

**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
MESTRADO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

FABRÍCIA MOREIRA DA SILVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA INCORPORAÇÃO DE CONCHAS DE
MEXILHÃO-DOURADO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO
PARA ALVENARIA**

Marechal Deodoro

2025

FABRÍCIA MOREIRA DA SILVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA INCORPORAÇÃO DE CONCHAS DE
MEXILHÃO-DOURADO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO
PARA ALVENARIA**

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

Orientador: Prof. Dr. Ronny Francisco Marques de Souza

Coorientadora: Profa. Dra. Sheyla Karolina Justino Marques

Marechal Deodoro

2025



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

363.7

S586a

Silva, Fabrícia Moreira da.

Análise da viabilidade técnica da incorporação de conchas de mexilhão-dourado na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria / Fabrícia Moreira da Silva. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 3, 26 MB). – 2025.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: Internet.

Orientação: Prof. Dr. Ronny Francisco Marques de Souza.

Coorientação: Profa. Dra. Sheyla Karolina Justino Marques.

Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus Marechal Deodoro*, Marechal Deodoro, 2025.

1. Impacto ambiental. 2. *Limnoperna fortunei*. 3. Construção civil. 4. Biomassa. 5. Concreto sustentável. 6. Resíduos. I. Souza, Ronny Francisco Marques de. II. Marques, Sheyla Karolina Justino. III. Título.

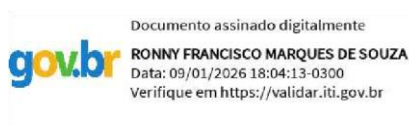
FABRÍCIA MOREIRA DA SILVA

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA INCORPORAÇÃO DE CONCHAS DE MEXILHÃO-DOURADO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA

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

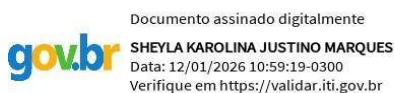
Aprovado em: 29 de setembro de 2025.

Orientador:



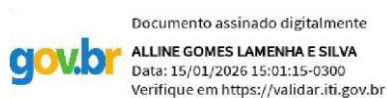
Dr. Ronny Francisco Marques de Souza - IFAL / Campus Piranhas

Coorientadora:



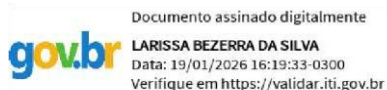
Dra. Sheyla Karolina Justino Marques - IFAL / Campus Palmeira dos Índios

Banca examinadora:



Dra.

Alline Gomes Lamenha e Silva - IFAL / Campus Penedo



Dra. Larissa Bezerra da Silva - STIIMA / Milão - Itália

**Marechal Deodoro, AL
2025**

*Dedico este trabalho à minha mãe Maria Sueli
Moreira, por me ajudar de diversas formas a
concluir mais um ciclo.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, que com sua infinita graça me concedeu concluir mais um ciclo profissional.

À minha família, principalmente, a minha mãe, Maria Sueli, que sempre dedicou muito amor e esforço para me oferecer as melhores condições possíveis durante toda minha vida.

Ao Edson, meu companheiro de vida e amigo, por todo apoio e incentivo nos momentos difíceis durante a elaboração da dissertação.

A todos meus amigos que contribuíram de alguma forma, especialmente minha amiga Maria Elena por ter me apresentado a inscrição do PPGTEC e minha amiga Fernanda pela ajuda e incentivo desde a elaboração do projeto para ingressar na jornada deste mestrado.

Ao Instituto Federal de Alagoas, que foi a base da minha formação, desde o ensino médio, grata por cada oportunidade concedida.

Agradeço imensamente aos meus orientadores, Ronny Souza e Sheyla Marques, por toda a paciência, apoio constante e pelas diversas orientações com muita entrega. Mais do que mestres, foram verdadeiros pilares nos momentos de incerteza, oferecendo soluções ao longo de toda esta jornada.

À Suelen Vieira por toda parceria e disponibilidade durante a execução da parte experimental no Laboratório de Materiais de Construção do IFAL - *Campus* Palmeira dos Índios.

A todos colegas, colaboradores e professores do PPGTEC que contribuíram para minha formação profissional e finalização deste ciclo.

Por fim, a cada pessoa que, direta ou indiretamente, contribuiu para a realização deste trabalho, deixo registrado meu agradecimento.

“Nos gloriamos também de nossas tribulações, sabendo que a tribulação gera a perseverança, a perseverança leva a uma virtude comprovada, e a virtude comprovada desabrocha em esperança. Ora, a esperança não decepciona, porque o amor de Deus foi derramado em nossos corações pelo Espírito Santo que nos foi dado.”

Romanos 5, 3-5

SILVA, Fabrícia Moreira da. Análise da viabilidade técnica da incorporação de conchas de mexilhão-dourado na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – *Campus* Marechal Deodoro, Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2025.

RESUMO

O *Limnoperna fortunei* (mexilhão-dourado) é uma espécie invasora cuja rápida proliferação em sistemas hídricos tem provocado impactos ambientais e econômicos, gerando grandes volumes de biomassa sem destinação adequada. Diante desse cenário, este estudo avaliou a viabilidade técnica da incorporação de conchas de mexilhão-dourado como substituto parcial do agregado miúdo na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria. O procedimento experimental foi estruturado em quatro etapas: coleta das conchas, caracterização físico-química (granulometria, Difração de Raios X, Fluorescência de Raios X e Análise Termogravimétrica), produção dos corpos de prova e avaliação tecnológica. Foram moldadas formulações de concreto com substituições de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da areia por conchas trituradas, seguindo a NBR 5738. Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de absorção de água, resistência à compressão e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados indicaram que substituições de até 30% mantêm desempenho mecânico compatível com a produção de blocos estruturais e de vedação, enquanto 50% apresenta desempenho adequado apenas para blocos de vedação. Os achados demonstram que as conchas de mexilhão-dourado podem ser utilizadas como subproduto em matrizes cimentícias, configurando alternativa sustentável para o reaproveitamento de resíduos e para a redução do consumo de recursos naturais na construção civil.

Palavras-chave: *Limnoperna fortunei*; Construção civil; Biomassa; Concreto sustentável; Resíduos.

SILVA, Fabrícia Moreira da. Technical feasibility analysis of incorporating golden mussel shells into the production of hollow concrete blocks for masonry. Dissertation (Master's in Environmental Technologies) – Marechal Deodoro *Campus*, Federal Institute of Alagoas, Marechal Deodoro, 2025.

ABSTRACT

Limnoperna fortunei (golden mussel) is an invasive species whose rapid proliferation in freshwater systems has generated environmental and economic impacts, resulting in large volumes of biomass without an adequate destination. In this context, the present study evaluated the technical feasibility of incorporating golden mussel shells as a partial replacement for fine aggregate in the production of hollow concrete masonry blocks. The experimental procedure consisted of four stages: shell collection, physicochemical characterization (granulometry, X-ray diffraction, X-ray fluorescence, and thermogravimetric analysis), production of concrete specimens, and technological testing. Concrete mixtures were prepared with 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% replacement of natural sand by crushed shells, and cylindrical specimens were molded in accordance with NBR 5738. The specimens were subjected to water absorption, compressive strength, and scanning electron microscopy tests. The results showed that replacement levels of up to 30% maintain mechanical performance compatible with the requirements for structural and non-structural concrete blocks, while the 50% replacement level is suitable only for non-structural (partition) blocks. The findings confirm that golden mussel shells can be used as a subproduct in cementitious matrices, providing a sustainable alternative for waste recovery and contributing to the reduction of natural resource consumption in the construction sector.

Keywords: *Limnoperna fortunei*; Civil construction; Biomass; Sustainable concrete; Waste recovery.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: <i>Limnoperna fortunei</i>	19
Figura 2: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	27
Figura 3: Fluxograma do Procedimento Experimental.....	32
Figura 4: Mapa – local de coleta	34
Figura 5: Transporte, Limpeza e Secagem	35
Figura 6: Trituração	36
Figura 7: Subproduto peneirado	36
Figura 8: Composição granulométrica da amostra de mexilhão dourado triturada.....	38
Figura 9: Materiais utilizados na moldagem dos corpos de prova	44
Figura 10: Corpos de Prova Cilíndricos	45
Figura 11: Corpos de Prova Cilíndricos na estufa.....	47
Figura 12: Corpos de Prova Cilíndricos Capeados.....	48
Figura 13: Ensaio de resistência à compressão	49
Figura 14: Curva de granulometria.....	52
Figura 15: Difratoograma do mexilhão dourado em pó	54
Figura 16: Análise termogravimétrica da concha de Mexilhão-dourado	57
Figura 17: Ensaio de absorção de água	60
Figura 18: Ensaio de resistência à compressão aos 28 dias.....	61
Figura 19: Micrografias da formulação 0%, com ampliações de (a) 579× e (b) 1,36 k×.....	63
Figura 20: Micrografias da formulação 10%, com ampliações de (a) 306× e (b) 542×.....	64
Figura 21: Micrografias da formulação 20%, com ampliações de (a) 591× e (b) 1,02k×.....	65
Figura 22: Micrografias da formulação 30%, com ampliações de (a) 117× e (b) 2,11 k×.....	66
Figura 23: Micrografias da formulação 40%, com ampliações de (a) 179× e (b) 1,95 k×.....	67
Figura 24: Micrografias da formulação 50%, com ampliações de (a) 590× e (b) 2,61 k×.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Requisitos para blocos vazados de concreto para alvenaria	33
Tabela 2: Traço de referência	42
Tabela 3: Percentuais de incorporação nas formulações avaliadas	43
Tabela 4: Resultados do ensaio de granulometria por peneiramento	51
Tabela 5: Análise de FRX do pó do mexilhão-dourado	53
Tabela 6: Picos de difração de raios X com respectivas fases identificadas	55
Tabela 7: Valores médios do comportamento mecânico do concreto	59
Tabela 8: Resumo estatístico do comportamento do concreto	59

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica
ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ACI – American Concrete Institute
CBEIH – Centro de Bioengenharia de Espécies Invasoras de Hidrelétricas
CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CTGAS-ER – Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis
DRX – Difração de Raios X
FE – Formulações Experimentais
FR – Formulação de Referência
FRX – Fluorescência de Raios X
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IFAL – Instituto Federal de Alagoas
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
 m_{sat} – Massa saturada
 m_s – Massa seca
NBR – Norma Brasileira
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
RCC – Resíduos da Construção Civil
RCDs – Resíduos da Construção e Demolição
TGA – Análise Termogravimétrica
UHEs – Usinas Hidrelétricas de Energia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
1.3 Estrutura da Dissertação	18
2. REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 <i>Limnoperna fortunei</i>	19
2.2 Invasão do Mexilhão-Dourado no Brasil	20
2.3 Rio São Francisco e os desafios atuais	21
2.3.1 Bioinvasão como ação humana: a invasão do mexilhão-dourado na Bacia do Rio São Francisco.....	22
2.3.2 Desafios enfrentados com o comportamento do Mexilhão-dourado.....	23
2.4 Uso de conchas de moluscos na construção civil	25
2.5 Incorporação de resíduos no Concreto de cimento Portland	27
2.6 Bloco vazados no Brasil	29
2.7 Importância da caracterização e dos ensaios para o desenvolvimento de materiais à base de conchas de mexilhão-dourado	30
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 Coleta	34
3.2 Caracterização	37
3.2.1 Análise Granulométrica.....	38
3.2.2 Fluorescência de Raios X (FRX).....	39
3.2.3 Difração de Raios X (DRX).....	40
3.2.4 Análise Termogravimétrica (TGA).....	40
3.3 Produção	41
3.3.1 Formulações de Concreto.....	41
3.3.2 Moldagem dos corpos de provas.....	43
3.4 Avaliação Tecnológica e Microestrutural do Concreto	46
3.4.1 Absorção de água por imersão.....	46
3.4.2 Resistência à compressão.....	49
3.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura.....	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Análise granulométrica	51
4.2 Fluorescência de Raios X (FRX)	53

4.3 Difração de Raios X (DRX)	54
4.4 Análise Termogravimétrica (TGA)	57
4.5 Absorção de água por imersão e Resistência à compressão	58
4.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (Mev)	63
5 CONCLUSÕES	70
6 REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE - PRODUTO TÉCNICO/TECNOLÓGICO - CATÁLOGO TÉCNICO	82

1. INTRODUÇÃO

O *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), conhecido como mexilhão-dourado, é um molusco bivalve de água doce, nativo da Ásia, cuja introdução na América do Sul ocorreu na década de 1990 por meio das águas de lastro de navios cargueiros. No Brasil, os primeiros registros foram documentados no Delta do Jacuí, Lago Guaíba e Laguna dos Patos, no estado do Rio Grande do Sul (Mansur *et al.*, 2003). Em menos de três décadas, a espécie dispersou-se pelas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste sendo atualmente classificada entre as principais espécies invasoras do país, ao lado do coral-sol (*Tubastraea coccinea* e *T. tagusensis*) e do javali (*Sus scrofa*) (IBAMA, 2020; MAPA, 2017).

Na Bacia do Rio São Francisco, o primeiro registro do mexilhão-dourado ocorreu em 2015 (Barbosa *et al.*, 2016), com expansão progressiva em direção à foz e estabelecimento populacional consolidado em diferentes trechos do Velho Chico. Levantamentos recentes registram a presença da espécie em reservatórios, adutoras e sistemas de produção aquícola no Submédio e Baixo São Francisco (Santos; Theodoro; Souza, 2022; Souza *et al.*, 2024). Essa expansão segue o padrão já observado em outras bacias hidrográficas sul-americanas, com dispersão influenciada por vetores antrópicos e pela elevada plasticidade ecológica do organismo (Boltovskoy *et al.*, 2006; Karatayev *et al.*, 2015).

A elevada capacidade reprodutiva, o desenvolvimento larval planctônico confere ao mexilhão-dourado grande potencial de bioincrustação, com densidades que podem ultrapassar 200 mil indivíduos por metro quadrado (Santos; Souza, 2022). Sua preferência por superfícies artificiais torna-o um agente crítico de obstrução e sobrecarga de infraestruturas, gerando impactos operacionais severos em setores como usinas hidrelétricas, adutoras de água, irrigação, pisciculturas e pesca artesanal (IBAMA, 2020; Avelino; Silva, 2019).

Embora métodos mecânicos e químicos de manejo sejam empregados para conter a bioincrustação, nenhum deles elimina a espécie de forma definitiva. Além disso, os processos de controle resultam em frequentes acúmulos de biomassa, cuja decomposição libera odor, chorume e atrai vetores biológicos, e que culmina na formação de grandes volumes de conchas sem destinação adequada (Santos; Souza, 2022; Andrade; Razzolini; Baggio, 2021). Assim, o armazenamento ou descarte inadequado desse material impõe desafios ambientais adicionais.

Pesquisas recentes apontam o potencial de materiais oriundos de biomassa marinha e estuarina para aplicação na construção civil, devido à composição mineralógica rica em carbonato de cálcio (CaCO₃), especialmente em conchas de moluscos como ostras, sururu,

berbigão e mexilhões (Fagundes; Silva, 2022; Chung *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2023). A utilização de conchas trituradas como substituto parcial do agregado miúdo tem demonstrado melhorias ou manutenção da resistência mecânica, além de redução de permeabilidade e absorção hídrica em matrizes cimentícias, quando dosadas em proporções adequadas (Siqueira, 2021; Bamigboye *et al.*, 2021; García *et al.*, 2020).

Entretanto, não há registros consolidados sobre a aplicação de conchas de mexilhão-dourado em blocos vazados de concreto, o que caracteriza uma lacuna científica e tecnológica. Considerando a composição química rica em CaCO_3 (Lugo, 2023) e o potencial de valorização de resíduos gerados nos manejos periódicos de bioincrustação, torna-se relevante investigar se essas conchas podem atuar como subproduto útil na formulação de concretos destinados à alvenaria.

Diante do exposto, estabelece-se o seguinte problema de pesquisa: **Existe viabilidade técnica para a produção de blocos vazados de concreto para alvenaria com incorporação parcial de conchas de mexilhão-dourado em substituição ao agregado miúdo?**

1.1 JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil desempenha papel estratégico no desenvolvimento econômico e na infraestrutura urbana; entretanto, é também responsável por elevado impacto ambiental em razão do uso intensivo de recursos naturais. O concreto, atualmente o material artificial mais consumido pela humanidade, exige grandes volumes de areia e brita para sua produção, intensificando a extração mineral e contribuindo para degradação ambiental, perda de biodiversidade e emissão de gases de efeito estufa (Guedes, 2021; Andrade, 2021; Chung *et al.*, 2023).

Nesse cenário, cresce o interesse científico e tecnológico por alternativas sustentáveis que reduzam a dependência de insumos naturais, por meio da incorporação de subprodutos em matrizes cimentícias (Alves; Almeida, 2021). Entre as alternativas avaliadas, biomateriais de origem calcária, como conchas de moluscos, têm demonstrado potencial como substitutos parciais do agregado miúdo, devido à sua composição mineral rica em carbonato de cálcio (CaCO_3), compatível com materiais amplamente empregados na construção civil (Fagundes; Silva, 2022; Chung *et al.*, 2023).

Paralelamente, o avanço do *Limnoperna fortunei* no Brasil tem gerado impactos crescentes em ecossistemas e setores produtivos que utilizam estruturas hidráulicas, exigindo

limpezas periódicas e resultando na formação de grandes volumes de biomassa sem destinação adequada (IBAMA, 2020; Santos; Souza, 2022). A ausência de alternativas de reaproveitamento faz com que essas conchas sejam acumuladas ou descartadas de forma inadequada, configurando passivo ambiental.

Diante desse contexto, investigar o uso das conchas de mexilhão-dourado como subproduto para a produção de blocos de concreto apresenta dupla relevância: reduzir o consumo de recursos naturais na construção civil e propor solução tecnológica para destinação ambientalmente adequada do resíduo gerado durante o manejo da espécie invasora. Assim, esta pesquisa alinha-se às diretrizes de economia circular, gestão sustentável e desenvolvimento de materiais de menor impacto ambiental, contribuindo tanto para o setor produtivo quanto para a mitigação dos efeitos ecológicos associados à bioinvasão.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade técnica da produção de blocos vazados de concreto com incorporação parcial de conchas de *Limnoperna fortunei* (mexilhão-dourado) como substituto do agregado miúdo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar física, química e mineralogicamente as conchas de *Limnoperna fortunei*.
- Produzir corpos de prova de concreto com diferentes proporções de substituição da areia por conchas trituradas de mexilhão-dourado.
- Avaliar o desempenho dos corpos de prova por meio de ensaios tecnológicos de absorção de água, resistência à compressão e microscopia eletrônica de varredura.
- Comparar os resultados obtidos com os parâmetros normativos aplicáveis ao concreto convencional, identificando a formulação com melhor desempenho técnico.
- Propor alternativa de destinação ambientalmente adequada para a biomassa de conchas oriunda dos manejos de controle da espécie invasora.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em seis seções, organizadas de modo a proporcionar compreensão clara e sequencial do desenvolvimento da pesquisa.

A Seção 1 apresenta os elementos introdutórios, incluindo contextualização do tema, justificativa, objetivo geral e objetivos específicos da pesquisa.

A Seção 2 corresponde à revisão da literatura, contemplando os principais fundamentos teóricos relacionados ao estudo, tais como: características do *Limnoperna fortunei*, expansão da espécie no Brasil e na Bacia do Rio São Francisco, impactos ambientais e socioeconômicos associados à bioinvasão, aproveitamento de conchas de moluscos na construção civil, incorporação de resíduos em matrizes cimentícias e produção de blocos vazados de concreto.

A Seção 3 descreve os materiais e métodos empregados, detalhando as etapas experimentais, os procedimentos de coleta e preparação das conchas, a caracterização físico-química, a produção dos corpos de prova e os ensaios tecnológicos realizados.

A Seção 4 apresenta os resultados obtidos nas análises experimentais, acompanhados da discussão crítica e fundamentada em normas técnicas e em estudos científicos correlatos.

A Seção 5 reúne as conclusões da pesquisa, sintetizando os principais achados referentes à incorporação das conchas de mexilhão-dourado em blocos de concreto e suas implicações técnicas, ambientais e produtivas.

Por fim, a Seção 6 apresenta as referências bibliográficas utilizadas, organizadas conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Limnoperna fortunei*

O *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), apresentado na figura 1, é um molusco bivalve de água doce pertencente à família Mytilidae, originário do continente asiático, especialmente de ambientes fluviais da China e do sudeste asiático (IBAMA, 2017; Mansur et al., 2012). O organismo apresenta conchas alongadas de coloração dourada a marrom-avermelhada, medindo entre 2,5 e 6 cm na fase adulta, características que justificam sua denominação popular de mexilhão-dourado (Mansur et al., 2012).

Figura 1: *Limnoperna fortunei*



Fonte: SOUZA, Ronny Francisco Marques de. Fotografia do Mexilhão Dourado em laboratório, 2019.

O sucesso ecológico da espécie está relacionado a adaptações morfofisiológicas que favorecem sua fixação e colonização. Destaca-se a presença do bisso, estrutura composta por proteínas capazes de aderir a diferentes substratos, principalmente os artificiais, o que permite a incrustação em superfícies metálicas, plásticas e de concreto (Darrigran; Damborenea, 2011). Somam-se a isso sua elevada capacidade reprodutiva e o desenvolvimento larval planctônico, que possibilitam ampla dispersão em ambientes aquáticos e intensa competição com espécies nativas por espaço e recursos (Oliveira *et al.*, 2015).

A dispersão do mexilhão-dourado na América do Sul ocorreu inicialmente no estuário do Rio da Prata, na Argentina, no início da década de 1990, seguida por rápida expansão pelos sistemas hidrográficos da Bacia do Prata, alcançando Uruguai, Paraguai, Bolívia e Brasil (Boltovskoy *et al.*, 2006). A introdução está diretamente associada ao transporte internacional por águas de lastro, reconhecido globalmente como um dos principais vetores de bioinvasões aquáticas, e à navegação interna, que favorece a distribuição da espécie para novos sistemas hídricos.

2.2 Invasão do Mexilhão-Dourado no Brasil

A introdução e proliferação de espécies exóticas em ecossistemas aquáticos têm aumentado significativamente nas últimas décadas, configurando a segunda principal causa de perda de biodiversidade em escala global, atrás apenas das pressões antrópicas diretas (Silva *et al.*, 2016). Os impactos decorrentes da introdução de organismos não nativos refletem-se na degradação dos habitats naturais, redução da diversidade biológica e comprometimento da funcionalidade dos ecossistemas.

