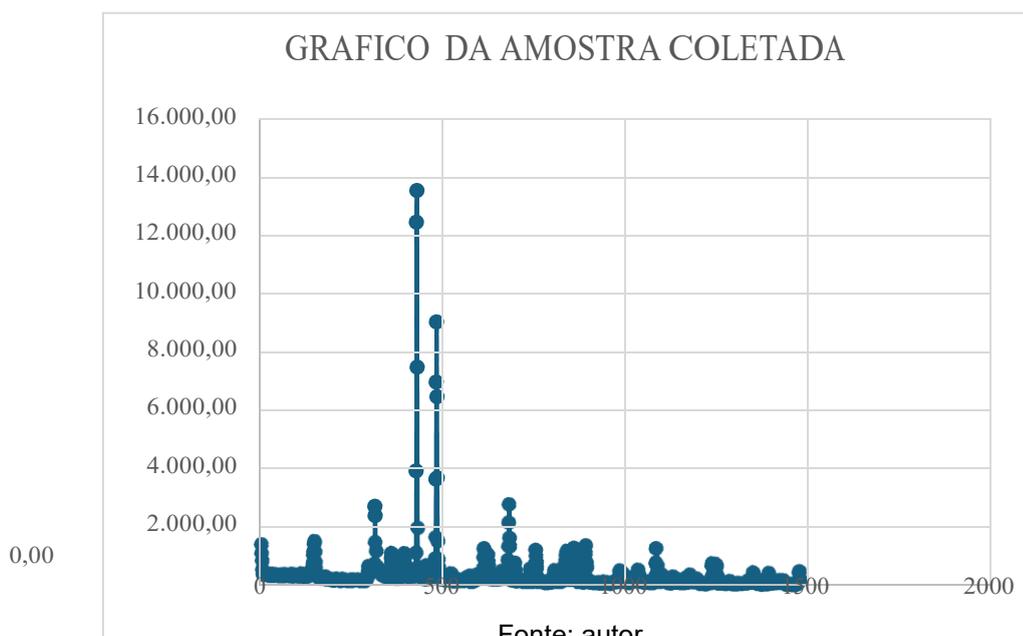
Realizou-se um análise de difração de raio-x (DRX) com a finalidade de verificar a estrutura mineralógica da amostra, através dos gráficos gerados (gráficos 2 e 3) foi possível analisar a estrutura do traço gerado na pesquisa como também do material coletado.

GRAFICO 02: Análise DRX traço desenvolvido



Fonte: autor.

GRAFICO 03: Análise DRX amostra coletada



Pode-se verificar pela análise DRX a presença de minerais cristalinos, ambas com a presença de quartzo e calcita. A presença do quartzo pode indicar a presença de areia, saibro. A composição da areia depende da rocha de origem, mas o quartzo é o componente predominante devido à sua alta resistência ao intemperismo e à erosão. Além do quartzo, a areia pode conter outros minerais, como feldspato, mica, zircão, magnetita, ilmenita, entre outros.

Assim, a areia pode ser vista como um agregado de fragmentos em sua maioria de quartzo, resultando na fragmentação e desgaste das rochas ao longo do tempo. Por isso, muitas areias comuns são chamadas de "areias quartzíticas" por serem ricas nesse mineral.

Foi possível também verificar a presença da calcita na amostra estudada de uma forma mais amorfa, na amostra coletada é possível ver a calcita com a presença mais cristalina, A calcita é um mineral de carbonato, composto principalmente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). É um dos minerais mais abundantes na crosta terrestre e ocorre em uma variedade de formas e núcleos, pela sua boa clivagem em três especificações que formam ângulos específicos e por sua ocorrência efervescente ao contato com ácido clorídrico diluído, liberando dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

A calcita é o principal componente das rochas sedimentares como o calcário e o mármore, também presente em ambientes geológicos variados, incluindo formações de estalactites e estalagmites em cavernas. Ela tem ampla aplicação na indústria, sendo usada na produção de cimento, na fabricação de vidro, na agricultura para correção do solo, na indústria química e até em equipamentos ópticos.