No Brasil, a intensificação das bioinvasões aquáticas está associada, principalmente, ao transporte internacional por águas de lastro, reconhecido como um dos principais vetores responsáveis pela introdução de organismos marinhos e dulcícolas em novos ambientes, além da navegação interna e do trânsito de embarcações entre bacias (Souza; Calazans; Silva, 2009). Nesse contexto, *Limnoperna fortunei* iniciou sua expansão territorial no país no estado do Rio Grande do Sul, com os primeiros registros no Delta do Jacuí e na Laguna dos Patos (Mansur *et al.*, 2003).

A colonização do mexilhão-dourado resultou de múltiplos eventos de introdução e reinoculação, envolvendo diferentes vetores artificiais e rotas de dispersão (Silva, 2012). Segundo Darrigran *et al.* (2012), a invasão biológica é um processo contínuo e dinâmico que depende da sobrevivência do organismo durante o transporte e da superação de barreiras ecológicas no novo ambiente. Conforme Carlton e Ruiz (2004), os vetores, entendidos como os mecanismos que permitem o transporte de propágulos viáveis, variam de acordo com as características ambientais, práticas econômicas e padrões de uso da água em cada região, resultando em rotas distintas de invasão.

Devido à elevada plasticidade ecológica, alta capacidade reprodutiva e rápido crescimento populacional, o mexilhão-dourado expandiu-se para diversas bacias hidrográficas brasileiras, especialmente nas regiões Sul e Sudeste, alcançando posteriormente o estado de Minas Gerais (Oliveira *et al.*, 2015). Dados do Centro de Bioengenharia de Espécies Invasoras

de Hidrelétricas (CBEIH, 2025) indicam registros consolidados da espécie nos rios Jacuí (RS), Canoas (SC), Pelotas (SC/RS), Uruguai (SC/RS), Iguaçu (PR), Jordão (PR), Tibagi (PR), Paranapanema (SP/PR), Tietê (SP), Paraná (PR/SP/MS), Grande (SP/MG), Paranaíba (MG), Claro (GO) e São Francisco (BA), demonstrando sua elevada capacidade de dispersão continental.

Atualmente, o mexilhão-dourado figura entre as principais pragas biológicas do Brasil, acumulando impactos ambientais e socioeconômicos em menos de três décadas desde sua chegada ao país. A espécie tem provocado transtornos operacionais em atividades dependentes de infraestrutura hidráulica, como geração de energia elétrica (Canzi; Fialho; Bueno, 2014), adutoras de abastecimento público (Santos; Souza, 2022) e pisciculturas em tanques-rede (Avelino; Silva, 2019), tornando-se ameaça relevante para setores produtivos e para a conservação da biodiversidade aquática.

2.3 Rio São Francisco e os desafios atuais

O Brasil é reconhecidamente um dos países com as maiores reservas hídricas do mundo. Há bacias muito importantes no país, entre elas a bacia hidrográfica do São Francisco. O Rio São Francisco comumente chamado de Velho Chico é um importante recurso hidrográfico brasileiro que banha cinco estados federativos (Minas Gerais, Bahia, Pernambuco e Sergipe), de sua nascente à foz, sendo denominado como Rio da integração nacional. Recentemente, tem sido palco de obras de engenharia que visam a transposição de suas águas a regiões do semiárido brasileiro, buscando resolver ou minimizar antigas questões relacionadas à flagela da fome e da seca no Nordeste (Bedran-Martins; Lemos, 2017).

Os canais de transposição em concreto armado figuram entre as mais importantes e imponentes obras de engenharia nacional, com extensões que ultrapassam fronteiras, modificam a paisagem e somam vultosos valores, custos econômicos e sociais que são temas de relevantes debates sobre política pública e combate à desigualdade (Medeiros; Carvalho; Souza, 2022).

Para além das questões sociais, o Velho Chico, visto o seu recorte geográfico, apresenta características únicas. Tem suas nascentes no estado de Minas Gerais, em meio ao bioma cerrado na serra da Canastra, atravessa a caatinga pelos estados da Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe e deságua no litoral nordestino, na divisa dos municípios de Piaçabuçu-AL e Brejo Grande-SE. Segundo Silva *et al.* (2010), as ameaças à bacia do Rio São Francisco estão

relacionadas à crescente atividade antrópica em seu contorno e as atividades de agricultura e pecuária, dependentes de suas águas e de territórios ribeirinhos.

Dentre os vários empreendimentos, destacam-se as Usinas hidrelétricas responsáveis pelo represamento e alteração da dinâmica natural de suas águas. Regiões que sofreram ao longo das últimas décadas alagamentos e desvios visando aproveitar a energia potencial de suas águas para produção de energia elétrica tornaram-se sinônimos de extinção, desaparecimento de espécies e eutrofização. Outras atividades como invasão urbana de áreas de preservação permanente, descargas urbanas e rurais, produção de pescados, obras de transposição e desmatamento da mata ciliar vem sobrecarregando um ecossistema fragilizado e suas consequências são notórias: assoreamento, desertificação, eutrofização, bioinvasão e colapso do sistema hidroelétrico (De Jong *et al.*, 2018).

2.3.1 Bioinvasão como ação humana: a invasão do mexilhão-dourado na Bacia do Rio São Francisco

A espécie humana (*Homo sapiens*) e todo o gênero *Homo* e seus parentes e antecessores tardios são, do ponto de vista geológico, uma ocorrência recente no planeta Terra. No entanto, nossa espécie tem demonstrado uma implacável capacidade de transformação do planeta, que vai da alteração de sua composição atmosférica aos contaminantes emergentes no solo e oceanos. Em pouco tempo colonizamos as mais intangíveis e inabitáveis regiões, devastando a megafauna e alterando o clima. Nossa capacidade, cada dia crescente, de retirar energia de fontes não renováveis baseadas em carbono vem moldando nosso estilo de vida atual desde o invento da máquina a vapor no rastro dos últimos dois séculos (Smil, 2023).

Até então a vida no planeta estava condicionada às mudanças que ocorriam em intervalos de tempos passíveis de adaptação e evolução, de forma que, a dinâmica de surgimento e extinção de espécies eram dependentes de fatores complexos da teia da vida. No entanto, a emergência do ser humano mudou o cenário de forma abrupta, principalmente com a aquisição e domínio de formas versáteis de energia. Isso possibilitou a expansão, manutenção e domínio de populações humanas em regiões jamais vistas e teve vários desdobramentos, principalmente após o intercâmbio Colombiano. Entre os vários aspectos dessa questão multifacetada há aquilo que os primeiros desbravadores levaram consigo - as espécies animais e vegetais. O fenômeno decorrente desse câmbio de espécies hoje é bem descrito e uma crescente literatura científica se projeta sobre a problemática - que atualmente- se encapsula no rótulo de espécies exóticas e invasoras (Ray Ha; Tristano; Work, 2024).

Algumas considerações devem ser colocadas no que tange os conceitos - exótico e invasor - grosso modo, toda espécie inserida em um novo habitat encontra-se numa condição de ser classificada como exótica, no entanto, tornar-se invasora requer o alcance de alguns limites. Em resumo, sobreviver e competir no novo ambiente, se reproduzir, manter uma população viável e ter a capacidade de se expandir, configuram-se entre tais requisitos. É uma questão complexa, mas algumas espécies ao se deslocar para outros habitats demonstram uma impressionante capacidade de adaptação. Fatores relacionados à disponibilidade de nutrientes, energia, predação, clima, relevo, entre outros, são fundamentais nessa chegada e permanência.

O mexilhão-dourado é uma dessas espécies que passou, após a longa travessia transatlântica, em águas de lastro de navios cargueiros, pelo estágio de exótica para invasora.

De acordo com a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF (2020), a primeira ocorrência registrada da invasão do mexilhão-dourado na Bacia do Rio São Francisco foi em 2015, no reservatório da usina hidrelétrica de Sobradinho. A partir desse ponto, a espécie dispersou-se rapidamente pelos reservatórios situados no Submédio São Francisco, alcançando, em 2016, o trecho do Baixo São Francisco, com registro no reservatório da usina hidrelétrica de Xingó, inserido na Unidade de Conservação do Monumento Natural do Rio São Francisco.

A interconectividade da complexa rede fluvial possibilitou a chegada do Mexilhão-dourado à Bacia do São Francisco, tendo um registro de ocorrência importante na barragem de Sobradinho-BA que documentou populações de mexilhão-dourado bem consolidadas (Barbosa *et al.*, 2016). Trabalhos recentes apontam sua presença em municípios ribeirinhos em Jatobá-PE (Fortunato *et al.*, 2025), Delmiro Gouveia-AL (Santos; Souza, 2022), Piranhas-AL (Souza *et al.*, 2024) e relatos de sua presença na foz, mostrando sua notória capacidade adaptativa ao gradiente de salinidade e outros fatores abióticos (temperatura, pH, turbidez) da região.

2.3.2 Desafios enfrentados com o comportamento do Mexilhão-dourado

Os impactos ambientais e econômicos decorrentes da invasão do referido molusco são extensivamente registrados na literatura, comprometendo tanto o ciclo de nutrientes no ambiente aquático, quanto a conservação da biodiversidade aquática (Karatayev *et al.*, (2015). Isso se deve à sua enorme capacidade de formar aglomerados densos que podem ultrapassar 200 mil indivíduos por metro quadrado (Santos; Souza, 2022). Nesse sentido, diversos estudos corroboram afirmando que a presença e, principalmente, a alta densidade populacional de mexilhões-dourados geram amplos impactos ambientais, afetando diretamente os habitats aquáticos, as comunidade de macrófitas e perifíton, os organismos planctônicos, a fauna

bentônica, a ictiofauna, bem como na qualidade da água e a dinâmica da cadeia trófica como um todo (Ávila-Simas *et al.*, 2019; Bertão *et al.*, 2021; Miyahira *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2006; Santos e Souza, 2022).

Além disso, causam impactos econômicos sobre o setor de geração de energia elétrica (danos de equipamentos e à diminuição da eficiência operacional) e de outros segmentos, como a pesca, a navegação, a piscicultura, irrigação, bem como os sistemas de captação e tratamento de água (IBAMA, 2020).

A invasão do mexilhão-dourado nos reservatórios que abrigam tilapiculturas intensivas em tanques-rede provocou um desestímulo significativo entre piscicultores e investidores quanto à implantação de novos empreendimentos aquícolas. Isso se deve ao aumento dos custos operacionais, estimado em cerca de 15% na produção de pescado (Oliveira *et al.*, 2014), uma vez que a presença da espécie invasora demanda maior tempo de mão de obra, uso de produtos assépticos, equipamentos específicos e consumo de energia elétrica para a remoção dos organismos incrustados nas telas dos tanques-rede. Além disso, pode ser necessário investir em materiais com propriedades antiaderentes para mitigar os impactos da bioincrustação pelo mexilhão-dourado (Gama, 2020).

A preferência do molusco por superfícies artificiais contribui para sua incrustação em estruturas de sistemas produtivos, ocasionando sobrecarga, aumento na demanda por manutenção e, em muitos casos, paralisação das atividades (Santos; Souza, 2022).

Dessa forma, a realização de limpezas periódicas torna-se indispensável, uma vez que as estruturas e sistemas afetados supracitados passam por sucessivos ciclos de colonização, exigindo manutenção contínua. Com isso, a morte dos organismos acarreta diversos inconvenientes: odor desagradável, formação de chorume e proliferação de insetos, resultando em conchas secas, sem destinação ambientalmente adequada, que se acumulam nos terrenos ou são enterradas.

Embora diversas metodologias de prevenção já tenham sido descritas na literatura (IBAMA, 2020; Santos & Souza, 2022), até o momento, não há registros de métodos eficazes disponíveis para a erradicação do mexilhão-dourado após sua detecção e posterior dispersão, o que torna essa tarefa extremamente complexa, mesmo em locais onde a invasão se encontra em estágio inicial. As estratégias de controle mais recorrentes concentram-se no monitoramento sistemático da espécie, especialmente a partir de seus primeiros registros em uma determinada bacia hidrográfica (Andrade, Razzolini & Baggio, 2021; Ribolli *et al.*, 2021).

2.4 Uso de conchas de moluscos na construção civil

Os moluscos representam o segundo maior grupo de animais produzidos pela aquicultura em todo o mundo. Entre eles, os mais cultivados são os moluscos marinhos e estuarinos, com destaque para os bivalves, como ostras e mexilhões (Silva *et al.*, 2017).

Desde os tempos antigos, a pesca e a coleta em regiões costeiras contribuíram para o elevado consumo de moluscos, devido ao seu valor nutricional e conteúdo de proteínas e compostos bioativos (Chakraborty & Joy, 2020). No Brasil, esse hábito deixou como vestígio grandes depósitos de conchas, conhecidos como sambaquis, encontrados principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Essas formações, com mais de 6 mil anos, refletem práticas alimentares e sociais de antigas populações humanas (Wagner *et al.*, 2011; Ybert & Boyadjian, 2020).

O crescimento populacional e a degradação ambiental impulsionam a busca por soluções sustentáveis, destacando-se o reaproveitamento de resíduos de biomassa como alternativa viável para aplicação na construção civil. O reaproveitamento de resíduos de conchas de moluscos, tem ganhado destaque nos estudos no setor da construção civil. Conchas de bivalves e gastrópodes são as mais utilizadas em materiais cimentícios (Hamada *et al.*, 2023; Shao *et al.*, 2024).

As conchas de moluscos são formadas predominantemente por carbonato de cálcio (CaCO_3), o que confere a esses resíduos potencial na produção de blocos e pavimentos de concreto, caracterizados por baixa absorção de água e elevada resistência à compressão, resultando na fabricação de materiais compósitos mais sustentáveis, com propriedades mecânicas e térmicas aprimoradas (Fagundes; Silva, 2022). Nesse sentido, corrobora Islam (2015) e Wang *et al.* (2013) afirmando que esse tipo de resíduo apresenta potencial promissor para a construção civil devido à sua composição química, rica em carbonato de cálcio.

O carbonato de cálcio possui ampla aplicação em diversos setores industriais, sendo utilizado na produção de mármore compacto para pisos e revestimentos, na formulação de fertilizantes, na indústria cerâmica, na fabricação de tijolos e tintas, bem como como carga mineral em polímeros, entre outras finalidades (Boicko *et al.*, 2004).

Dessa forma, a incorporação de resíduos de conchas em matrizes cimentícias tem sido amplamente investigada, com aplicações em argamassas (Menezes *et al.* 2022; Edalat-Bebahani *et al.*, 2019; Hasan *et al.*, 2021; Hasnaoui *et al.*, 2021), concretos convencionais (Bamigboye *et al.*, 2021), concretos porosos (Kong *et al.*, 2022) e concretos de alta resistência (Ahsan *et al.*, 2022; Rahul Rollakanti *et al.*, 2021; Sangeetha *et al.*, 2022). Além disso, corroboram diversos estudos com êxito o uso de conchas de moluscos, como mexilhões (García

et al., 2020; Chen *et al.*, 2023), ostras (Liao *et al.*, 2023), berbigões (Chung *et al.*, 2023) e amêijoas (Lei *et al.*, 2022), na composição de argamassas e concretos. Estudos demonstraram a viabilidade do uso de conchas de ostras e mexilhões na fabricação de blocos de concreto, pavimentação e em argamassas, mostrando-se eficazes em regiões com escassez de areia (Fagundes & Silva, 2022; Batista, 2009; Yoon *et al.*, 2003). Bezerra *et al.* (2011) verificaram que resíduos de conchas também podem atuar como carga de enchimento no cimento Portland, melhorando sua resistência à compressão quando adicionados em até 10%.

Os estudos têm abordado principalmente o uso das conchas como substituto do agregado miúdo, após processos de lavagem e trituração para obtenção de granulometria compatível com os materiais convencionais. Siqueira (2021) demonstrou a viabilidade da aplicação de conchas trituradas como agregado miúdo em argamassas para revestimento, evidenciando aumento na resistência à compressão.

Dentro dessa temática, é notório que diversos estudos vêm sendo conduzidos com o objetivo de viabilizar a aplicação de conchas de moluscos na produção de materiais utilizados na construção civil. Corroborando Friedrichsen (2022) relatando que o reaproveitamento de subprodutos pela indústria da construção civil tem se ampliado nos últimos anos, impulsionado pelas preocupações ambientais relacionadas à necessidade de reduzir a exploração excessiva de recursos naturais.

Embora as conchas do mexilhão-dourado sejam inicialmente tratadas como rejeitos resultantes de ações de controle e limpeza de estruturas hídricas, elas podem adquirir outra classificação conforme sua destinação. Quando passam por avaliação de viabilidade técnica e demonstram potencial de aproveitamento em aplicações úteis, deixam de ser apenas resíduos e podem ser enquadradas como subprodutos. Nesse sentido, ao serem incorporadas em materiais de construção, como blocos de concreto, as conchas passam a ter valor agregado, transformando-se em recurso alternativo e sustentável em substituição parcial aos agregados convencionais. Essa proposta está alinhada aos princípios estabelecidos pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), apresentados na Figura 2.

Figura 2: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A utilização das conchas na produção de insumos para a construção civil representa prática coerente com as metas relacionadas, conforme detalhado a seguir.

A Meta 9.4, por exemplo, estabelece que até 2030 devem ser modernizadas as infraestruturas e reabilitadas as atividades econômicas, tornando-as mais sustentáveis por meio do uso de recursos renováveis e da ampliação do emprego de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados. Já a Meta 11.6 prevê, no mesmo horizonte temporal, a redução do impacto ambiental negativo per capita nas cidades, por meio da melhoria na qualidade do ar, da gestão de resíduos sólidos e da implementação de sistemas de monitoramento de qualidade do ar em municípios com mais de 500 mil habitantes.

No que diz respeito à gestão de recursos naturais, a Meta 12.2 propõe alcançar, até 2030, uma gestão sustentável e o uso eficiente desses recursos. De forma complementar, a Meta 12.5 visa a uma expressiva redução na geração de resíduos, por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso. Por fim, a Meta 12.a destaca a importância de apoiar países em desenvolvimento no fortalecimento de suas capacidades científicas e tecnológicas, de modo a promover padrões de produção e consumo mais sustentáveis.

Dessa forma, a incorporação das conchas na fabricação de materiais compósitos com foco ambiental pode gerar benefícios significativos nos âmbitos ambiental, econômico e social.

2.5 Incorporação de resíduos no Concreto de cimento Portland

O concreto de cimento Portland, embora seja um dos materiais de construção mais recentes, tornou-se o principal material estrutural utilizado mundialmente, sendo considerado uma das descobertas mais relevantes para o desenvolvimento da engenharia civil, tornando-se

o material mais utilizado pelo ser humano depois da água (Helene *et al.*, 2010). Conforme Mehta e Monteiro (2014), o concreto é um material compósito formado por uma matriz aglomerante contínua que envolve partículas ou fragmentos de agregados.

No estado fresco, o concreto deve apresentar consistência, trabalhabilidade e homogeneidade. Mesmo após o endurecimento, mantém-se como um material heterogêneo, formado por diferentes fases. Seu preparo visa obter uma estrutura sólida, resistente e com mínima porosidade, por meio da hidratação eficiente do cimento (Carvalho e Figueiredo, 2024).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a resistência à compressão do concreto é classificada em três categorias: baixa resistência (menos de 20 MPa), resistência moderada (de 20 MPa a 40 MPa) e alta resistência (acima de 40 MPa). Sua composição é composta por cimento, areia (agregado miúdo), brita (agregado graúdo), água e aditivos.

Segundo Mehta e Monteiro (1994 e 2014), é possível relatar que os cimentos, sejam orgânicos (como os cimentos poliméricos) ou inorgânicos (como o cimento Portland), são materiais aglomerantes que têm a função de cobrir a superfície de todas as partículas do agregado do concreto, unificando o conjunto e formando uma massa monolítica.

O agregado é um material granular, como areia, brita, pedregulho ou escória de alto-forno, que, em conjunto com um aglomerante, compõe o concreto ou a argamassa de cimento hidráulico. Classifica-se como agregado graúdo aquele cujas partículas são maiores que 4,8 mm, enquanto o agregado miúdo corresponde às partículas que passam por essa peneira e são retidas na de 0,150 mm, conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A água no concreto pode se apresentar de diversas formas: como vapor nos poros, água capilar que não afeta o volume do material, água adsorvida responsável pela retração, água interlamelar associada com a estrutura e água quimicamente combinada, incorporada aos produtos da hidratação do cimento (Monteiro, 2014).

Os aditivos são substâncias adicionadas ao concreto para melhorar suas propriedades ou facilitar seu uso. Podem ser tensoativos, sais, polímeros ou minerais, e são utilizados para ajustar a trabalhabilidade, o tempo de pega, a resistência e a durabilidade frente a agentes agressivos. Entre os mais comuns estão os incorporadores de ar, superplastificantes, impermeabilizantes, produtores de espuma e modificadores de pega.

Segundo Clementino (2014), o concreto é obtido pela mistura balanceada de aglomerante, agregados e água. O cimento Portland é o aglomerante mais comum, enquanto a areia e a brita correspondem aos agregados miúdo e graúdo, respectivamente. Após a mistura,

o concreto deve apresentar plasticidade suficiente para facilitar o seu manuseio, transporte e lançamento em fôrmas, adquirindo coesão e resistência ao longo do tempo devido às reações químicas entre o cimento e a água. Esses insumos que dão origem ao concreto, com o aumento populacional e a expansão urbana em escala global, têm intensificado a demanda da construção civil por recursos naturais.

A produção de concreto para expansão das cidades e sua infraestrutura utiliza insumos como cimento, brita e areia, cuja extração impacta diretamente o meio ambiente e, além disso, mostra-se insuficiente para atender à crescente demanda do setor (Warnphen; Supakata; Kanokkantapong, 2019).

Como alternativa ao uso de materiais convencionais do concreto, cuja extração causa impactos ambientais significativos, diversos estudos têm investigado a incorporação de resíduos sólidos na sua composição. Dentre esses resíduos, destacam-se os provenientes da construção civil (RCC), como fragmentos de blocos de concreto, tijolos e materiais de demolição, os quais têm sido utilizados como substitutos parciais dos agregados na mistura do concreto (Pesta *et al.*, 2020; Akhtar e Sarmah, 2018; Gomes *et al.*, 2017).

Além disso, alguns estudos têm investigado o uso de conchas de moluscos na produção de concreto. Em geral, as pesquisas indicam que o uso do pó de conchas em proporções controladas (variando entre 10% e 30%) pode manter ou até melhorar propriedades importantes do concreto, como resistência à compressão e absorção de água, desde que adequadamente dosado. Além disso, os concretos produzidos com conchas apresentam desempenho satisfatório para aplicações não estruturais, como blocos de vedação, pisos e pavimentos intertravados (Sant'ana, 2023; Caldas, 2018; Araújo *et al.*, 2022).

Assim, os estudos reforçam o potencial das conchas de moluscos como uma alternativa sustentável e funcional na composição de concretos ecológicos.

2.6 Bloco vazados no Brasil

No Brasil, o uso de blocos de concreto teve início na década de 1940, durante a construção do conjunto habitacional de Realengo, no Rio de Janeiro. Já as primeiras máquinas destinadas à fabricação desses blocos foram importadas dos Estados Unidos por volta de 1950, marcando o início da industrialização desse processo no país (Barbosa, 2004).

De acordo com Buttler (2007), os concretos de consistência seca, utilizados na fabricação de blocos, são levemente umedecidos e demandam o uso de máquinas específicas para garantir sua compactação e eliminação do ar aprisionado. Para esse autor, os blocos devem

atender a requisitos fundamentais, como coesão no estado fresco, alta compactidade, resistência mecânica adequada e textura superficial uniforme. A correta combinação dos agregados é essencial para otimizar a dosagem dos concretos secos, reduzindo os vazios e aumentando a massa unitária da mistura.

Estudos reportam o desenvolvimento de “Bloco Verde”, um bloco ecológico produzido a partir do reaproveitamento de cascas de ostras e mariscos, combinadas com resíduos da construção e demolição. As conchas, ricas em carbonato de cálcio, passam por processos de limpeza, secagem, trituração e mistura, substituindo as areias fina e média como agregado miúdo. O resultado é um produto artesanal e sustentável, que reduz custos em até 40%, além de aumentar a resistência e a absorção em cerca de 30% em relação ao modelo convencional (Batista et al., 2008).

Diante do exposto, destaca-se que pesquisadores têm investigado a viabilidade do uso de conchas de moluscos na composição de blocos de concreto, evidenciando o potencial desse resíduo como matéria-prima alternativa e sustentável para a construção civil.

2.7 Importância da caracterização e dos ensaios para o desenvolvimento de materiais à base de conchas de mexilhão-dourado

A incorporação de biomateriais calcários em matrizes cimentícias exige compreensão prévia de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas, de modo a avaliar sua interação com a pasta de cimento e o possível impacto na microestrutura e no desempenho mecânico do concreto. No caso das conchas de *Limnoperna fortunei*, essa necessidade torna-se ainda mais relevante devido à ausência de protocolos consolidados na literatura para o uso dessa biomassa em produtos cimentícios.

A caracterização mineralógica e química da concha é essencial para identificar os elementos e fases presentes e para prever sua compatibilidade com os compostos formados durante a hidratação do cimento Portland. Ensaios como Fluorescência de Raios X (FRX) e Difração de Raios X (DRX) fornecem informações fundamentais sobre a composição elementar, o teor de carbonato de cálcio e as transformações das fases cristalinas, parâmetros diretamente relacionados ao comportamento físico e mecânico do compósito (Zhu *et al.*, 2024).

A Análise Termogravimétrica (TGA) contribui para a compreensão do comportamento térmico das conchas, permitindo identificar eventos de decarbonatação, perda de massa e estimar quantitativamente o teor de CaCO_3 , fornecendo subsídios para prever reações

secundárias e estabilidade química durante os processos de hidratação e cura (Wang; Liu, 2020; Hamada *et al.*, 2023).

Além da caracterização dos materiais, a avaliação das propriedades tecnológicas é indispensável para determinar a viabilidade de aplicação das conchas como substituto do agregado miúdo. Ensaios de absorção de água e resistência à compressão permitem mensurar os efeitos da incorporação do biomaterial no desempenho do concreto em comparação com concretos convencionais (Lin *et al.*, 2024; Liao *et al.*, 2022). A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), por sua vez, fornece evidências microestruturais sobre a distribuição das partículas, o grau de aderência à matriz e a formação da zona de transição interfacial, elementos determinantes para a compreensão do comportamento mecânico e de durabilidade do compósito (Bamigboye *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2023).

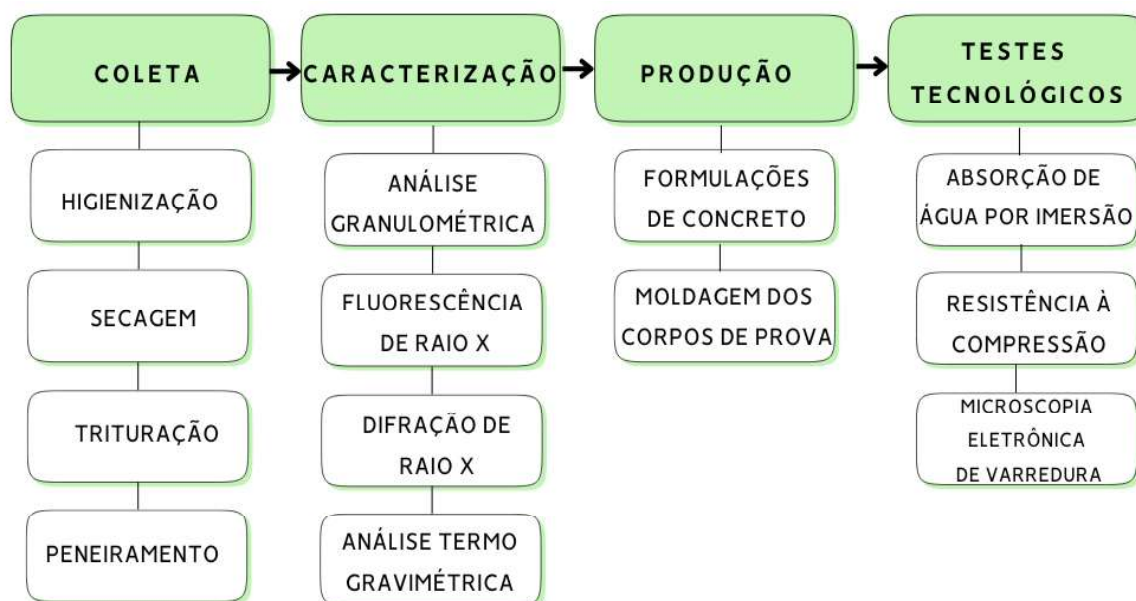
Portanto, a utilização integrada de análise granulométrica, FRX, DRX, TGA, MEV, absorção de água e resistência à compressão fortalece a abordagem científica adotada nesta pesquisa e assegura rigor na avaliação da viabilidade técnica do uso das conchas de mexilhão-dourado como insumo para a produção de blocos de concreto. Tais ensaios constituem o elo necessário entre o conhecimento teórico apresentado neste capítulo e o desenvolvimento experimental descrito na seção seguinte.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa enquadra-se como um estudo aplicado, uma vez que, conforme afirmam Vieira, Leite e Kuhn (2023), esse tipo de investigação tem como propósito a geração de conhecimentos orientados à aplicação prática e imediata, voltados à resolução de problemas concretos e situados em contextos territoriais específicos. Nesse sentido, a avaliação da biomassa de *Limnoperna fortunei* como insumo para a produção de blocos de concreto constitui uma proposta de solução tecnológica para um problema ambiental local, com potencial de replicação em qualquer cenário atingido pela bioinvasão da espécie.

O estudo foi conduzido no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Alagoas — Campus Palmeira dos Índios e estruturado em quatro etapas principais: coleta das conchas, caracterização físico-química e mineralógica, produção dos corpos de prova e (iv) testes tecnológicos de desempenho, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3: Fluxograma do Procedimento Experimental



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

O desenvolvimento da etapa de coleta consistiu na obtenção e preparação do material a ser utilizado. Essa etapa foi subdividida em quatro subetapas: higienização, secagem, trituração e peneiramento das conchas.

A etapa de caracterização teve como finalidade identificar as propriedades físicas, químicas e mineralógicas do material, sendo realizada por meio dos ensaios de análise

granulométrica, Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX) e Análise Termogravimétrica (TGA).

A etapa de produção foi dividida em duas subetapas: formulação das misturas de concreto e moldagem dos corpos de prova. Por fim, na etapa dos testes tecnológicos, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de Absorção de Água por Imersão, Resistência à Compressão e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), com o objetivo de avaliar o desempenho físico-mecânico e microestrutural do material produzido.

Essas etapas, quando integradas, permitiram compreender de forma aprofundada as características das conchas de mexilhão-dourado e seu potencial para aplicação como substituto parcial do agregado miúdo na fabricação de materiais compósitos à base de concreto.

No contexto da alvenaria, os blocos vazados de concreto simples se destacam como componentes essenciais das edificações, cujas propriedades devem atender aos requisitos definidos pela NBR 6136 (ABNT, 2016), que estabelece critérios técnicos de resistência à compressão, absorção e retração, conforme apresentado na Tabela 1. O cumprimento desses parâmetros é fundamental para assegurar a segurança, a durabilidade e o desempenho das edificações.

Tabela 1: Requisitos para blocos vazados de concreto para alvenaria

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial ^a MPa	Absorção %				Retração ^d %
			Agregado normal ^b		Agregado leve ^c		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$			

^a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.
^b Blocos fabricados com agregado normal (ver definição na ABNT NBR 9935).
^c Blocos fabricados com agregado leve (ver definição na ABNT NBR 9935).
^d Ensaio facultativo.

Fonte: NBR 6136, ABNT 2016.

Esses critérios visam garantir a qualidade, durabilidade e segurança dos blocos de concreto utilizados nas edificações. A conformidade com a NBR 6136 é essencial para a

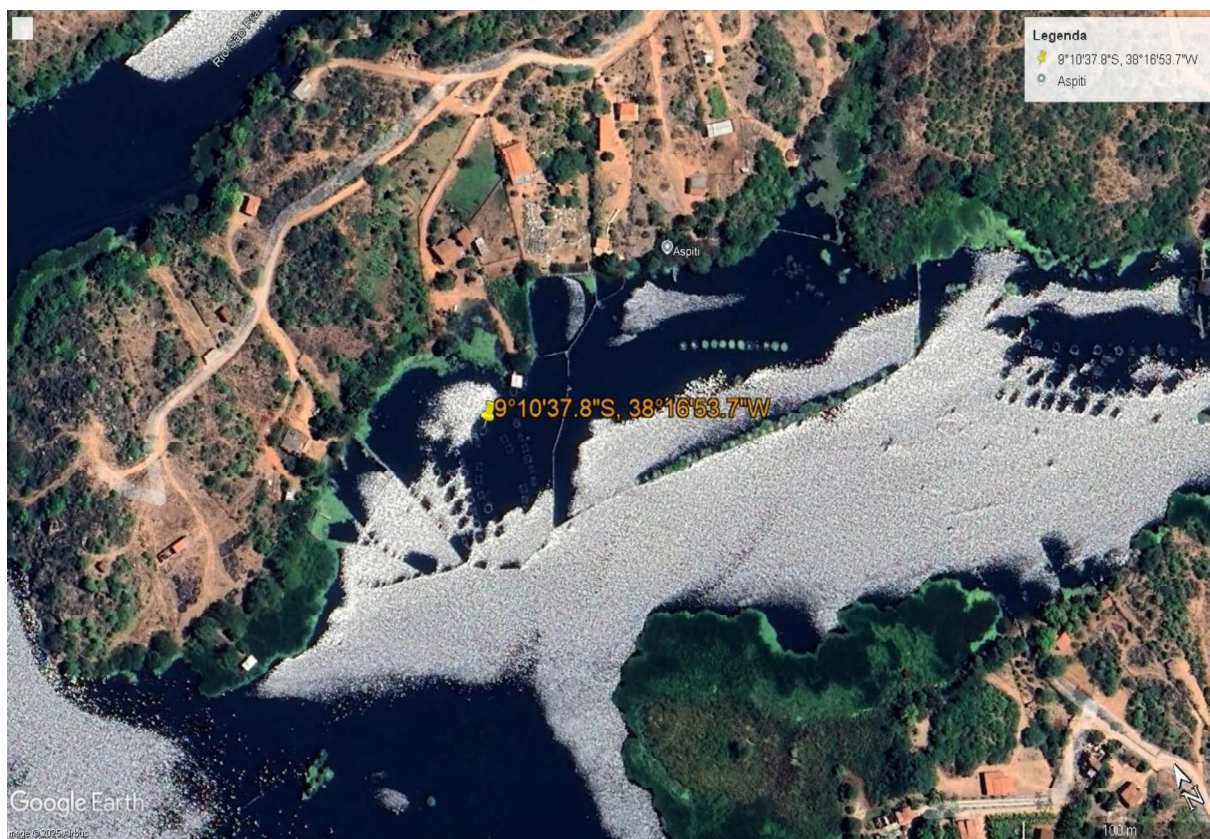
aceitação dos blocos no mercado e para assegurar o desempenho adequado das alvenarias ao longo da vida útil da construção.

3.1 Coleta

A etapa inicial da pesquisa foi dedicada à coleta das conchas de mexilhão-dourado. Nessa fase, o material passou pelos processos de higienização, secagem e trituração, de modo a torná-lo adequado às etapas subsequentes de caracterização físico-química e mineralógica. Procedimentos semelhantes de preparação de biomateriais calcários para aplicação em matrizes cimentícias são amplamente empregados em estudos envolvendo conchas de moluscos para fins de produção de concretos e argamassas sustentáveis (Bamigboye *et al.*, 2021; Hamada *et al.*, 2023).

A coleta foi realizada em estruturas de tanques-rede de criatórios de tilápia localizados no município ribeirinho de Jatobá – PE (coordenadas 9°10'37.8"S, 38°16'53.7"W), conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4: Mapa – local de coleta



Após a coleta, as conchas foram acondicionadas em saco plástico resistente e transportadas para o Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Alagoas – Campus Palmeira dos Índios. A etapa de higienização foi realizada mediante imersão das conchas em solução de água e água sanitária, visando à remoção de resíduos orgânicos aderidos às valvas. Metodologias de limpeza química associadas à lavagem simples são relatadas como eficazes para eliminação de matéria orgânica em conchas destinadas a aplicações em materiais cimentícios (Chen *et al.*, 2023; Liao *et al.*, 2022).

Em seguida, o material foi submetido à secagem sob exposição solar, etapa empregada em pesquisas similares devido à sua eficiência na eliminação de umidade sem provocar alterações significativas na estrutura cristalina das conchas (Hamada *et al.*, 2023), conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5: Transporte, Limpeza e Secagem



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Após a higienização e secagem, as conchas foram submetidas ao processo de trituração com o objetivo de reduzir o tamanho das partículas e obter subproduto em granulometria semelhante à do agregado miúdo natural. A redução granulométrica é etapa essencial para favorecer a homogeneidade da mistura e a adequada dispersão das partículas no concreto, contribuindo para o desempenho mecânico e para a qualidade da interface agregado–matriz (Bamigboye *et al.*, 2021; Liao *et al.*, 2022).

A trituração foi realizada utilizando liquidificador doméstico de alta potência, método amplamente adotado em pesquisas que investigam a incorporação de conchas de moluscos em materiais cimentícios por combinar eficiência operacional e baixo custo (Chen *et al.*, 2023; Zhu *et al.*, 2024). O processo buscou a obtenção de partículas com dimensões semelhantes às de areia, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6: Trituração



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

As partículas obtidas após a trituração apresentaram distribuição de tamanhos heterogênea, o que tornou necessária a determinação de sua granulometria. Para isso, utilizou-se a norma ABNT NBR 17054:2022 para determinação da composição granulométrica de agregados com peneiras com aberturas de 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 μm ; 300 μm e 150 μm , organizadas em ordem decrescente de malha, procedimento recomendado para padronização de agregados alternativos destinados ao uso em matrizes cimentícias (Bamigboye *et al.*, 2021; Lin *et al.*, 2024). O processo foi realizado por agitação manual durante aproximadamente 5 minutos por amostra, assegurando a separação entre partículas grossas e finas, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Subproduto peneirado



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Os grãos que passaram pela peneira foram selecionados para as etapas subsequentes da pesquisa, por apresentarem distribuição granulométrica compatível com os parâmetros indicados pela literatura para substituição parcial de agregados miúdos em concretos e argamassas (Lin *et al.*, 2024; Liao *et al.*, 2022).

As partículas selecionadas após o peneiramento foram submetidas à análise granulométrica, Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX) e Análise Termogravimétrica (TGA). A combinação desses ensaios permitiu caracterizar de forma abrangente o subproduto, abrangendo sua distribuição de tamanhos, composição elementar, fases cristalinas e comportamento térmico, possibilitando compreender sua compatibilidade com matrizes cimentícias e seu potencial para substituição parcial do agregado miúdo.

3.2 Caracterização

A caracterização do material configura-se como etapa fundamental para compreender suas propriedades físicas, químicas, mineralógicas e térmicas, permitindo avaliar seu potencial de aplicação em matrizes cimentícias. Segundo Bragagnolo e Korf (2020), o uso de técnicas de caracterização é essencial para ampliar o entendimento sobre as particularidades dos materiais, orientando sua aplicação com foco na sustentabilidade e no desenvolvimento de produtos de maior desempenho. Nesse mesmo sentido, Wang e Liu (2020) destacam que a caracterização adequada contribui para a otimização dos processos produtivos, redução de falhas e aprimoramento das propriedades dos compósitos cimentícios, sobretudo quando se utilizam materiais alternativos ou resíduos como insumos.

Com base nessas perspectivas, as conchas de *Limnoperna fortunei* foram submetidas a ensaios complementares para diagnóstico detalhado do subproduto, contemplando: Análise granulométrica, para determinação da distribuição de tamanhos das partículas e adequação como substituto do agregado miúdo; Fluorescência de Raios X (FRX), para identificação da composição química e dos teores de óxidos presentes; Difração de Raios X (DRX), para determinação das fases cristalinas e verificação da predominância de carbonato de cálcio; Análise Termogravimétrica (TGA), para avaliação do comportamento térmico, estabilidade e eventos de decarbonatação.

A execução integrada desses ensaios possibilitou compreender a compatibilidade do subproduto com o cimento Portland, bem como prever sua influência sobre a hidratação, a microestrutura e o desempenho mecânico do concreto produzido. Dessa forma, a caracterização

estabeleceu as bases necessárias para o desenvolvimento das etapas subsequentes da pesquisa, assegurando rigor científico ao processo de substituição parcial do agregado miúdo.

3.2.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada com o objetivo de determinar a distribuição dos tamanhos das partículas das conchas de *Limnoperna fortunei* após o processo de trituração, assegurando sua adequação como substituto parcial do agregado miúdo. A avaliação da granulometria é essencial, pois influencia diretamente a trabalhabilidade da mistura, a compactidade e o desempenho mecânico do concreto (Bamigboye *et al.*, 2021; Liao *et al.*, 2022).

O procedimento consistiu na aplicação do método de peneiramento, conduzido com a série de peneiras prescrita pela ABNT NBR 17054:2022 para determinação da composição granulométrica de agregados. Foi utilizada quantidade de 1.000g da amostra de mexilhão dourado triturada. Foram utilizadas peneiras com aberturas de 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 μm ; 300 μm e 150 μm , organizadas em ordem decrescente de malha. Cada amostra foi submetida à agitação manual durante aproximadamente cinco minutos, possibilitando a separação entre partículas grossas e finas, conforme pode ser visualizada na Figura 8.

Figura 8: Composição granulométrica da amostra de mexilhão dourado triturada



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Os grãos retidos acima da abertura de 4,75 mm foram descartados, enquanto as partículas passantes foram selecionadas para as demais análises e para a produção do concreto, por apresentarem distribuição granulométrica semelhante à da areia fina e compatível com parâmetros recomendados para a incorporação de agregados alternativos em matrizes cimentícias (Lin *et al.*, 2024).

A padronização granulométrica das partículas é particularmente importante quando se utilizam biomateriais ou resíduos calcários, pois variações significativas no tamanho das partículas podem comprometer a coesão da matriz cimentícia, influenciando a formação da zona de transição interfacial (ZTI), a densificação do compósito e o controle da porosidade, fatores decisivos para resistência mecânica e durabilidade (Zhu *et al.*, 2024).

3.2.2 Fluorescência de Raios X (FRX)

A espectrometria de fluorescência de raios X é uma técnica não destrutiva empregada tanto na identificação qualitativa da composição química de uma amostra, quanto na determinação quantitativa da concentração dos elementos presentes, expressa em termos percentuais (Pagio *et al.*, 2021). Nesse sentido, o pó das conchas de mexilhão-dourado foi caracterizado por análise de fluorescência de raios X no Laboratório do Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis (CTGAS-ER) - Natal/RN. Para realização desta análise foi utilizado o equipamento EDX-720 da marca Shimadzu, cuja faixa de detecção abrange elementos do sódio (Na – Z=11) ao urânio (U – Z=92), com sensibilidade superior a 0,001%. Foi empregado o método semiquantitativo para identificação da composição química do pó das conchas do mexilhão-dourado.

De acordo com Adame (2018), durante a realização do ensaio de FRX, a amostra é submetida à incidência de feixe de raios X, este sendo capaz de liberar um elétron da camada mais interna, devido à quebra da energia de ligação desse elétron. Para estabilizar o átomo, um elétron de uma camada mais externa e com maior energia ocupa a vacância deixada, liberando, durante essa transição, um fóton fluorescente. Esse fóton possui energia característica, permitindo a identificação da composição elementar da amostra (Bezur *et al.*, 2020). Sendo assim, através da espectrometria de fluorescência de raios X foi possível conhecer e determinar a composição química das conchas do mexilhão-dourado.

3.2.3 Difração de Raios X (DRX)

O material agregado utilizado como substituição parcial da areia na composição do concreto foi caracterizado também por meio de análise de Difração de Raios X (DRX), realizada no Laboratório do Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis (CTGAS-ER) - Natal/RN, utilizando-se o difratômetro de Raios X (XRD-6000, SHIMADZU). Essa análise permitiu a identificação da composição mineralógica da amostra analisada, sendo amplamente reconhecida por sua eficiência na determinação de fases cristalinas (Silva *et al.*, 2021).