## **5.3 Ensaio mecânicos**

### **5.3.1 Resistência a compressão**

Inicialmente foi realizado um ensaio de resistência a compressão com 10 amostras cilíndricas com intuito de verificar a capacidade da argamassa de suportar cargas compressivas até sua ruptura, refletindo sua durabilidade e segurança estrutural. As amostras foram moldadas em corpos de provas com 50mm de diâmetro e 100mm de altura, que apresentou um resultado médio aos 28 dias 1,22Mpa, conforme (tabela 06).

TABELA 06: Estatística resistência compressão (corpos de prova cilíndricos)

ENSAIO	TRAÇO	N	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MINIMO	MEDIANA	MAXIMO
28 DIAS	1	10	1,2288	0,1822	1,049	1,149	1,548

Fonte: autor.

### 5.3.2 Resistência a tração na flexão

Posteriormente foi realizado um ensaio de resistência a tração na flexão com 12 amostras prismáticas. O ensaio de resistência à tração na flexão da argamassa é um procedimento padrão para avaliar a capacidade da argamassa de resistir a esforços que provocam tração e flexão simultaneamente. Ele é realizado geralmente em corpos de prova prismáticos, que são submetidos a uma carga aplicada até a ruptura, medindo-se a resistência máxima suportada.

Esse ensaio segue normas brasileiras específicas, principalmente a NBR 13279:2005, que estabelece o método para determinação da resistência à tração na flexão e à compressão em argamassa de assentamento e revestimento. Os corpos de prova têm dimensões padronizadas (comumente 4x4x16 cm).

A resistência à tração na flexão obtida é um parâmetro importante para a avaliação do desempenho da argamassa, pois influencia diretamente sua durabilidade e aderência em aplicações reais. A amostra apresentou um resultado médio aos 28 dias 4,856Mpa.

TABELA 07: Estatística resistência a tração na flexão

ENSAIO	TRAÇO	N	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MINIMO	MEDIANA	MAXIMO
28 DIAS	1	12	4,856	1,39	3,675	4,02	6,8906

Fonte: autor.

### 5.3.3 Resistência a compressão axial

A resistência à compressão axial conforme a NBR 13279 (2005) é determinada utilizando as metades dos corpos-de-prova que foram inicialmente submetidos ao ensaio de

tração na flexão. Esses corpos-de-prova são posicionados no equipamento de ensaio evitando o contato direto da face rasada com os dispositivos de apoio e carga. Aplica-se uma carga de  $(500 \pm 50)$  N/s até a ruptura do corpo-de-prova.

O método da NBR 13279 envolve realizar primeiro o ensaio de tração na flexão no corpo-de-prova inteiro, seguido pelo ensaio de compressão nas partes rompidas. Essa norma especifica ainda dimensões padronizadas para os corpos-de-prova (como prismas de 4 x 4 x 16 cm) e detalha as condições para cura segundo normas complementares.

Em resumo, a resistência à compressão axial é obtida a partir da carga máxima suportada pelo corpo-de-prova durante o ensaio de compressão, dividida pela área da seção transversal sobre a qual foi aplicada a carga.

Realizou-se uma análise estatística que apresentaram os seguintes resultados aos 28 dias, com resultado médio de 1,491Mpa.

TABELA 08: Estatística resistência a compressão axial

ENSAIO	TRAÇO	N	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MINIMO	MEDIANA	MAXIMO
28 DIAS	1	12	1,47	0,268	1,348	1,491	2,145

Fonte: autor.

É esperado que a resistência à tração na flexão seja numericamente maior que a resistência à compressão, porque o modo de solitação e as tensões internas são diferentes. A flexão envolve também esforço de tração, e o cálculo leva em conta geometria do corpo, carga e vão livre, provocando um resultado que pode superar o da compressão axial direta.