Segundo Acchar e Marques (2016), essa análise é realizada através da dispersão da radiação por um arranjo regular de centros de difração, cujo espaçamento é da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da radiação incidente, permitindo a identificação mineral, a partir da caracterização da estrutura cristalina.

A análise de DRX foi processada no software X'Pert HighScore que compara os difratogramas experimentais com padrões cristalográficos disponíveis no Arquivo de Difração de Pó (Powder Diffraction File – PDF), mantido pelo Centro Internacional de Dados de Difração (International Centre for Diffraction Data – ICDD).

3.2.4 Análise Termogravimétrica (TGA)

A termogravimetria (TGA) é uma técnica amplamente empregada para complementar a caracterização de matérias-primas por permitir a análise quantitativa da variação de massa em função da temperatura, possibilitando a identificação de eventos físicos e químicos, tais como desidratação, decomposição e oxidação (Saadatkhan *et al.*, 2020). A obtenção desse perfil térmico é fundamental para prever o comportamento do material quando submetido a temperaturas elevadas, especialmente em matrizes cimentícias, nas quais fases mineralógicas podem sofrer transformações térmicas que afetam diretamente a microestrutura e o desempenho do compósito final (Hamada *et al.*, 2023).

No presente estudo, a realização da análise termogravimétrica do pó da concha de mexilhão-dourado possibilitou compreender suas particularidades térmicas, em especial o teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) e a temperatura correspondente à descarbonatação, evento termicamente marcante para biomateriais calcários. Conforme Wang e Liu (2020), o ensaio de TGA permite determinar a temperatura máxima à qual o material pode ser exposto sem alterações significativas em sua composição e estabilidade química, tornando-se decisivo para prever o comportamento das partículas incorporadas à matriz de cimento Portland.

A análise foi realizada no equipamento TGA-51 da Shimadzu, com faixa de aquecimento de 25 °C a 900 °C, em taxa de 10 °C/min, sob fluxo de nitrogênio a 50 mL/min. As curvas obtidas permitiram correlacionar os eventos térmicos com as etapas de perda de massa, fornecendo informações essenciais para a avaliação da aplicabilidade das conchas como substituto parcial do agregado miúdo na produção de blocos de concreto.

3.3 Produção

Com base nos resultados obtidos na etapa de caracterização, foi iniciada a fase de produção, destinada ao desenvolvimento das formulações de concreto com diferentes níveis de substituição do agregado miúdo convencional (areia) por partículas de conchas de *Limnoperna fortunei*. Essa etapa teve como finalidade avaliar o desempenho do biomaterial calcário dentro da matriz cimentícia, determinando a influência direta de sua incorporação na resistência mecânica, absorção de água e microestrutura dos compósitos produzidos.

Foram elaboradas diferentes proporções de substituição em massa da areia pelas conchas trituradas, possibilitando a comparação entre o traço de referência (0%) e traços modificados com percentuais progressivos de substituição. Após a definição das formulações, foram realizadas as moldagens dos corpos de prova cilíndricos, seguindo a metodologia prescrita pelas normas brasileiras vigentes para concretos estruturais. Posteriormente, os corpos de prova foram submetidos aos testes tecnológicos definidos no planejamento experimental, de modo a verificar a viabilidade técnica do uso das conchas de mexilhão-dourado como insumo alternativo na produção de blocos de concreto.

3.3.1 Formulações de Concreto

Considerando que o objetivo central deste estudo é analisar comparativamente o comportamento do concreto com substituição parcial do agregado miúdo pelo pó proveniente das conchas de *Limnoperna fortunei*, definiu-se inicialmente o traço de referência para concreto convencional, visando a obtenção de resistência característica estimada de 25 MPa. A adoção do traço de referência é fundamental para assegurar que as alterações observadas no desempenho do concreto sejam atribuídas exclusivamente à substituição do agregado miúdo e não à variação da dosagem base.

As formulações foram determinadas com base no método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), amplamente empregado em obras de pequeno e médio porte no país devido à sua simplicidade operacional e precisão para concretos de resistência

habitual. O método, originalmente desenvolvido em 1984 e revisado em 1995 por Públio Penna Firme Rodrigues, constitui uma adaptação prática da metodologia norte-americana ACI 211.1 – Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, ajustada às características dos materiais brasileiros (Rodrigues, 1994; ACI, 2002).

Esse método fornece tabelas experimentais para determinação de parâmetros como consumo de cimento, relação água/cimento (a/c), proporção entre agregados, teor de argamassa e trabalhabilidade, sendo recomendado para concretos de consistência plástica a fluida. O método admite o uso de agregados graúdos britados e areia natural, desde que em conformidade com os requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2019), que regulamenta os agregados para concreto.

A partir da aplicação do método descrito, foi definido o traço de referência apresentado na Tabela 2. Para efeito comparativo entre as formulações estudadas, adotou-se como Formulação de Referência (FR) a proporção 1:2,3:2,17:0,59, representando, respectivamente, as quantidades relativas de cimento : agregado miúdo (areia) : agregado graúdo (brita) : água.

Tabela 2: Traço de referência

TRAÇO REFERÊNCIA			
CIMENTO (kg)	AREIA (kg)	BRIT A (kg)	a/c
1	2,3	2,17	0,59

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Nesta pesquisa, estabeleceu-se a substituição parcial da areia média por conchas de *Limnoperna fortunei* trituradas, de modo a avaliar a influência progressiva da incorporação desse material no desempenho do concreto. A partir do traço de referência previamente definido, foram determinadas cinco Formulações Experimentais (FE), variando-se o teor de substituição do agregado miúdo por pó de conchas em 10%, 20%, 30%, 40% e 50% em volume, sendo denominadas, respectivamente, FE10, FE20, FE30, FE40 e FE50. Assim, considerando a Formulação de Referência (FR) e os cinco níveis de substituição, elaboraram-se seis formulações distintas de concreto, conforme detalhado na Tabela 3.

Tabela 3: Percentuais de incorporação nas formulações avaliadas

FORMULAÇÕES	PERCENTUAL DE AREIA	PERCENTUAL DE CONCHA DE MEXILHÃO-DOURADO
FR	100%	0%
FE10	90%	10%
FE20	80%	20%
FE30	70%	30%
FE40	60%	40%
FE50	50%	50%

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Essas formulações foram definidas com o intuito de avaliar a influência da substituição do agregado miúdo nas propriedades do concreto em comparação com o traço de referência. Em todas as misturas produzidas, mantiveram-se constantes as proporções de cimento, agregado graúdo (brita) e água, de modo que a única variável experimental fosse o percentual de substituição do agregado miúdo por pó de conchas de *Limnoperna fortunei*. Essa estratégia metodológica assegura que eventuais alterações no desempenho mecânico, na absorção de água ou na microestrutura do concreto possam ser atribuídas exclusivamente à presença e ao teor do subproduto incorporado. Assim, após a definição do traço de referência e das formulações experimentais com diferentes percentuais de substituição, procedeu-se à moldagem dos corpos de prova cilíndricos.

3.3.2 Moldagem dos corpos de provas

Inicialmente, foi realizado o processo de homogeneização das matérias-primas, cimento, brita, areia e subproduto, respeitando as proporções definidas para cada formulação. A mistura manual foi conduzida de forma a garantir a dispersão adequada das partículas de conchas de *Limnoperna fortunei* na matriz cimentícia, reduzindo o risco de segregação e assegurando repetibilidade entre os lotes produzidos.

O cimento utilizado foi o CP II-F-32, escolhido por ser amplamente empregado na fabricação de blocos de concreto devido à sua boa trabalhabilidade e desempenho mecânico, além da presença de filler calcário em sua composição, o que favorece a compactação e contribui

para a redução da permeabilidade e retração do compósito (Cunha; Dal Molin; Ribeiro, 2020; Helene e Terzian, 2022).

Em atendimento à NBR 7211 (ABNT, 2019), foram utilizados como agregado graúdo a brita 0, com dimensão máxima característica de 9,5 mm, e como agregado miúdo a areia lavada média, com dimensão máxima característica de 2,4 mm, ambos comercializados na região de Palmeira dos Índios – AL. O subproduto empregado corresponde ao material obtido após os processos de tratamento, trituração e peneiramento das conchas de mexilhão-dourado, sendo incorporada à mistura apenas a fração passante na peneira de 1,18 mm, por apresentar granulometria compatível à do agregado miúdo e favorecer a dispersão na matriz cimentícia.

A água utilizada nos traços foi água potável fornecida pela rede municipal de abastecimento, sob responsabilidade da empresa Águas do Sertão, no município de Palmeira dos Índios – AL, em conformidade com a NBR 15900 (ABNT, 2009), que estabelece os requisitos para água empregada na produção de concreto. A Figura 9 apresenta os materiais empregados nesta etapa.

Figura 9: Materiais utilizados na moldagem dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Após o processo de homogeneização das matérias-primas, a mistura foi transferida, com o auxílio de colher de pedreiro, do recipiente de amassamento para moldes cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, devidamente limpos e lubrificados internamente com agente desmoldante. No total, foram moldados 24 corpos de prova cilíndricos (10 × 20 cm), em conformidade com os procedimentos prescritos pela NBR 5738 (ABNT, 2015), distribuídos em seis composições distintas, variando de 0% a 50% de substituição do agregado miúdo. Para cada formulação — traço de referência (0%) e Formulações Experimentais com 10%, 20%, 30%, 40% e 50% — foram produzidos quatro corpos de prova, totalizando quatro réplicas por nível de substituição. Nas Formulações Experimentais (FE), o agregado miúdo (areia) foi parcialmente substituído pelo pó de conchas de mexilhão-dourado previamente tratado e peneirado.

Transcorrido o intervalo de 24 horas após a moldagem, os corpos de prova foram desmoldados e devidamente identificados conforme o teor de substituição correspondente: Formulação de Referência (FR) para o traço convencional, e Formulações Experimentais (FE10, FE20, FE30, FE40 e FE50) para 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de substituição do agregado miúdo pelo subproduto, respectivamente. Em seguida, os corpos de prova foram destinados ao processo de cura em meio úmido, sendo imersos em recipientes com água para o restante do período de cura, onde permaneceram durante 28 dias, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10: Corpos de Prova Cilíndricos



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Após os 28 dias de cura, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios tecnológicos de absorção de água, resistência à compressão e microscopia eletrônica de varredura (MEV),

com o objetivo de avaliar o desempenho das formulações em comparação ao traço de referência. A realização desses ensaios é amplamente recomendada em pesquisas que investigam a incorporação de resíduos ou agregados alternativos em matrizes cimentícias, uma vez que permitem avaliar parâmetros diretamente relacionados à durabilidade, integridade microestrutural e capacidade resistente do concreto (Lin *et al.*, 2024; Liao *et al.*, 2022).

3.4 Avaliação Tecnológica e Microestrutural do Concreto

Os ensaios de absorção de água por imersão e resistência à compressão, associados à análise microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV), foram realizados com o propósito de avaliar o desempenho das formulações produzidas em comparação ao concreto convencional, de modo a determinar a viabilidade técnica da substituição parcial do agregado miúdo pelo pó de conchas de *Limnoperna fortunei*. A aplicação conjunta dessas técnicas possibilita verificar se as formulações atendem aos requisitos de desempenho estabelecidos para blocos de concreto, além de identificar o potencial do subproduto como insumo alternativo na construção civil.

A abordagem combinada entre ensaios tecnológicos e caracterização microestrutural é amplamente recomendada em pesquisas envolvendo agregados alternativos, pois permite avaliar simultaneamente aspectos de durabilidade, desempenho mecânico e interação entre as partículas do subproduto e a matriz cimentícia, fatores decisivos para determinar a adequação do material a aplicações estruturais ou de vedação (Lin *et al.*, 2024; Liao *et al.*, 2022). Dessa forma, os resultados obtidos a partir do conjunto de análises possibilitam qualificar as Formulações Experimentais quanto à utilização do subproduto calcário de origem biológica em matrizes cimentícias, oferecendo evidências concretas para a aplicação na produção de blocos de concreto com potencial contribuição ambiental positiva.

3.4.1 Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado com base nas recomendações da NBR 9778 (ABNT, 2009), a qual estabelece os procedimentos para determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica de concreto endurecido. Esse ensaio tem por finalidade avaliar o volume de poros permeáveis no material e a capacidade do concreto de reter água, parâmetros diretamente relacionados à sua durabilidade em serviço.

Após o período de cura, os corpos de prova foram completamente submersos em água potável, a fim de promover a saturação dos poros permeáveis. Ao término desse período de saturação, os corpos de prova foram retirados da água, secos superficialmente com pano úmido para remover o excesso de água aderida à superfície e, em seguida, imediatamente pesados para

determinação da massa saturada. Posteriormente, os corpos de prova foram encaminhados à estufa a 105 °C por 24 horas, para obtenção da massa seca, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11: Corpos de Prova Cilíndricos na estufa



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A determinação da absorção de água é amplamente utilizada como indicador de qualidade e integridade da microestrutura do concreto, uma vez que a quantidade de água absorvida está diretamente relacionada à porosidade acessível e à concentração de vazios conectados, os quais influenciam o ingresso de agentes agressivos e o desempenho do material ao longo do tempo (Hamada *et al.*, 2023; Liao *et al.*, 2022). Dessa forma, os resultados deste ensaio permitiram avaliar o impacto da substituição parcial do agregado miúdo por pó de conchas de *Limnoperna fortunei* na permeabilidade e, conseqüentemente, na durabilidade potencial das formulações analisadas.

Após esse intervalo, foi possível determinar sua massa seca.

A absorção de água por imersão foi calculada com a seguinte equação:

$$AA = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100$$

Onde:

AA= absorção de água (%);

m_{sat} = massa saturada do corpo de prova cilíndrico (g);

m_s = massa seca do corpo de prova cilíndrico (g).

Por meio deste procedimento, foi possível avaliar a influência do subproduto nos índices de absorção de água, possibilitando uma melhor compreensão de seu impacto nas propriedades do concreto. Após esse processo, foi necessário capear (regularizar as faces dos corpos de prova), conforme apresentado na Figura 12, para posteriormente realizar o ensaio de resistência à compressão.

Figura 12: Corpos de Prova Cilíndricos Capeados



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

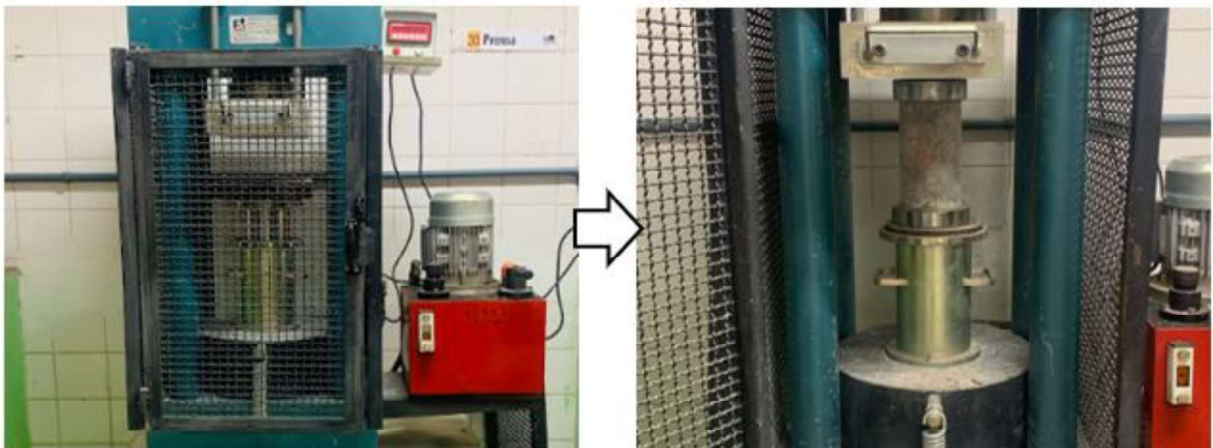
3.4.2 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 5739 (ABNT, 2018), que regulamenta o procedimento para determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto. Esse ensaio constitui o parâmetro mais amplamente utilizado para avaliar o desempenho mecânico do concreto endurecido, permitindo verificar a adequação do material para fins estruturais ou de vedação.

Os corpos de prova cilíndricos foram ensaiados aos 28 dias de idade, período recomendado para avaliação das propriedades mecânicas e comparação entre formulações experimentais. Cada corpo de prova foi posicionado axialmente na máquina de ensaio e submetido a carregamento contínuo e monotônico, com incremento constante de tensão até a ruptura. Durante o procedimento, foram registrados automaticamente os valores de carga máxima suportada, permitindo o cálculo da resistência à compressão em megapascal (MPa).

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais do Instituto Federal de Alagoas (IFAL), Campus Maceió, utilizando prensa hidráulica modelo FT 01, apropriada para corpos de prova cilíndricos de 10 × 20 cm, equipada com sistema computadorizado para aquisição e armazenamento dos dados, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13: Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A resistência à compressão é indicador fundamental para avaliação da eficiência da incorporação de materiais alternativos ao concreto, já que alterações na compactação, aderência interfacial e densidade da matriz cimentícia refletem diretamente nesse parâmetro. Assim, os resultados desse ensaio permitiram comparar o desempenho mecânico das Formulações Experimentais contendo o pó das conchas de *Limnoperna fortunei* com a Formulação de

Referência, possibilitando identificar limites técnicos para uso do subproduto como substituto do agregado miúdo (Chen *et al.*, 2023; Lin *et al.*, 2024).

3.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é uma técnica de caracterização microestrutural que opera por meio de um feixe de elétrons que varre a superfície do material, gerando imagens de alta resolução capazes de revelar detalhes da topografia, morfologia e distribuição das fases presentes no compósito cimentício. Essa técnica auxilia na avaliação da interface entre as partículas do agregado e a matriz de cimento, bem como na observação de fenômenos relacionados à compactação, adesão e formação da zona de transição interfacial (ZTI), elementos fundamentais para compreensão do comportamento mecânico e de durabilidade do concreto (Bamigboye *et al.*, 2021; Zhu *et al.*, 2024).

A análise por MEV foi realizada no laboratório do curso técnico de Química do Instituto Federal de Alagoas (IFAL), Campus Maceió. Amostras dos corpos de prova referentes às formulações em estudo foram fraturadas e previamente secas em estufa para análise das superfícies internas. As imagens foram obtidas em microscópio eletrônico de varredura modelo VEGA3 TESCAN, equipado com detector SE, operando a 10,0 kV, com distância de trabalho de 20,5–21,8 mm. Em um porta-amostra circular de aço (stub) foram colocadas tiras finas de carbono dupla face, para fazer o depósito das diferentes amostras secas formuladas. A metalização da amostra foi realizada em metalizador (“Sputter Coater”) modelo Quorum Q150R ES com alvo de ouro durante 2 minutos (Corrente de 10 mA). As magnificações utilizadas variaram entre 300× e 1.360×, com escalas de 100–20 µm, permitindo examinar a morfologia das partículas de conchas incorporadas, a interface com a matriz cimentícia e a eventual presença de vazios e descontinuidades na estrutura do compósito. Foi utilizado o software Essence da Tescan para tratamentos dos dados obtidos.

A utilização da MEV na presente pesquisa possibilitou correlacionar os resultados microestruturais com os resultados tecnológicos dos ensaios de absorção de água e resistência à compressão, permitindo interpretar, em nível microscópico, os efeitos da substituição do agregado miúdo pelo pó de conchas de *Limnoperna fortunei* no concreto produzido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As seções a seguir apresentam os resultados obtidos nas etapas de caracterização e avaliação tecnológica e microestrutural das formulações de concreto contendo diferentes teores de substituição do agregado miúdo pelo pó de conchas de *Limnoperna fortunei*. Os resultados são apresentados por meio de tabelas, gráficos e micrografias, acompanhados das respectivas análises, interpretações e comparações com o traço de referência.

A discussão foi conduzida com base nos valores obtidos experimentalmente nos ensaios normalizados realizados neste estudo e fundamentada na literatura, permitindo estabelecer relações entre os parâmetros analisados, composição mineralógica, comportamento térmico, absorção de água, resistência à compressão e microestrutura e o efeito da incorporação do subproduto no desempenho do concreto.

4.1 Análise granulométrica

As massas retidas em cada peneira, assim como a massa retida no fundo das peneiras podem estar apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados do ensaio de granulometria por peneiramento

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO				
OBS.:		PESO DA AMOSTRA: 1.000g		
PENEIRA (mm) (SÉRIE NORMAL)	PESO RETIDO (g)	% PESO RETIDO	% PESO RETIDO ACUMULADO	%PASSANDO
4,8	8	0,8	0,8	99,2
2,4	60	6,0	6,8	93,2
1,2	640	64,0	70,8	29,2
0,6	160	16,0	86,8	13,2
0,4	100	10,0	96,8	3,2
0,15	32	3,2	100	0
FUNDO	1000	100,0	0	0

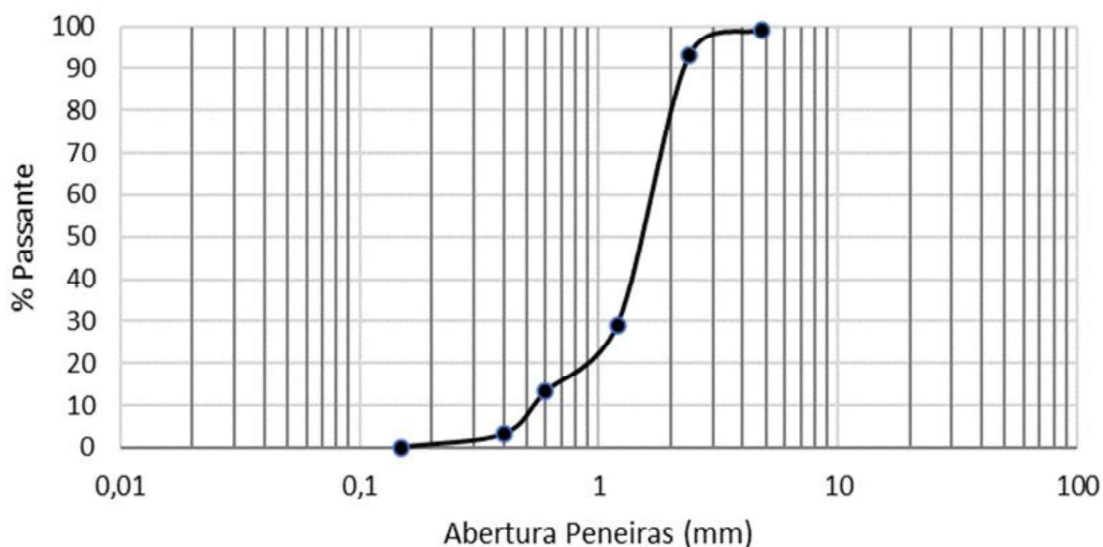
Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Observou-se que 64,0% da massa total ficou retida na peneira de 1,2 mm, indicando que a maior parte do material é composta por partículas de granulometria média. As peneiras superiores (4,8 mm e 2,4 mm) apresentaram baixos percentuais retidos, somando apenas 6,8%, o que demonstra a falta de partículas graúdas. Por outro lado, as frações mais finas,

correspondentes às peneiras de 0,6 mm, 0,4 mm e 0,15 mm, totalizaram 29,2% da massa, sendo apenas 3,2% constituídas por partículas muito finas.

Através desses dados obtidos, foi possível elaborar a curva granulométrica, conforme a Figura 14.

Figura 14: Curva de granulometria



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Observa-se que a curva apresenta inclinação acentuada em uma faixa restrita de abertura de peneiras, indicando concentração significativa de partículas em dimensões intermediárias. De acordo com a NBR 6502 (2022) – Solos e Rochas, esse comportamento confirma que o pó de mexilhão dourado utilizado como substituto do agregado miúdo é constituído predominantemente por partículas de granulometria média.

Resultados semelhantes foram reportados por Souza e Dal Molin (2019), que analisaram a influência da granulometria dos agregados na produção de elementos de concreto e observaram que materiais com partículas de granulometria média podem ser tecnicamente viáveis, desde que atendam aos limites normativos e sejam acompanhados de ajustes no traço, visando melhorar o empacotamento e o desempenho mecânico. Da mesma forma, Almeida *et al.* (2018) identificaram curvas granulométricas concentradas em faixas intermediárias ao estudarem agregados alternativos para blocos de concreto, destacando a necessidade de correção granulométrica para garantir conformidade com os requisitos normativos. Dessa

forma, o material pode ser empregado na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria, desde que sejam realizados ajustes adequados na dosagem ou combinação com outros agregados, de modo a atender aos requisitos de resistência e desempenho estabelecidos pela NBR 6136, ABNT 2016.

4.2 Fluorescência de Raios X (FRX)

A Tabela 5 apresenta a composição do pó de Mexilhão-dourado obtido por meio de análise química semiquantitativa de Fluorescência de Raios X, em percentual em relação à massa de óxido.

Tabela 5: Análise de FRX do pó do mexilhão-dourado

ÓXIDOS	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	Outros
(%)	62,95	18,93	8,46	4,60	2,26	1,21	0,78	0,88

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A partir da composição química do mexilhão dourado, apresentada na Tabela 1, verifica-se que a amostra é em sua maioria constituída por óxidos de cálcio, silício e alumínio. Além disso, a análise evidencia a presença de outros elementos em menores proporções, como ferro (Fe), potássio (K), fósforo (P) e titânio (Ti). Dentre os elementos químicos identificados, destaca-se que o carbonato de cálcio corresponde ao principal componente da amostra analisada.

Estudos prévios, utilizando análise de fluorescência, também apontaram o cálcio como o principal elemento presente em diversas espécies de moluscos bivalves. Siqueira (2021), por exemplo, observou que mais de 90% do pó de concha da ostra *Crassostrea brasiliana* é composto por óxido de cálcio, com a presença de outros óxidos, como os de silício, estrôncio, alumínio e ferro, além de outros elementos em proporções menores.

A elevada concentração de carbonato de cálcio (calcita) nas conchas explica seu potencial de aplicação na produção de concretos, cimentos, argamassas e em obras de pavimentação (Evaniki, Hirata, Munaro, 2023). Conforme Silva *et al.* (2015), a identificação da presença e quantificação do carbonato de cálcio como aglomerante contribui para a avaliação da resistência mecânica e da durabilidade dos blocos, além de auxiliar na definição de pontos de controle que assegurem a qualidade e a segurança dos materiais de construção.

Resultados semelhantes foram obtidos por García *et al.* (2020), cuja análise de FRX de

resíduos calcários evidenciou concentrações elevadas de CaO e presença secundária de SiO₂ e Al₂O₃ em proporções semelhantes às observadas neste estudo. A presença simultânea de SiO₂ e Al₂O₃ é particularmente relevante, visto que esses óxidos apresentam potencial de reatividade com hidróxidos liberados durante o processo de hidratação do cimento Portland, podendo contribuir para a formação de produtos cimentícios secundários e densificação da microestrutura, especialmente quando presentes em partículas finas (Zhu *et al.*, 2024).

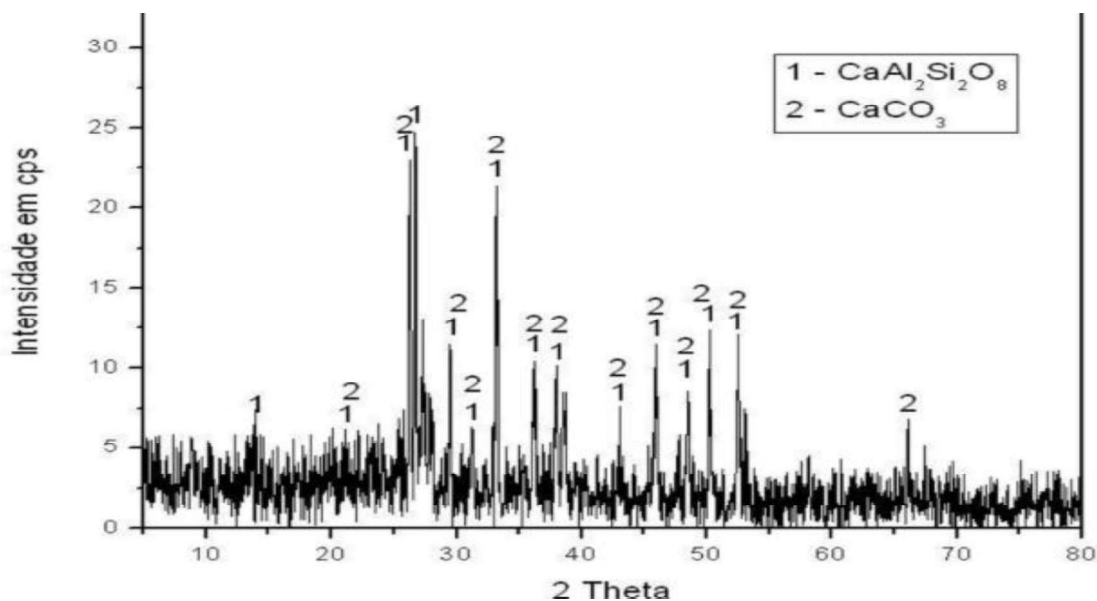
Martínez (2016), ao analisar a composição química das conchas de mexilhões provenientes da região da Galícia, na Espanha, identificou o teor de 95% de carbonato de cálcio. Esse elevado percentual evidencia o potencial dessas conchas como fonte alternativa de carbonato de cálcio para aplicações na fabricação de materiais de construção.

De acordo com análise por fluorescência de raios X, referida por Silva (2010), as conchas de marisco apresentaram um teor de 56,04% de CaO, 43,07% de CO₂, além de traços de outros óxidos. O óxido de cálcio pode estar presente na estrutura cristalina dos minerais calcita ou aragonita, sendo necessária a análise mineralógica por difração de raios X para diferenciá-los com precisão.

4.3 Difração de Raios X (DRX)

Essa análise permitiu identificar as fases cristalinas presentes na amostra do pó das conchas do mexilhão-dourado. O difratograma resultante dessa análise está representado na Figura 15.

Figura 15: Difratograma do mexilhão dourado em pó



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

O difratograma apresenta picos bem definidos na região de 10° a 70° (2θ), sendo possível identificar duas fases cristalinas principais: carbonato de cálcio (CaCO₃) e anortita (CaAl₂Si₂O₈). A identificação foi realizada pela correspondência dos valores de 2θ e intensidades relativas com as fichas do banco PDF-2 (ICDD), conforme sintetizado na Tabela 6.

Tabela 6: Picos de difração de raios X com respectivas fases identificadas

2θ (°)	Intensidade relativa (cps)	Fase atribuída
17,2	Baixa	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
23,1	Média	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
26,2	Média	CaCO ₃
29,4	Alta	CaCO ₃
33,2	Alta	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
36,1	Média	CaCO ₃
39,4	Alta	CaCO ₃
43,2	Média	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
47,5	Alta	CaCO ₃
50,1	Média	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
54,1	Média	CaCO ₃
57,3	Média	CaAl ₂ Si ₂ O ₈
60,3	Média	CaCO ₃

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Os resultados indicam que os picos mais intensos próximos a 29°, 36°, 39° e 47° (2θ) apresentam CaCO₃ – Calcita (forma cristalina do carbonato de cálcio). Os picos situados em torno de 17°, 23°, 33°, 43° e 50° (2θ) foram atribuídos à CaAl₂Si₂O₈ – Anortita (um feldspato do grupo dos plagioclásios). A intensidade dos picos sugere que CaAl₂Si₂O₈ é a fase majoritária, enquanto CaCO₃ é secundária.

Além disso, a ausência de picos largos sugere que a amostra possui baixo teor de material amorfo, reforçando sua composição predominantemente cristalina. Isso se confirma pela presença de picos finos e bem definidos que indicam que ambas as fases estão em estado cristalino bem ordenado, com baixo grau de amorfização.

A anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) é um alumino-silicato de cálcio comum em materiais de origem geológica e em resíduos industriais ricos em silicatos, como escórias, cinzas ou produtos cerâmicos. Os picos identificados com o número 1 mostram que essa fase está bem representada na amostra. Sua presença é confirmada por picos intensos localizados em torno de $2\theta = 28^\circ$ a 30° . A intensidade e a nitidez desses picos indicam um elevado grau de cristalinidade da fase.

Os picos identificados com o número 2 correspondem à calcita (CaCO_3) que é frequentemente encontrada em materiais de construção civil, como concreto, cal hidratada e corretivos de acidez, sendo identificada por picos secundários bem definidos, característicos da fase carbonática. Com base na composição da amostra e a coexistência dessas duas fases, indica que o material analisado pode ter aplicação na construção civil em material cerâmico, corretivos alcalinos e como componente de concreto reciclado.

Além da identificação das fases cristalinas, é importante destacar que suas propriedades intrínsecas podem influenciar diretamente o desempenho e a durabilidade dos blocos de concreto produzidos. Enquanto a calcita apresenta maior estabilidade termoquímica e baixa solubilidade em meios alcalinos, a aragonita e os alumino-silicatos cálcicos, como a anortita, possuem maior suscetibilidade à dissolução em ambientes de elevado pH, como a matriz cimentícia durante e após a hidratação do cimento Portland. Estudos demonstram que a dissolução parcial dessas fases pode levar à formação de microvazios e ao aumento da porosidade capilar do compósito (Bamigboye *et al.*, 2021; García *et al.*, 2020). A maior porosidade está associada ao aumento da absorção de água, redução da resistência mecânica e redução da vida útil do material, uma vez que concretos mais permeáveis são mais vulneráveis a ciclos de umedecimento e secagem, variações térmicas e penetração de agentes agressivos (Zhu *et al.*, 2024).

Portanto, a coexistência de anortita e calcita observada nas conchas de mexilhão-dourado fornece explicação microestrutural plausível para o desempenho obtido experimentalmente: formulações com teores moderados de substituição tendem a manter desempenho satisfatório, enquanto percentuais elevados intensificam a dissolução de fases menos estáveis, aumentam a porosidade e conseqüentemente podem comprometer a resistência mecânica e a durabilidade dos blocos de concreto ao longo do tempo.

Assim, como outros moluscos bivalves ricos em carbonato de cálcio, a concha de Mexilhão-dourado também apresenta essas estruturas cristalinas (Henrique, 2022). Trentini (2020) corroborou esses resultados, ao realizar análises de difratometria de Raios X em conchas

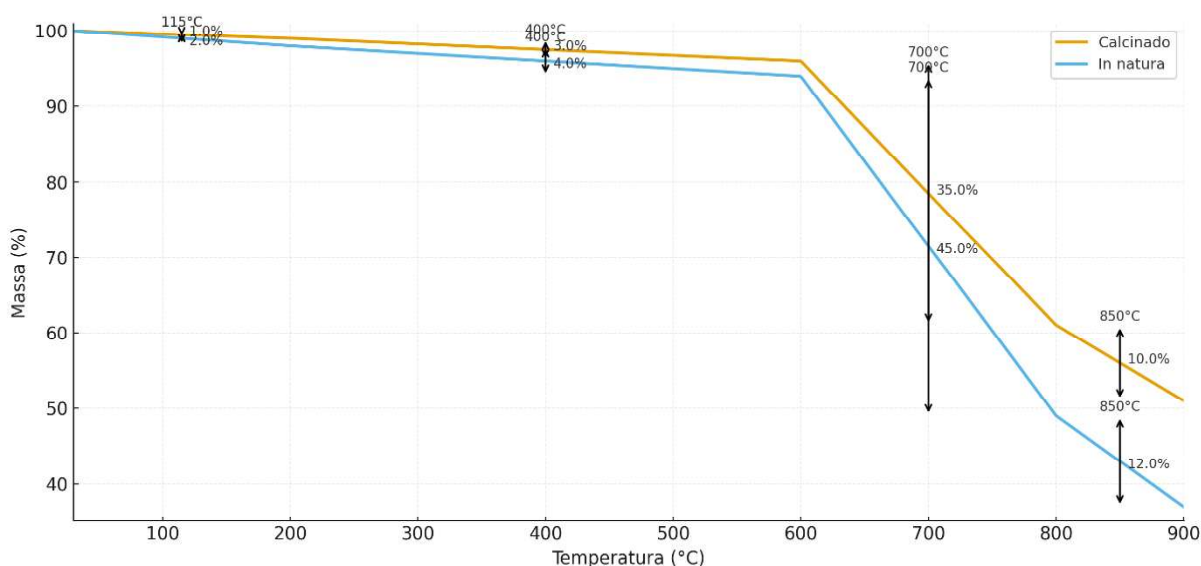
de mexilhões e ostras, identificando os mesmos picos característicos que indicam a presença dessas variedades polimórficas de carbonato de cálcio.

4.4 Análise Termogravimétrica (TGA)

As curvas de perda de massa em função da temperatura dos componentes puros e de seus compósitos são evidenciadas pelo comportamento termogravimétrico da concha de Mexilhão-dourado comparando as amostras *in natura* e calcinadas, conforme mostrado na Figura 16.

A comparação entre as duas amostras permite compreender melhor o comportamento térmico do material diante do aumento de temperatura.

Figura 16: Análise termogravimétrica da concha de Mexilhão-dourado



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A análise das perdas de massa indicou que a amostra *in natura* apresentou valores superiores em todas as faixas de temperatura, revelando maior instabilidade térmica e maior conteúdo de carbonatos não transformados. Na faixa de 30–200 °C, a perda esteve associada à eliminação de umidade e compostos voláteis, mais acentuada na amostra *in natura*. Entre 200–600 °C, observaram-se perdas discretas, atribuídas a transformações secundárias, ainda assim com maior intensidade na amostra *in natura*. O principal evento ocorreu entre 600–800 °C, correspondente à descarbonatação, no qual a amostra *in natura* apresentou perda de 45%, enquanto a calcinada registrou 35%, confirmando que o pré-tratamento térmico reduziu significativamente o conteúdo de carbonato de cálcio. Na faixa final, entre 800–900 °C, as

perdas foram menores, mas permaneceram superiores na amostra in natura (12% em comparação a 10%).

A perda de massa na amostra previamente calcinada foi deslocada para temperaturas mais altas (800° - 900°) Esse comportamento possivelmente está associado à degradação térmica do carbonato de cálcio (CaCO_3) em óxido de cálcio (CaO), já iniciada durante a etapa de calcinação. Por outro lado, na amostra in natura, observa-se um evento térmico bem definido que provavelmente está relacionado à liberação de dióxido de carbono (CO_2) e à subsequente formação de óxido de cálcio. Estes resultados indicam que a temperatura de 800 °C é adequada para promover a calcinação eficiente do material. Além disso, o comportamento térmico evidencia o potencial aproveitamento das conchas como matéria-prima rica em CaO .

Segundo Pereira (2022), a reação de calcinação entre reagentes e produtos em estado padrão torna-se espontânea a partir de 178,2 kJ (298 °C). Assim, os resultados termodinâmicos indicam que a perda de massa observada após o pico nas curvas térmicas está relacionada à decomposição térmica (calcinação) do carbonato de cálcio, formado durante o processo de captura de dióxido de carbono pelo óxido de cálcio. Dessa maneira, confirma-se que a reação é favorecida em temperaturas mais elevadas. De acordo com Rodriguez Álvaro (2014), o principal processo térmico ocorre na faixa de temperatura entre 670 °C e 800 °C, correspondendo à descarbonatação do carbonato de cálcio, com perdas de massa em torno de 40%. O autor destaca que, para carbonato de cálcio com pureza de 100%, o cálculo estequiométrico indica perda de massa de aproximadamente 43,9% nesse intervalo, o que evidencia a elevada concentração desse composto nas amostras de conchas de sururu trituradas.

Corroborando esses dados, Rocha *et al.* (2004) e Loffi (2014), em estudos com conchas de sururu e ostras, respectivamente, também associam a perda de massa à decomposição térmica do carbonato de cálcio, resultando na formação de óxido de cálcio e liberação de dióxido de carbono. Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo demonstram comportamento térmico similar ao observado em pesquisas com conchas de outros moluscos bivalves.

4.5 Absorção de água por imersão e Resistência à compressão

Os resultados médios do ensaio de absorção de água por imersão e resistência à compressão encontram-se descritos na Tabela 7.

Tabela 7: Valores médios do comportamento mecânico do concreto

FORMULAÇÃO	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA)
0% - FR	2,34	26,80
10% - FE10	2,59	22,63
20% - FE20	3,55	8,44
30% - FE30	4,64	7,88
40% - FE40	6,11	4,48
50% - FE50	7,16	3,86

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Esses resultados foram submetidos à análise estatística no *software Rbio*, que possibilitou avaliar, com maior precisão, o efeito dos diferentes teores de substituição do pó do mexilhão-dourado nas propriedades do concreto desenvolvido.

A Tabela 8 apresenta o resumo estatístico das variáveis de absorção de água e resistência à compressão, com suas respectivas médias e agrupamentos pelo teste de Scott-Knott. As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($P > 0,05$) e CV (%) significa o coeficiente de variação.

Tabela 8: Resumo estatístico do comportamento do concreto

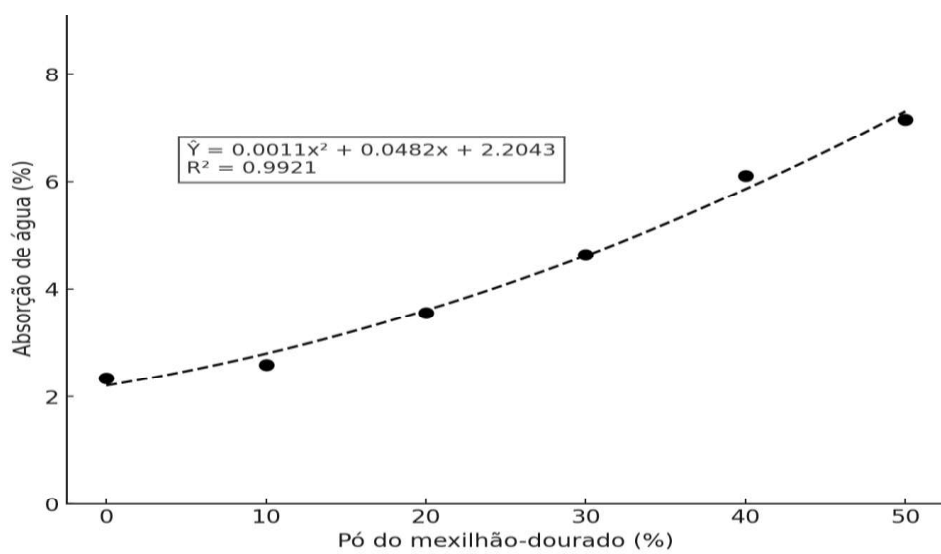
FORMULAÇÃO	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA)
0% - FR	2,34 e	26,80 a
10% - FE10	2,59 e	22,63 b
20% - FE20	3,55 d	8,44 c
30% - FE30	4,64 c	7,88 c
40% - FE40	6,11 b	4,48 d
50% - FE50	7,16 a	3,86 d
CV (%)	5,98	8,72

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Tanto para absorção de água quanto para resistência à compressão, o efeito dos tratamentos foi significativo ($p < 0,01$), confirmando que a variação entre os teores de substituição influenciou de forma consistente ambas as propriedades.

A absorção apresentou comportamento de crescimento de forma gradual, conforme a Figura 17. Os tratamentos 0% e 10% ficaram juntos no grupo “e” (menores valores), enquanto 50% apresentou a maior média (7,16%), isolado no grupo “a”.

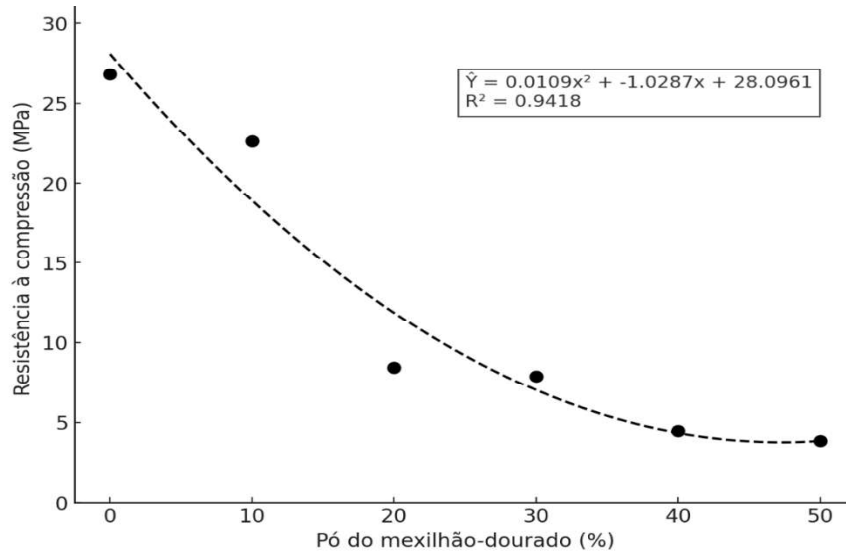
Figura 17: Ensaio de absorção de água



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Em relação à resistência à compressão, o traço de referência (0%) apresentou a maior média (26,80 MPa), isolado no grupo “a”. O teor de 10% (22,63 MPa) ficou em grupo próprio (“b”), enquanto 20% e 30% formaram o grupo “c”, e 40% e 50% o grupo “d”. Isso demonstra uma queda progressiva e estatisticamente significativa da resistência, conforme destacado na Figura 18. Este resultado foi ajustado a um modelo quadrático, com nível de significância ($P < 0,01$) e a confiabilidade obtida foi de $R^2 = 0,9418$.