### 5.3.4 Resistência a aderência

resistência à aderência da argamassa é um procedimento técnico utilizado para avaliar a qualidade da união entre a argamassa e o substrato, medindo a força necessária para separar esses materiais. Esse ensaio é fundamental para garantir que o revestimento tenha boa fixação, evitando descolamentos e falhas na execução, como os demais ensaios o de resistência a aderência foi realizado aos 28 dias da aplicação ao substrato. Apresentando os seguintes resultados:

TABELA 09: Estatística resistência a aderência

ENSAIO	TRAÇO	N	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MINIMO	MEDIANA	MAXIMO
28 DIAS	1	6	0,72	0,49	0,11	0,89	1,36

Fonte: autor.

### 5.4 Viabilidade econômica

Calculou-se os quantitativos de insumos e os respectivos custos de produção para 1 m<sup>3</sup> de argamassa padrão, considerando as massas específicas dos materiais conforme tabela 09.

TABELA 10: Quantitativo de insumos para 1m<sup>3</sup> de argamassa

TRAÇO	CONCHA CALCINADA	CINZA DE MADEIRA	SAIBRO	AGUA	TOTAL/TRAÇO
MASSA (KG)	1,00	1,00	5,00	1,37	8,37
MASSA (KG) /50 KG DE CONCHA CALCINADA	50,00	50,00	250,00	68,25	418,25
PESO ESPECIFICO KG/M3	2800,00	2490,00	1600,00	1000,00	
VOLUME REAL M3/50KG DE CONCHA CALCINADA	0,01786	0,02008	0,15625	0,06825	0,26244
VOLUME REAL CONSUMIDO PARA 1M3 DE ARGAMASSA	0,06804	0,07651	0,59538	0,26006	1,00000
CONSUMO EM MASSA PARA 1M3 DE ARGAMASSA	190,52158	190,52158	952,60789	260,06196	1593,71301

Fonte: autor.

Para termos uma dinâmica de comparação de preços realizamos uma composição usando uma argamassa convencional usando cimento e cal com tabela xx que demonstrar esses valores, esses mesmos foram aplicados com a base de preço do Sinapi Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil do mês de junho/2025.

TABELA 11: Composição de argamassa com cimento

ITENS	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
CIMENTO	KG	190,52158	R\$ 0,70	R\$ 133,37
SAIBRO	M3	0,59538	R\$ 42,00	R\$ 25,01
CAL	KG	190,52158	R\$ 0,90	R\$ 171,47
AGUA	M3	0,26006	R\$ 50,00	R\$ 13,00
SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	11,1	R\$ 29,77	R\$ 330,45
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 673,29</b>

Fonte: autor.

Logo abaixo foi calculado através da tabela 11 a composição de preços da argamassa pesquisada.

TABELA 12: Composição de preço argamassa pesquisada

ITENS	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
SAIBRO	M3	0,59538	R\$ 42,00	R\$ 25,01
ÁGUA	M3	0,26006	R\$ 50,00	R\$ 13,00
SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	11,1	R\$ 29,77	R\$ 330,45
ENERGIA ELÉTRICA	KW/H	25,00	R\$ 1,00	R\$ 25,00
TRANSPORTE	UND	2,00	R\$ 58,00	R\$ 116,00
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 509,46</b>

Fonte: autor.

Realizando uma análise comparativa entre uma argamassa tradicional e a argamassa pesquisada é possível perceber uma economia de 24%, pois os insumos conchas calcinadas e a cinza de madeira não possui valor para aquisição.

Foi necessário adicionar um valor para energia elétrica visando a calcinação das conchas e um valor para transporte da cinza de madeira e da concha.

## 6. CONCLUSÕES

O estudo apresentado nesta dissertação teve como objetivo propor uma alternativa sustentável para o manejo de resíduos sólidos oriundos da atividade de mariscagem no município de Igarassu, Pernambuco, a partir do aproveitamento das conchas de moluscos na formulação de argamassas para revestimento, especialmente voltado para a restauração de monumentos históricos. O trabalho englobou levantamentos de campo, caracterização ambiental e mineralógica, ensaios mecânicos e avaliação de previsões econômicas, evidenciando um processo de pesquisa multidisciplinar.