Figura 18: Ensaio de resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A formulação de referência (0%), composta apenas por areia natural, apresentou a maior resistência à compressão (26,80 MPa), cerca de 8% acima do valor projetado (25 MPa). Esse desempenho superior pode ser explicado pela margem de segurança do processo de dosagem, pela qualidade dos materiais e pelas condições adequadas de adensamento e cura. Destaca-se que valores acima do projetado são comuns, pois a dosagem é definida pela resistência característica (f_{ck}), enquanto os ensaios expressam a resistência média (f_{cm}).

Com base nos resultados obtidos das demais formulações, observou-se uma redução significativa da resistência à compressão à medida que aumentam os teores de substituição por concha de mexilhão. Essa condição compromete a aderência entre a pasta de cimento e o agregado, resultando em um concreto com resistência inferior à mistura de referência (Martínez-García *et al.*, 2017).

Embora tenha sido observada redução progressiva da resistência mecânica com o aumento do teor de substituição do agregado miúdo pelo pó das conchas de mexilhão-dourado, os resultados indicam que todas as formulações avaliadas são tecnicamente viáveis, uma vez que atendem aos critérios normativos estabelecidos pela NBR 6136 da ABNT (2016) para blocos vazados de concreto. De acordo com essa norma, os blocos destinados à Classe A (alvenaria estrutural) devem apresentar resistência característica à compressão mínima de 6,0 MPa e absorção de água máxima de 10%; para a Classe B (alvenaria estrutural acima do nível do solo ou alvenaria de vedação), a resistência mínima exigida é de 4,0 MPa, com absorção

máxima de 10%; enquanto para a Classe C (alvenaria de vedação) exige-se resistência mínima de 3,0 MPa e absorção de água máxima de 12%.

Nesse contexto, verifica-se que as formulações com até 30% de substituição atendem integralmente aos requisitos da Classe A, sendo, portanto, adequadas para aplicação em alvenaria estrutural. As formulações com 40% de substituição, embora apresentem resistência inferior às da Classe A, permanecem viáveis do ponto de vista normativo, enquadrando-se na Classe B. Já a formulação com 50% de substituição atende aos critérios mínimos da Classe C, sendo indicada para elementos de vedação.

Observa-se ainda que a absorção de água aumenta gradualmente com o teor de substituição, porém permanece abaixo dos limites normativos em todas as formulações, o que indica baixa porosidade aparente e sugere potencial desempenho satisfatório quanto à durabilidade dos blocos produzidos.

Em relação ao concreto, Liao *et al.* (2022), relatou que, com base em análises mecânicas e de durabilidade, recomendam a substituição da areia de rio por conchas em proporções entre 10% e 30%. Corrobora Menezes *et al.* (2022) afirmando que substituições de até 20% por conchas residuais têm apresentado resultados positivos, indicando seu potencial como uma alternativa sustentável para aplicação em concretos e argamassas.

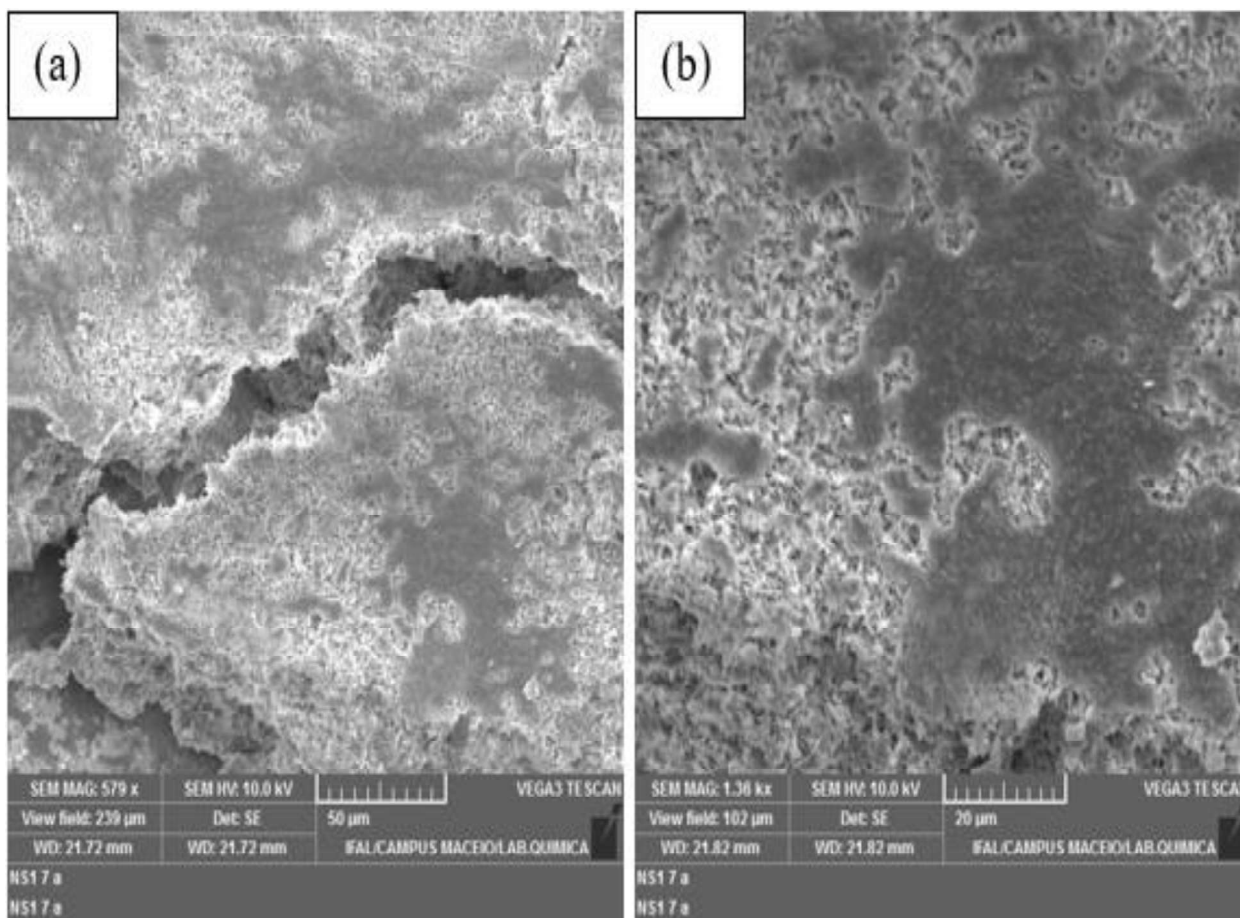
A relação entre absorção de água e resistência à compressão observada neste estudo reforça essa interpretação. O aumento gradual da absorção de água indica incremento da porosidade acessível, à qual está diretamente associada à redução da resistência mecânica, uma vez que a presença de vazios facilita a concentração de tensões e a propagação de fissuras sob carregamento. Estudos recentes demonstram que existe correlação direta entre absorção de água e porosidade efetiva em concretos com agregados alternativos, sendo a absorção um indicador indireto, porém confiável, do grau de conectividade dos poros (Liao *et al.*, 2022; Lin *et al.*, 2024). Dessa forma, ainda que a porosidade não tenha sido quantificada diretamente por métodos específicos, os resultados de absorção permitem inferir o comportamento microestrutural do material.

Assim, a análise integrada dos resultados químicos, mineralógicos, microestruturais e tecnológicos demonstra que substituições moderadas, de até 30%, promovem um equilíbrio entre sustentabilidade e desempenho, mantendo a integridade da matriz cimentícia e da ZTI. Em contrapartida, teores mais elevados intensificam os efeitos microestruturais adversos, como aumento da porosidade e fragilização da interface, justificando a redução progressiva da resistência à compressão observada experimentalmente.

4.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (Mev)

A Figura 19 apresenta a formulação de referência (0%), na qual se observa uma matriz cimentícia densa e porosidade reduzida. Na Figura 19a observa-se a interface com poros isolados, enquanto a Figura 19b destaca a matriz densa e homogênea, favorecendo boa aderência e justificando o maior desempenho mecânico obtido.

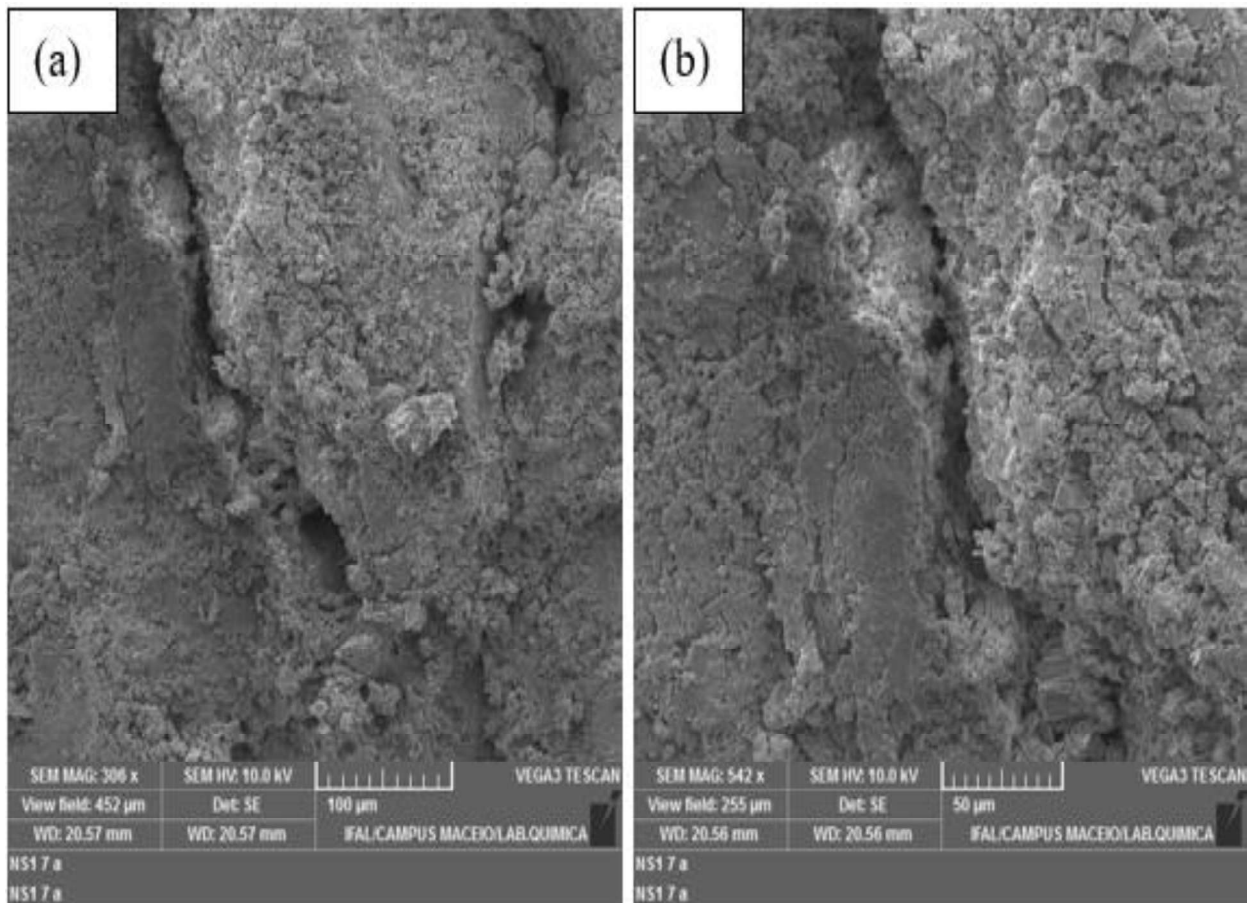
Figura 19: Micrografias da formulação 0%, com ampliações de (a) 579× e (b) 1,36 k×



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Na formulação com 10% de substituição (Figura 20), nota-se o aumento da porosidade intergranular. A Figura 20a evidencia um poro aberto, enquanto a Figura 20b mostra uma Zona de Transição Interfacial (ITZ - Interfacial Transition Zone) com microfissura, indicando aderência inferior ao traço de referência.

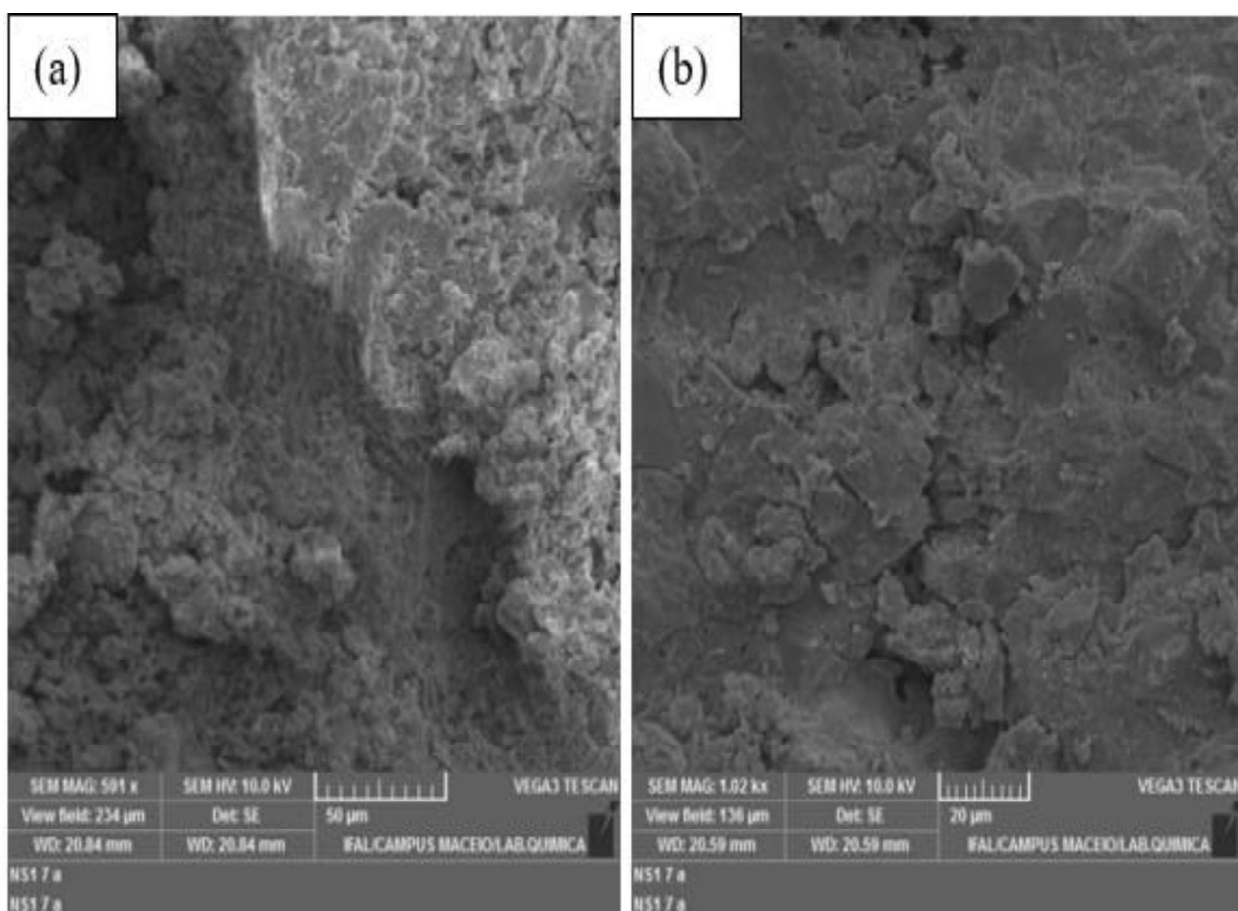
Figura 20: Micrografias da formulação 10%, com ampliações de (a) 306× e (b) 542×



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Na formulação com 20% de substituição (Figura 21), a microestrutura se mostra mais heterogênea. A Figura 21a apresenta poros de maior dimensão, e a Figura 21b evidencia a aderência parcial da pasta em partículas lamelares.

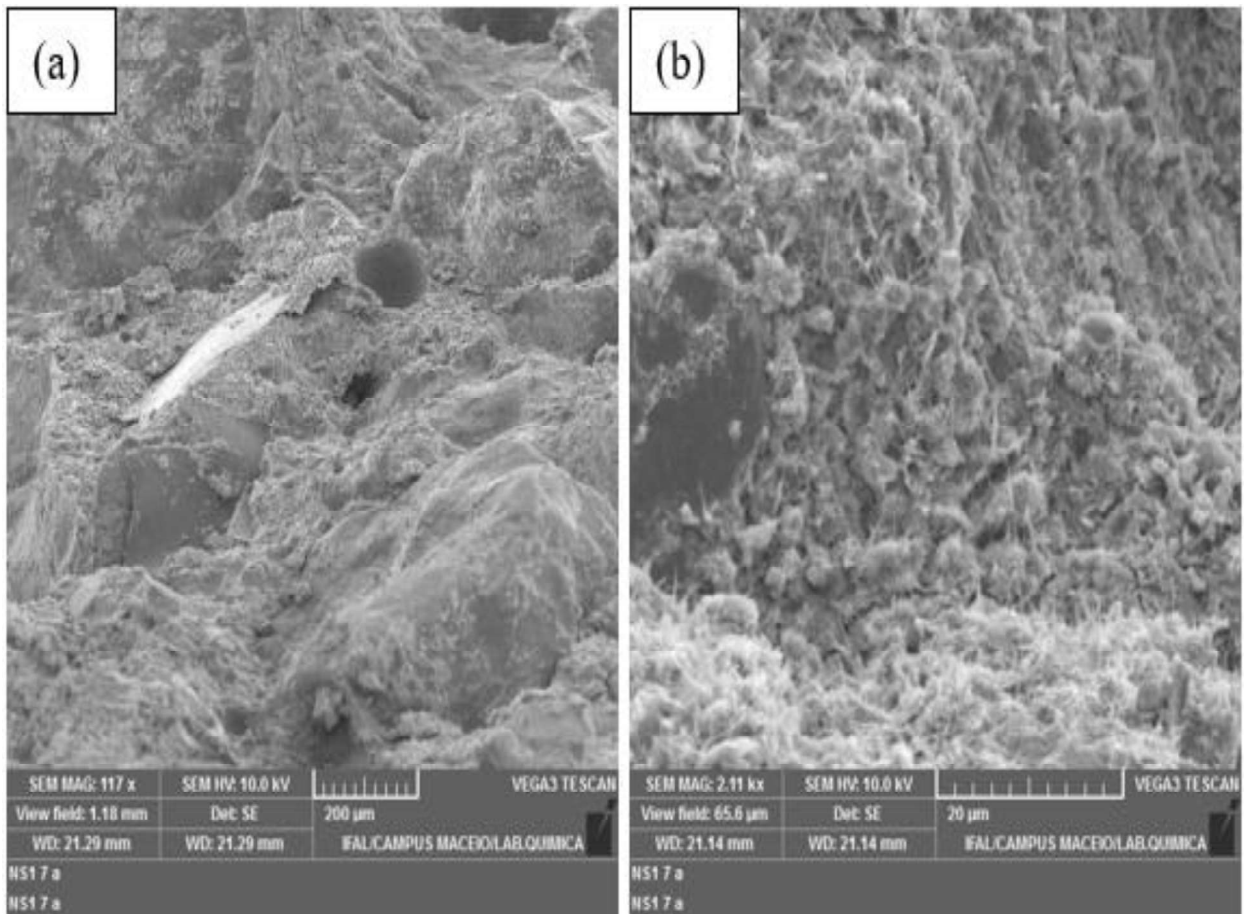
Figura 21: Micrografias da formulação 20%, com ampliações de (a) 591× e (b) 1,02k×



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Com 30% de substituição (Figura 22), observa-se um aumento significativo da porosidade efetiva. A Figura 22a revela vazios conectados, enquanto a Figura 22b mostra microfissuras bem definidas na ITZ, evidenciando maior fragilidade microestrutural.

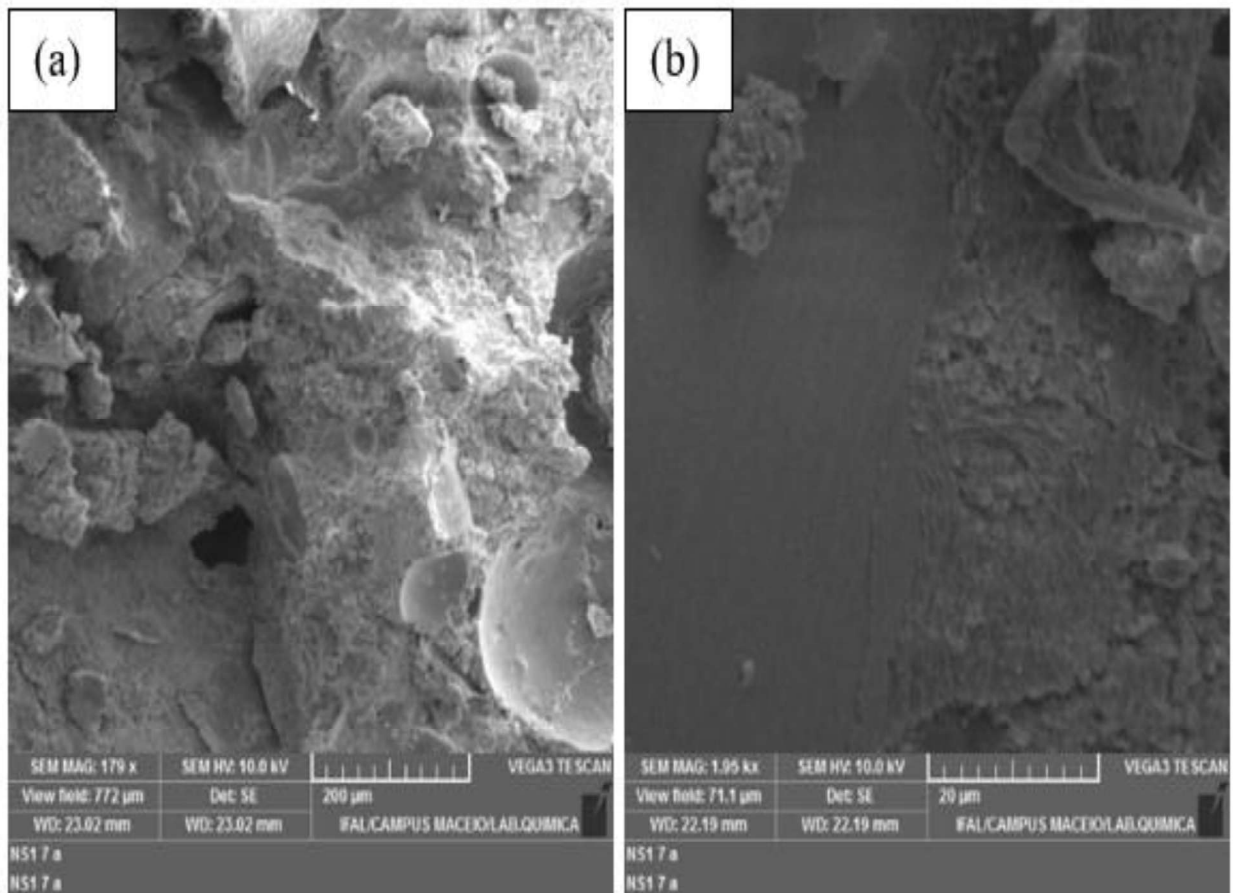
Figura 22: Micrografias da formulação 30%, com ampliações de (a) 117 \times e (b) 2,11 k \times



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Na formulação com 40% de substituição (Figura 23), a porosidade generalizada é ainda mais evidente. A Figura 23a mostra regiões de vazio, enquanto a Figura 23b apresenta partículas mal envolvidas, reforçando a baixa coesão da ITZ.

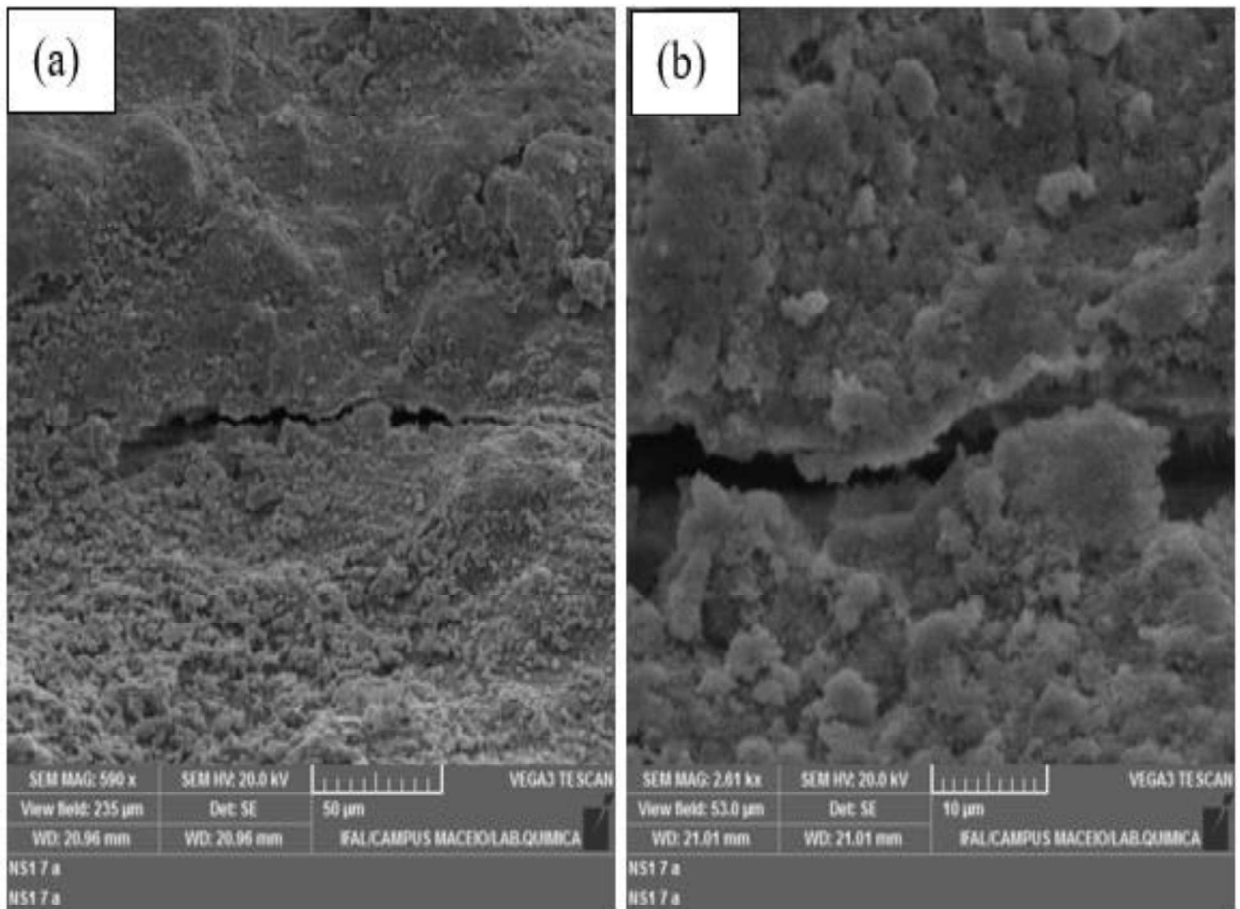
Figura 23: Micrografias da formulação 40%, com ampliações de (a) 179× e (b) 1,95 k×



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Por fim, a formulação com 50% de substituição (Figura 24) apresenta a microestrutura mais crítica. A Figura 24a mostra grandes vazios interconectados, enquanto a Figura 24b revela a fraca aderência e desagregação da ITZ, em concordância com os baixos valores de resistência mecânica observados.

Figura 24: Micrografias da formulação 50%, com ampliações de (a) 590× e (b) 2,61 k×



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

De forma integrada, a análise das micrografias por MEV evidencia que o aumento do teor de substituição do agregado miúdo pelo pó das conchas de *Limnoperna fortunei* promove alterações progressivas na microestrutura do concreto, especialmente na Zona de Transição Interfacial (ITZ). A morfologia angulosa e lamelar das partículas de concha dificulta o empacotamento granular e compromete a continuidade da matriz cimentícia, favorecendo a formação de vazios e microfissuras, conforme observado nas formulações com substituição a partir de 20%. Esse comportamento é amplamente relatado na literatura para concretos contendo biomateriais calcários, nos quais a menor afinidade superficial e a diferença de rigidez entre o resíduo e a pasta de cimento resultam em ITZ mais frágil e porosa (Bamigboye *et al.*, 2021; Zhu *et al.*, 2024). Além disso, a maior porosidade observada nas micrografias está em consonância com os valores crescentes de absorção de água, reforçando a relação direta entre microestrutura aberta e redução do desempenho mecânico. Estudos recentes demonstram que a conectividade dos poros e a qualidade da ITZ são fatores determinantes para a resistência à compressão e a durabilidade do concreto, sendo que incrementos excessivos de resíduos

calcários tendem a intensificar esses efeitos adversos (Liao *et al.*, 2022; Lin *et al.*, 2024). Dessa forma, os resultados microestruturais corroboram os ensaios tecnológicos, indicando que teores moderados de substituição permitem equilíbrio entre sustentabilidade e desempenho, enquanto substituições elevadas resultam em microestrutura altamente porosa, com impacto negativo sobre a resistência e a durabilidade dos blocos produzidos.

5 CONCLUSÕES

Diante do que foi exposto, verifica-se a viabilidade da incorporação do pó das conchas de mexilhão-dourado em substituição parcial ao agregado miúdo natural na produção de blocos vazados de concreto simples para alvenaria é tecnicamente viável, desde que respeitados os limites normativos de aplicação estabelecidos pela NBR 6136 (ABNT, 2016).

A caracterização físico-química das conchas de mexilhão-dourado revelou um elevado teor de carbonato de cálcio (CaCO_3), o que reforça seu potencial como material na matriz cimentícia. As análises de difração de raios X, fluorescência de raios X e termogravimetria, confirmaram a composição predominantemente mineral da concha, com estabilidade térmica e estrutura compatível com a interação físico-química com o cimento Portland.

Apesar do seu crescimento gradual, todas as formulações apresentaram valores de absorção de água inferiores ao limite ($\leq 10\%$) estabelecido pela NBR 6136 (ABNT, 2016). Esse comportamento indica que, apesar do incremento da porosidade, os blocos mantiveram valores aceitáveis de absorção, compatíveis com os requisitos normativos para as diferentes classes de aplicação.

Quanto à resistência à compressão, observou-se redução gradual com o aumento do teor de substituição, porém mantendo-se a conformidade normativa. A formulação com 10% de substituição apresentou resistência média de 22,62 MPa, valor superior ao mínimo exigido para blocos da Classe A ($\text{fbk} \geq 8,0$ MPa), destinados à alvenaria estrutural. Os teores de 20% e 30% resultaram em resistências de 8,44 MPa e 7,88 MPa, respectivamente, permanecendo dentro do limite da Classe A, ainda que com reduções significativas em relação ao traço de referência. A substituição de 40% conduziu a uma resistência de 4,48 MPa, enquadrando o material na Classe B ($4,0 \leq \text{fbk} < 8,0$ MPa), indicada para alvenaria estrutural leve ou aplicações com menores exigências mecânicas. Já o teor de 50% apresentou resistência de 3,85 MPa, atendendo apenas ao critério mínimo da Classe C ($\text{fbk} \geq 3,0$ MPa), o que restringe sua utilização a blocos de vedação.

As análises microestruturais por microscopia eletrônica de varredura (MEV) corroboraram os resultados mecânicos. Nos teores de substituição entre 10% e 30%, observaram-se poros de maior dimensão, partículas com morfologia lamelar e microfissuras na zona de transição interfacial (ITZ), justificando a redução gradual da resistência. Para os teores mais elevados (40% e 50%), a microestrutura apresentou-se significativamente mais porosa e

frágil, com ITZ debilitada, explicando a queda acentuada da resistência mecânica e o aumento da absorção de água.

Dessa forma, conclui-se que o limite tecnicamente mais adequado para aplicações estruturais situa-se em até 30% de substituição, correspondente à Classe A da NBR 6136, enquanto substituições de 40% e 50%, embora viáveis do ponto de vista normativo, devem ser restritas às Classes B e C, respectivamente, conforme o nível de desempenho exigido. O uso do pó das conchas de mexilhão-dourado mostra-se, portanto, uma alternativa tecnicamente consistente e ambientalmente responsável para a produção de blocos de concreto, promovendo a valorização de um resíduo abundante e de baixo aproveitamento.

Por fim, embora este estudo tenha se concentrado na aplicação do resíduo na fabricação de blocos vazados de concreto, destaca-se que o pó das conchas de mexilhão-dourado apresenta potencial para diversas outras aplicações, tais como compósitos leves, sistemas de filtragem de água, corretivos agrícolas, plásticos biodegradáveis, aplicações arquitetônicas e artísticas, geração de bioenergia e suplementação mineral na alimentação animal. Essas possibilidades reforçam a relevância de investigações futuras voltadas à ampliação e diversificação do uso desse resíduo, contribuindo para práticas mais sustentáveis na engenharia e na indústria da construção civil.

6 REFERÊNCIAS

ACCHAR, W.; MARQUES, S. K. J. Ecological soil-cement bricks from waste materials. 1. ed. Berlim: SpringerBriefs in **Applied Sciences and Technology**. 2016. 85p.

ADAME, A. **Análise direta de folhas de soja por espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS) e por fluorescência de raios X dispersiva em energia (EDXRF)**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências - Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

AHSAN, M. H. *et al.* Mechanical behavior of high-strength concrete incorporating seashell powder at elevated temperatures. **Journal of Building Engineering**, v. 50, p. 104226, jun. 2022.

AKHTAR, A.; SARMAH, A. K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: a global perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 262–281, 2018.

ALMEIDA, L. F. *et al.* Estudo da influência da granulometria de agregados alternativos em blocos de concreto. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, 2018.

ANDRADE, P. D. B.; RAZZOLINI, E.; BAGGIO, R. A. I See Golden Mussel! They are everywhere! Environmental DNA supports widespread dissemination of *Limnoperna fortunei* in Paraná State, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64, spe, 2021. DOI: 10.1590/1678-4324-75years-2021210149.

ARAÚJO, W. M. P. *et al.* Aproveitamento do pó de conchas de mariscos na confecção de concreto. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 7, v. 2, p. 119–133, 2022. DOI:10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/po-de-conchas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Método ABCP para determinação da resistência à compressão de corpos de prova de concreto**. São Paulo, ABCP, 1987.

_____. **Dosagem do concreto: método ABCP**. São Paulo: ABCP, 1995. (Estudo Técnico n. 1).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**. Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 5738**. Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 5739**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 6136**. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6502**. Solos e Rochas - Terminologia. Rio de Janeiro, 2022.

AVELINO, P. G.; AVELINO, D. F. G.; SILVA, T. de A. e. Impactos provocados pelo descarte do *Limnoperna fortunei* em Pisciculturas do Sub-médio Rio São Francisco. **Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia**, v. 7, n. 2, p. 282–288, 2019.
DOI:10.16891/2317-434X.v7.e2.a2019.pp282-288

BAMIGBOYE, G. O. *et al.* Mechanical and durability assessment of concrete containing seashells: a review. **Cogent Engineering**, v. 8, 2021. DOI: 10.1080/23311916.2021.1883830.

BAMIGBOYE, G. O. *et al.* Sustainable use of seashells as binder in concrete production: prospect and challenges. **Journal of Building Engineering**, v. 34, p. 101864, 2021.

BARBOSA, N. *et al.* *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): first record in the São Francisco River basin, Brazil. **Check List**, v. 12, e1846, 2016. DOI: 10.15560/12.1.1846.

BATISTA, B. B. *et al.* Bloco Verde – reaproveitamento de resíduos da construção civil e de conchas de ostras e mariscos. In: **CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE**, 1., 2009, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves, 2009.

BEDRAN-MARTINS, A. M.; LEMOS, M. C. Politics of drought under Bolsa Família program in Northeast Brazil. **World Development Perspectives**, v. 7–8, p. 15–21, 2017. DOI: 10.1016/j.wdp.2017.10.003.

BERTÃO, A. P. S. *et al.* Ecological interactions between invasive and native fouling species in the reservoir of a hydroelectric plant. **Hydrobiologia**, 848(21), 5169-5185, 2021. DOI: 10.1007/s10750-021-04706-7.

BEZERRA, U. T. A. *et al.* Production of filler aggregate from waste of bivalves molluscs shells. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 5, p. 363–367, 2011. DOI:10.17265/1934-7359/2011.04.008

BEZUR, A. *et al.* Handheld XRF in cultural heritage : a practical workbook for conservators. **The Getty Conservation Institute**, 2020.

BOICKO, A. L., HOTZA, D. & SANTANNA, F. S. P. Utilização de Conchas Da Ostra *Crassostrea gigas* Como Carga Para Produtos de Policloreto de Vinila (PVC). IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental.

BOLTOVSKOY, D. *et al.* Dispersão e impacto ecológico do bivalve invasor *Limnoperna fortunei*. **Biological Invasions**, v. 8, p. 947–963, 2006. DOI: 10.1007/s10530-005-5107-z.

BRAGAGNOLO, L.; KORF, E. P. Aplicação de resíduos na fabricação de concreto: como técnicas analíticas de caracterização podem auxiliar na escolha preliminar do material mais adequado? **Matéria**, v. 25, n. 1, e12560, 2020. DOI: 10.1590/S1517-707620200001.0885.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Prevenção, Controle e Monitoramento do Javali (Sus scrofa) no Brasil**. Brasília, 2017. Disponível em: 2017-PlanoJavali-2017.2022.pdf. Acesso em: 05 de abril., 2025.

BUTTLER, A. M.. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CALDAS, A. Uso de conchas de marisco na fabricação de blocos vazados de concreto simples para alvenaria. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, p. 248–257, 2018. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.005.0022.

CARLTON, J.T.; RUIZ, G.M. Vector science and integrated vector management in bioinvasion ecology: conceptual frameworks. In.: MONEY, H. A.; Mcneely, J.; NEVILLE, L. E.; SCHEI, P. J. WAAGE J. K. (Ed.) *Invasive alien species: a new synthesis*. Covelo, Califórnia: Island Press, 2004.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 5. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2024.

CBEIH, Centro de Bioengenharia de Espécies Invasoras de Hidrelétricas. **Base colaborativa de dados sobre invasões biológicas**. Disponível em: <base.cbeih.org.> Acesso em: abril de 2025.

CHAKRABORTY, K.; ALEGRIA, M. Compostos de alto valor de moluscos de ecossistemas marinhos e estuarinos como ingredientes alimentares funcionais promissores: uma visão geral. **Food Research International**, 137, 109637, 2020. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109637.

CHAGAS, R.A. *et al.* New bioinvasion in the Amazon: first record of the golden mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) in the Tocantins River (Eastern Amazon). **Actapesca**, 22, 5561, 2025. DOI:10.46732/Actafish.22.55-61.

CHEN, B. *et al.* Improving the mechanical properties of mussel shell aggregate concrete. **Case Studies in Construction Materials**, v. 19, e02346, 2023. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e02346.

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. **Informações sobre a infestação do molusco mexilhão dourado em usinas do São Francisco**. Net. 2019. Disponível em: http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/dados/Lists/Pedido/Attachments/525418/RESPOSTA_PEDIDO_Chesf_Mexilhão%20Dourado%20Xing_Resposta%20SIC.pdf. Acesso em: 04 de abril, 2025.

CHUNG, S. Y. *et al.* Microstructural investigation of mortars incorporating cockle shell and waste fishing net. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, e01719, 2023. DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01719.

CANZI, C.; FIALHO, N. S.; BUENO, G. W. Monitoramento e ocorrência do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) na Hidrelétrica de Itaipu Binacional, Paraná (BR). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v. 5, n. 2, p. 117–122, 2014. DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2014.002.0011.

DARRIGRAN, G.; ARCHUBY, F.; MANSUR, M. C. D. Manejo integrado de espécies invasoras. In: MANSUR, M. C. D. *et al.* (Org.). **Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle**. Porto Alegre: Redes Editora, 2012. p. 383–388.

DARRIGRAN, G.; DAMBORENEA, C. Ecosystem engineering impact of *Limnoperna fortunei* in South America. **Zoological Science**, v. 28, p. 1–7, 2011. DOI: 10.2108/zsj.28.1.

DE JONG, Pieter *et al.* Hydroelectric production from Brazil's São Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability. **Science of the Total Environment**, [S.l.], v. 634, p. 1540–1553, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.256. Acesso em: 16 abr. 2025.

EDALAT-BEHBAHANI, A. *et al.* Sustainable approaches for developing concrete and mortar using waste seashell. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 25, n. 10, p. 1874–1893, 2019.

EVANIKI, D.; HIRATA, F. S.; MUNARO, V. O. Possibilidades de utilização da concha de ostra na construção civil: revisão bibliográfica. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 8, n. 5, p. 214–225, 2023.

FAGUNDES, T. F. da S.; SILVA, L. B. da. Potential use of shellfish waste: a review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. e43011326614, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i3.26614.

FORTUNATO, H.; FIGUEIRA, R.; SOUZA, R.; JUNIOR, N.; MELLO, V. Artificial intelligence as an ally to assess and manage the golden mussel (*Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)) bioinvasion. **Aquatic Sciences**, v. 87, art. 53, 2025. DOI: 10.1007/s00027-025-01177-z.

GAMA, I. D. M. da. **Estudo da eficiência de diferentes materiais contra a incrustação do mexilhão-dourado em piscicultura do reservatório Moxotó no Submédio São Francisco, Brasil**. 2020. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Pesca) – Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Paulo Afonso, 2020.

GARCÍA, M. *et al.* Characterization of calcium carbonate residues for use in concrete: correlation between TGA and XRD results. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 139, p. 3001–3013, 2020. DOI: 10.1007/s10973-019-08668-6.

GARCÍA, C. M. *et al.* Efeitos de agregados de conchas de mexilhão no comportamento hídrico de argamassas de cal aérea em diferentes idades. **Construction and Building Materials**, v. 252, art. 119113, 2020. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119113.

GOMES, P. C. C.; PEREIRA, F. A.; UCHÔA, S. B. B.; *et al.* Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 3, p. 267–280, 2017.

GUEDES, P. H. F. **Análise da viabilidade técnica do uso de resíduos sólidos em concreto**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Guaratinguetá, São Paulo, 2021.

HAMADA, H. M. *et al.* Effect of recycled seashells on concrete properties: a review.

Construction and Building Materials, v. 391, 131872, 2023. DOI:

10.1016/j.conbuildmat.2023.131872.

HASAN, K. *et al.* Investigation on the properties of mortar containing palm oil fuel ash and seashell powder as partial cement replacement. **Construction**, v. 1, n. 2, p. 50–61, 2021.

HASNAOUI, A. *et al.* A preliminary investigation of a novel mortar based on alkali-activated seashell waste powder. **Powder Technology**, v. 389, p. 471–481, 2021.

HELENE, P. *et al.* **Materiais de construção II: tecnologia da argamassa e do concreto – método IPT de dosagem**. Rio de Janeiro: IME, 2010.

HENRIQUE, D. C. **Produção de CaAl/HDL a partir de resíduo calcinado de concha de *Mytella falcata* para remoção dos corantes azul de metileno e alaranjado de metila**. 2023. 168 f. Tese (Doutorado em Ciências de Materiais) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Materiais, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Diagnóstico sobre a invasão do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) no Brasil: consulta pública**. Brasília, DF: IBAMA, 2017.

_____. **Plano nacional de prevenção, controle e monitoramento do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) no Brasil** / Diretoria de Uso Sustentável da Biodiversidade e Florestas. Brasília, DF: IBAMA, 2020. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/phocadownload/biodiversidade/mexilhao-dourado/2020/2020-11-10-Plano_Mexilhao_Dourado.pdf. Acesso em: 10 abr. 2024.