Os resíduos de conchas, tradicionalmente descartados de maneira convencional e recorrentes nos corpos d'água e áreas do entorno, representam um fator de desequilíbrio ambiental, contribuindo para problemas de assoreamento, poluição paisagística e prejuízo à biota aquática, principalmente no rio São Domingos. A proposta da pesquisa mostra-se particularmente relevante diante desse cenário, pois integra aspectos de preservação ambiental, valorização de recursos locais e redução de impactos negativos sobre o ambiente.

As análises mecânicas, incluindo os ensaios de resistência à compressão e tração na flexão, indicaram que as argamassas produzidas com conchas calcinadas alcançaram desempenhos compatíveis com as condições exigidas pelas normas técnicas (ABNT NBR 13529 e NBR 13528), demonstrando boas propriedades de aderência e durabilidade, essenciais para a preservação dos monumentos históricos a que se destinam.

Adicionalmente, o levantamento topográfico detalhado dos depósitos de conchas e a sugestão indireta da produção baseada em entrevistas com marisqueiras agregam valor importante ao dimensionamento do potencial de matéria-prima, contribuindo para o planejamento de iniciativas de reaproveitamento em larga escala. A economia circular promovida pelo reaproveitamento dos resíduos também se reflete positivamente no aspecto financeiro, já que a produção de argamassas com materiais-primas locais reduz custos, diminui a dependência de insumos externos e pode gerar oportunidades de novos negócios e renda para a comunidade envolvida na cadeia produtiva da mariscagem.

É fundamental enfatizar o caráter socialmente inclusivo da proposta, uma vez que o aproveitamento das conchas envolve diretamente marisqueiras e suas famílias, fortalecendo o vínculo entre o saber popular e a aplicação técnica e científica, além de promover melhores práticas ambientais e agregar valor à atividade tradicional da região.

Como recomendações, destaca-se a importância de políticas públicas que incentivam o reaproveitamento de resíduos da mariscagem e de maiores investimentos em capacitação de trabalhadores locais, garantindo a aplicação em obras de restauração, especialmente aquelas que priorizam a manutenção de características históricas e culturais dos monumentos.

Por fim, sugere-se a continuidade das pesquisas para o aprimoramento das técnicas de processamento das conchas, otimização das propriedades das argamassas e ampliação das possibilidades de uso em outros segmentos da construção civil. O potencial de inovação reside na interdisciplinaridade entre Engenharia Ambiental, Ciências dos Materiais e Gestão de Resíduos, podendo contribuir fortemente para consolidação de práticas de desenvolvimento sustentável na região.

## REFERÊNCIAS

Gaspar, 2013; Martínez et al., 2017; Tenório; Melo, 1979; Monti; Frenkiel; Mouëza, 1991; Rios, 1994; Mello; Tenório, 2000; Souza, 1938; Brasil, 1961; Rodrigues et al., 2011; IPHAN, 2020; Macário et al., 2014. (relacionados aos sambaquis e patrimônio arqueológico).

Valentim et al., 2011; Cepene, 2008; Oliveira, 2013a; Petrielli, 2008 (dados sobre resíduos da mariscagem).

Tomasi, 1994; Paulo, 2016; Lima; Lopes, 2016; IBAMA, 2012; Conselho da União Europeia, 1998 (sobre impactos ambientais e resíduos sólidos).

Jewet Júnior; Serway, 2005 (sobre descoberta e uso do raio-x).

Cunha, 2020 (levantamento topográfico e volume de resíduos).

Lima, JA de O. (2007). Pesquisa-ação em Ciência da Informação. In: Müller, SPM (Org.). Métodos para a pesquisa em Ciência da Informação. Brasília: Tesouro.

Thereza, WB (2004). Ambiente para concepção de aplicações multimídia com suporte de qualidade de serviço. Dissertação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

Yin, RK (2015). Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14724: Informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528-1: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2019a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528-2: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 2 – Aderência ao substrato. Rio de Janeiro: ABNT, 2019c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16972: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15258: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c.

CUNHA, A. L. X. Reciclagem dos rejeitos da atividade de mariscagem: uso na indústria de blocos pré-moldados de concreto. 2021. 184p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.