_____. **Plano nacional de prevenção, controle e monitoramento do coral-sol (*Tubastraea spp.*) no Brasil** [recurso eletrônico] / Diretoria de Uso Sustentável da Biodiversidade e Florestas. Brasília, DF: IBAMA, 2020. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/planonacional_coralsol.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **ODS – Metas nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, DF: IPEA, 2018. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/180801_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf. Acesso em: 18 mar. 2024.

ISLAM, M. R. Strength properties of eco-mortar made with oyster shell aggregate and ground granulated blast furnace slag and application to pavement material. 2015. **Thesis Ph.D. in Bioresources**, Mie University, Mie, 2015.

KARATAYEV, A. Y. *et al.* Parallels and contrasts between *Limnoperna fortunei* and species of *Dreissena*. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). *Limnoperna fortunei: the ecology, distribution and control of a swiftly spreading invasive fouling mussel*. Switzerland: Springer, 2015. p. 261–300.

KONG, J. *et al.* Recycling of waste oyster shell and recycled aggregate in the porous ecological concrete used for artificial reefs. **Construction and Building Materials**, v. 323, art. 126447, 2022.

LEI, L.; WANG, Q.; LI, X.; SHI, Z. Fabricação de revestimento de concreto anfifóbico com boa resistência à abrasão e propriedades antiaderentes de óleo utilizando pó de amêijoas residual. **Construction and Building Materials**, v. 327, art. 126862, 2022. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126862.

LIAO, Y. *et al.* The mechanical and durability indices for mortar containing crushed waste oyster shells. **Magazine of Concrete Research**, p. 1–12, 2022.

LIAO, Y. *et al.* Influence of the usage of waste oyster shell powder on mechanical properties and durability of mortar. **Advanced Powder Technology**, v. 33, n. 3, art. 103503, 2022. DOI: 10.1016/j.appt.2022.103503.

LIN, Y. *et al.* Effects of waste oyster shell replacing fine aggregate on the dynamic mechanical characteristics of concrete. **Scientific Reports**, v. 14, art. 19800, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-70505-4.

LOFFI, S. B. **Estudo sobre o comportamento de uma argamassa incorporada com cascas de ostras**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2014.

LUGO, F. M. C. **Extração e caracterização de carbonato de cálcio obtido a partir do mexilhão-dourado. 2023**. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2023.

MANSUR, M. C. D. *et al.* Quali-quantitative first data of golden mussel, *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), in Jacuí Delta, Guaíba Lake and Patos Lagoon and some invasion aspects. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, p. 75–84, 2003. DOI: 10.1590/S0101-81752003000100009.

MANSUR, M. C. D. *et al.* Morfologia e ciclo larval comparados de bivalves límnicos invasores e nativos. In: MANSUR, M. C. D.; SANTOS, C. P.; PEREIRA, D.; PAZ, I. C. P.; ZURITA, M. L. L.; RAYA-RODRIGUEZ, M. T.; NEHRKE, M. V.; BERGONCI, P. E. A.

(Org.). **Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle**. Porto Alegre: Redes Editora, 2012. p. 95–110.

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

MARTÍNEZ-GARCÍA, C. *et al.* Performance of mussel shell as aggregate in plain concrete. **Construction and Building Materials**, v. 139, p. 570–583, 2017.

MEDEIROS, E. R.; CARVALHO, T.; SOUZA, K. B. São Francisco River Transposition Project: socio-economic impacts in Brazilian Northeast semi-arid region. **Papers in Regional Science**, [S. l.], v. 101, n. 6, p. 1441–1469, 2022. DOI: 10.1111/pirs.12705. Acesso em: 16 abr. 2025.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1. ed. São Paulo: PINI, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MIYAHIRA, T. *et al.* A new basin, a new river, a new home – the introduction of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) in Paraíba do Sul basin and its potential consequences to the most important basin for water supply in Southeast Brazil. **BioInvasions Records**, v. 13, n. 3, p. 799–814, 2024. DOI: 10.3391/bir.2024.13.3.18.

OLIVEIRA, M. D. *et al.* Forecasting the expansion of the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei* in Brazilian freshwater systems. **Biological Invasions**, v. 17, n. 12, p. 3193–3205, 2015.

OLIVEIRA, M. D. *et al.* *Limnoperna fortunei*: the ecology, distribution and control of a swiftly spreading invasive fouling mussel. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). *Limnoperna fortunei: the ecology, distribution and control of a swiftly spreading invasive fouling mussel*. Switzerland: Springer, 2015. p. 333–356.

OLIVEIRA, M. D. *et al.* O mexilhão-dourado nos tanques-rede das pisciculturas das regiões Sudeste e Centro-Oeste. **Panorama da Aquicultura**, v. 24, n. 145, p. 22, 2014.

OLIVEIRA, M. D. *et al.* Invasion by *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia, Mytilidae) of the Pantanal Wetland, Brazil. **Biological Invasions**, v. 8, n. 1, p. 97–104, 2006. DOI: 10.1007/s10530-005-0331-0.

OLIVEIRA, S. F. M. de; TENÓRIO, T. M.; MARQUES, S. K. J. Caracterização do lodo de estação de tratamento de água (ETA) da cidade de Palmeira dos Índios, Alagoas, para potencial aplicação em massas cerâmicas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 28, art. e20230088, 2023.

PADILHA, S. A.; PALIGA, C. M.; TORRES, A. S. Estudo comparativo da resistência à compressão de blocos de concreto produzidos com diferentes cimentos e dosados em ambiente de fábrica. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 13, n. 2,

2017. DOI: 10.5216/reec.v13i2.46469. Disponível em:
<https://revistas.ufg.br/reec/article/view/46469>. Acesso em: 3 maio 2025.

PAGIO, M. Z. *et al.* Caracterização de resíduos siderúrgicos visando à aplicação em matrizes cimentícias. **Ambiente Construído**, v. 22, p. 167–186, 2022.

PEREIRA, M. H. S. *et al.* **Avaliação da capacidade de captura de dióxido de carbono do óxido de cálcio suportado em vermiculita**. 2022. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

PEŠTA, J.; PAVLŮ, T.; FOŘTOVÁ, K.; *et al.* Sustainable masonry made from recycled aggregates: LCA case study. **Sustainability**, v. 12, n. 4, art. 1581, 2020.

PETRIELLI, F. A. S. **Viabilidade técnica e econômica da utilização comercial de conchas de ostras descartadas na localidade do Ribeirão da Ilha, Florianópolis, Santa Catarina**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

PIO, I. *et al.* Caracterização dos materiais aplicada às suas propriedades, microestrutura e seu processamento. **Concilium**, v. 22, n. 3, p. 684–696, 2022.

RAY, H. A.; EP, T.; WORK, K. A. Troca de espécies exóticas: movimento recíproco de espécies animais entre regiões das Américas. **NeoBiota**, v. 94, p. 289–310, 2024. DOI: 10.3897/neobiota.94.124500.

ROLLAKANTI, R. C. *et al.* An experimental investigation on mechanical properties of concrete by partial replacement of cement with wood ash and fine sea shell powder. **Materials Today: Proceedings**, v. 43, p. 1325–1330, 2021.

RIBOLLI, J. *et al.* Optimized and validated protocol to the detection of the invasive bivalve *Limnoperna fortunei* from eDNA plankton samples. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 33, 2021. DOI: 10.1590/S2179-975X7620.

RODRÍGUEZ ÁLVARO, R. **Morteros para revestimiento con árido procedente de concha de mejillón**. 2014. Trabajo Fin de Grado – Universidade da Coruña, La Coruña, 2014.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de dosagem do concreto**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1984.

ROCHA, S. *et al.* Estudo da viabilidade de utilização de conchas de sururu em materiais à base de cimento Portland. In: **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável**, 2004, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis, 2004.

SAADATKHAH, N. *et al.* Experimental methods in chemical engineering: thermogravimetric analysis — TGA. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 98, n. 1, p. 34–43, 2020.

SANGEETHA, P. *et al.* Mechanical properties of concrete with seashell waste as partial replacement of cement and aggregate. **Materials Today: Proceedings**, v. 61, p. 320–326, 2022.

SANT'ANA, V. M. **Estudo da utilização de conchas de moluscos bivalves na produção de concreto: uma análise sustentável. 2023.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de São Paulo, Campus Caraguatatuba, Caraguatatuba, 2023.

SANTOS, A. M. E.; THEODORO JUNIOR, N.; SOUZA, R. F. M. Ocorrência do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*, Dunker, 1857) no Canal do Sertão, Delmiro Gouveia, AL, Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 19, art. e18, 2022. DOI: 10.21168/rega.v19e18.

SANTOS, A. M. E. S.; SOUZA, R. F. M. *Limnoperna fortunei*: impactos e medidas de controle no abastecimento de água no sertão alagoano. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 108–117, 2022. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.004.0010.

SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D.; ALMEIDA, H. R. R. C. Variabilidade da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio São Francisco e as atividades antrópicas relacionadas. **Qualit@s**, v. 9, n. 3, 2010.

SILVA, D.; DEBACHER, N. A. Caracterização físico-química e microestrutural de conchas de moluscos bivalves provenientes de cultivos da região litorânea da Ilha de Santa Catarina. **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1053–1058, 2010.

SILVA, E. P. Genética da bioinvasão do mexilhão-dourado. In: MANSUR, M. C. D. *et al.* (Org.). **Moluscos límnicos invasores no Brasil: biologia, prevenção e controle**. Porto Alegre: Redes Editora, 2012. p. 51–57.

SILVA, E. J. *et al.* Os moluscos bivalves de água doce do Brasil: potencial ainda não aproveitado pela aquicultura. **Aquaculture Brasil**, 2017.

SILVA, F. A. *et al.* **Boletim de alerta 4: confirmada a presença do mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) no reservatório de Emborcação (trecho médio do rio Paranaíba).** 2016. Relatório Técnico – Centro de Bioengenharia de Espécies Invasoras (CBEIN), Belo Horizonte, 2016.

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

SILVA, L. C. *et al.* Análise do uso de resíduo da siderurgia para aplicação em cerâmica vermelha por meio da caracterização química e mineralógica. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, 2021..

SIQUEIRA, N. L. C. de. **Incorporação do pó de conchas de ostra provenientes do processo de ostreicultura na produção de argamassa para revestimento.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Aquicultura) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

SMIL, V. **Energia e civilização: uma história**. 1. ed. São Paulo: Bookman, 2023.

SOUZA, R. C. C. L.; CALAZANS, S. H.; SILVA, E. P. Impacto das espécies invasoras no ambiente aquático. **Ciência e Cultura**, v. 61, p. 35–41, 2009.

SOUZA, R.; DAMASCENO, M.; ARAÚJO, F.; CEDRO, V. Invasão biológica no São Francisco: mexilhão-dourado, mas que “peste” é essa? **Nexus – Revista de Extensão do IFAM**, v. 10, p. 137–144, 2024. DOI: 10.31417/nexus.v10i14.268.

SOUZA, V. C. M.; DAL MOLIN, D. C. C. **Concreto armado: projeto estrutural**. São Paulo: PINI, 2019.

TRENTINI, A. **Desenvolvimento de membranas de poliuretano com carbonato de cálcio nanométrico e pó de ostras obtidas por inversão de fases visando à separação de gases**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020.

VIEIRA, J. A. *et al.* Perspectivas da produção de pesquisa aplicada, inovação e desenvolvimento científico e tecnológico nos institutos federais. **Revista Valore**, v. 8, art. 8024, 2023.

VIEIRA, M. E. M. *et al.* Espectroscopia de energia dispersiva de raios X (EDS) acoplada ao microscópio eletrônico de varredura (MEV): fundamentos e aplicações em produtos lácteos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, art. e262101018622, 2021.

WAGNER, G. *et al.* Sambaquis da costa brasileira. **Quaternary International**, v. 239, p. 51–60, 2011. DOI: 10.1016/j.quaint.2011.03.009.

WANG, H. Y. *et al.* Study of the material properties of fly ash added to oyster cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 532–537, 2013.

WANG, J.; LIU, E. Upcycling waste seashells with cement. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 155, 104680, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104680.

WARNPEN, H.; SUPAKATA, N.; KANOKKANTAPONG, V. The reuse of waste glass as aggregate replacement for producing concrete bricks as an alternative for waste glass management on Sichang Island. **Engineering Journal**, v. 23, n. 5, p. 43–58, 2019.

YBERT, R. S.; BOYADJIAN, C. Horta no litoral: considerações sobre a produção de alimentos pelos construtores de sambaquis brasileiros. **Journal of Anthropological Archaeology**, v. 60, art. 101211, 2020. DOI: 10.1016/j.jaa.2020.101211.

YOON, G. *et al.* Chemical–mechanical characteristics of crushed oyster shell. **Coastal & Harbor Engineering Research Division**, Korea Ocean Research & Development Institute, 2003.

ZHU, Y. *et al.* Properties of cementitious materials utilizing seashells. **Materials**, v. 17, n. 5, p. 1222, 2024. DOI: 10.3390/ma17051222.



**Incorporação de Conchas de
Mexilhão-Dourado na Produção
de Blocos Vazados de Concreto
para Alvenaria**

Fabrcia Moreira da Silva
Ronny Francisco Marques de Souza
Sheyla Karollna Justino Marques
Suelen Vieira da Silva



**Ministério da Educação
Instituto Federal de Alagoas
Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais Mestrado Profissional**

**Incorporação de Conchas de Mexilhão-Dourado na Produção
de Blocos Vazados de Concreto para Alvenaria**

Catálogo Técnico

Tecnologias e Inovações Ambientais

Fabírcia Moreira da Silva
Ronny Francisco Marques de Souza
Sheyla Karolina Justino Marques
Suelen Vieira da Silva



Expediente Técnico



Ministério da Educação
Instituto Federal de Alagoas

Reitor:
Carlos Guedes de Lacerda

**Pró-Reitora de Pesquisa, Pós-Graduação
e Inovação:**
Eunice Palmeira da Silva

**Coordenador do Mestrado em
Tecnologias Ambientais:**
Joabe Gomes de Melo

Projeto Gráfico:
Camila Karoline Justino Marques



TODOS OS DIREITOS RESERVADOS
A reprodução não autorizada desta publicação,
no todo ou em parte, constitui violação dos direitos
autorais (Lei nº 9.610)

Ficha Catalográfica

Índice

06

Apresentação

07

**Descritivo do
produto técnico
e tecnológico**

08

Metodologia

11

Resultados

12

**Considerações
Finais**

13

Referências

Apresentação

Este catálogo técnico apresenta a análise de viabilidade da utilização de conchas de mexilhão-dourado como substituição parcial da areia natural na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria. O estudo aborda aspectos ambientais e técnicos, visando contribuir para soluções sustentáveis na construção civil.

O mexilhão-dourado é uma espécie invasora de grande impacto ambiental, devido à sua proliferação descontrolada e ausência de predadores naturais na fauna brasileira. Sua reprodução larval dificulta a contenção da espécie, o que aliado à falta de divulgação, amplifica sua distribuição em atividades de pesca, turismo e obras de engenharia. Dentre suas principais características, destaca-se sua surpreendente capacidade de formar densos aglomerados com mais de 200 mil indivíduos por m². Sua predileção por substratos (superfícies) artificiais faz com que a espécie se incruste em estruturas de setores produtivos, levando-os a sobrecarga e manutenção, paralisando-os. Entre os setores mais afetados encontram-se as Usinas Hidrelétricas de Energia (UHEs), adutoras de água, irrigação, pesca artesanal e pisciculturas.

A utilização das conchas do mexilhão-dourado como agregado miúdo no concreto transforma um problema ecológico em matéria-prima secundária para a cadeia produtiva da construção civil. A introdução das conchas no processo produtivo não apenas contribui para a destinação adequada desse resíduo, reduzindo os impactos ambientais causados pela proliferação do molusco, mas também diminui a extração de areia, recurso natural amplamente explorado e associado a sérios problemas socioambientais.

As conchas do mexilhão-dourado apresentam composição predominantemente calcária, o que favorece sua utilização em matrizes cimentícias. O processo produtivo do concreto com conchas de mexilhão-dourado pode ser facilmente implementado na indústria, uma vez que não requer equipamentos sofisticados e utiliza matérias-primas acessíveis no mercado. Essa característica amplia o potencial de replicação da tecnologia e favorece sua aplicação em diferentes segmentos da construção civil.

Essa inovação está alinhada à linha de pesquisa Tecnologias e Inovações Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTEC). O desenvolvimento desse material de menor impacto ambiental responde à crescente demanda por soluções sustentáveis no setor, incentivando práticas construtivas mais responsáveis e conscientes.

Com essa tecnologia, promove-se não apenas a mitigação dos impactos da espécie invasora, mas também a criação de um material ambientalmente viável para a construção civil do futuro.

Metodologia

A produção do concreto com substituição parcial da areia por conchas trituradas de mexilhão-dourado foi realizada por meio de procedimentos experimentais em laboratório, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1. Todas as etapas seguiram as normas técnicas aplicáveis a cada etapa, garantindo tanto a confiabilidade dos resultados quanto a reprodutibilidade do processo.

Figura 1 – Fluxograma do procedimento experimental



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Para a condução deste estudo, as conchas de mexilhão-dourado higienizadas e limpas passaram inicialmente por processos de trituração e peneiramento, seguidos da homogeneização com as demais matérias-primas (cimento, brita e areia). Na sequência, foram moldados corpos de prova cilíndricos em formas metálicas com dimensões de 10x20 cm. Esses corpos de prova permitiram avaliar o desempenho da substituição parcial da areia natural pelo resíduo das conchas de mexilhão-dourado em diferentes proporções através dos ensaios mecânicos de resistência à compressão e absorção de água por imersão. Após as análises dos resultados, as formulações que apresentaram os melhores resultados foram indicadas para a produção de blocos vazados de concreto para alvenaria, conforme os requisitos estabelecidos pela NBR 6136 — *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos* (ABNT, 2016), que normatiza os critérios de aceitação relacionados aos blocos.

As etapas de produção dos corpos de prova cilíndricos podem ser evidenciadas nas figuras a seguir.

A trituração foi realizada para obtenção das conchas em partículas menores, proporcionando a redução de sua granulometria. Essa redução foi feita utilizando liquidificador convencional, buscando obter partículas semelhantes aos grãos de areia, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Trituração



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As partículas obtidas na trituração se demonstraram não homogêneas, assim foi preciso compreender as distribuições granulométricas, através da técnica de peneiramento. Para isso, utilizou-se uma peneira com abertura de malha de 1,18 mm, realizando-se o peneiramento por meio de agitação manual com duração média de 5 minutos por amostra. Durante o processo, os grãos que passaram pela peneira, foram utilizados nas etapas subsequentes, por apresentarem distribuição granulométrica compatível com os padrões normativos para substituição parcial de agregados miúdos em matrizes cimentícias.

Em seguida foi realizado o processo de homogeneização das matérias-primas secas (Figura 3) através de processo manual e inserida água, conforme fator água/cimento definido. O cimento utilizado foi o CP II-F-32, como agregado graúdo, a brita 0, com diâmetro máximo de 9,5 mm e como agregado miúdo, a areia lavada média, com dimensão máxima característica de 2,4 mm e as conchas de mexilhão-dourado após o processo trituração e peneiramento.

Figura 3 - Materiais utilizados na moldagem dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A moldagem dos corpos de prova cilíndricos ocorreu por meio do emprego de moldes metálicos, com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, os quais estavam limpos e lubrificados internamente com agente. Passado o intervalo de 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados, devidamente identificados e encaminhados para recipientes de cura com água, onde permaneceram imersos até o momento de realização dos ensaios mecânicos, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Corpos de Prova Cilíndricos



Resultados

Os resultados do ensaio de absorção de água por imersão indicaram um aumento gradual à medida que se elevou o teor de substituição por conchas de mexilhão-dourado. Com o acréscimo do resíduo, os valores variaram de 2,59% a 7,16%, em relação ao traço de referência. Todos os resultados permaneceram abaixo do limite de 10% estabelecido pela NBR 6136 (ABNT, 2016), o que demonstra que, mesmo com a substituição, o concreto desenvolvido mantém desempenho satisfatório frente à penetração de umidade.

No ensaio de resistência à compressão, observou-se uma redução progressiva dos valores à medida que se aumentou a substituição do resíduo. Os valores variam de 22,62 a 3,85 Mpa, em relação ao traço de referência. Indicando redução 16,2% ao substituir o menor teor e 85,7% na substituição de maior teor. No entanto, mesmo com reduções significativas, esses resultados indicam que a utilização de conchas de mexilhão-dourado em blocos vazados de concreto é viável em substituição parcial da areia, pois atenderam o enquadramento normativo, uma vez que a NBR 6136 (ABNT, 2016) evidencia as resistências à compressão em classes dos blocos: A ($f_{bk} \geq 8,0$), B ($4,0 \leq f_{bk} < 8,0$) e C ($f_{bk} \geq 3,0$).



Considerações Finais

Com base nas informações apresentadas neste catálogo, verifica-se que as conchas de mexilhão-dourado apresentam propriedades técnicas favoráveis à sua utilização como substituto parcial da areia na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria. Sua aplicação contribui para mitigação dos impactos ambientais relacionados ao descarte inadequado das conchas dos setores afetados e a frequente extração de areia realizado no setor de construção civil.

Em comparação ao traço de referência, a adição das conchas trituradas resultou em valores de absorção de água por imersão e resistência à compressão, todos confirmando a viabilidade técnica do material, independentemente da variação do teor de substituição. Os resultados demonstraram que a tecnologia desenvolvida é segura, ambientalmente responsável e possível, configurando-se como alternativa promissora para a construção civil ao incentivar a adoção de práticas sustentáveis no setor.

Referências

_____. **NBR 5739:2018** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 6136:2016** - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

SANTOS, A. M. E. S.; SOUZA, R. F. M. **Limnoperna fortunei: Impactos e medidas de controle no abastecimento de água no sertão alagoano**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.13, n.4, p.108-117, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.004.0010>.

SOUZA, RONNY & DAMASCENO, MARIA & ARAÚJO, FELIPE & CEDRO, VICTOR. (2024). **Invasão biológica no São Francisco: mexilhão-dourado, mas que "peste" é essa?**. Nexus - revista de extensão do ifam. 10. 137-144. 10.31417/nexus.v10i14.268.

