UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

SUELEN MARQUES MALACARNE

DESENVOLVIMENTO DE CONCRETOS SUSTENTÁVEIS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO PÓ DAS ESCAMAS DA TILÁPIA DO NILO

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

DOURADOS/MS

NOVEMBRO/2025

SUELEN MARQUES MALACARNE

DESENVOLVIMENTO DE CONCRETOS SUSTENTÁVEIS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO PÓ DAS ESCAMAS DA TILÁPIA DO NILO

ORIENTADOR: PROF. DR. WILLIAM RENZO CORTEZ VEGA

COORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO FOSSA DA PAZ

Tese de doutorado submetida ao programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, como um dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental na área de concentração Tecnologia Ambiental.

DOURADOS/MS

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por darem-me as condições necessárias e o apoio para ingressar e continuar meus estudos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento por meio da bolsa de pesquisa processo nº 88887.618349/2021-00.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) pela disponibilização do espaço para a realização da pesquisa em especial ao meu orientador Dr. William Renzo Cortez Vega e meu coorientador Dr. Marcelo Fossa da Paz pela paciência, correções e incentivo e a todos que colaboraram e fizeram parte desta pós-graduação.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Traço utilizado conforme teor de adição de pó da escama no concreto (Fonte: Autor) 59
Tabela 2 - Resultados de slump conforme teor de pó de escama no concreto (Fonte: Autor) 69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Composição limite para cimentos Portland. 38
Quadro 2 - Classificação granulométrica dos agregados..... 39
Quadro 3 - Consumo de cimento de 1950 à 2023 42
Quadro 4 - Resultados dos ensaios referentes à Resistência mecânica a compressão (Fonte: Autor)..... 69

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1 – Fluxograma do PRISMA, o qual descreve as etapas de identificação, triagem e inclusão dos estudos sobre biossorventes derivados de resíduos aquáticos aplicados em materiais cimentícios.Fonte: Elaborado pelos autores (2025). 16
Figura 2 - Análise da distribuição espacial e da evolução temporal da produção científica concernente ao uso de resíduos de animais aquáticos. Fonte: Elaborado pelos autores (2025). 19
Figura 3 - Diagrama aluvial representando o processo de transformação dos materiais biológicos em aplicações na construção civil e nas propriedades resultantes. Fonte: Elaborado pelos autores (2025). 21
Figura 4 - Gráfico de pirulito representando o processamento dos resíduos de animais aquáticos para construção civil. Fonte: Elaborado pelos autores (2025). 22

Capítulo 2

Figura 1 - Possibilidades de aproveitamento e transformação do resíduo do processamento do pescado (Fonte: Gonçalves, 2024)..... 44
Figura 2 - 17 objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) (Fonte: STF,2024) 47
Figura 7 - Coleta das escamas descartadas pela indústria (Fonte: Autor)..... 48
Figura 8 - Lavagem das escamas (Fonte: Autor)..... 49
Figura 9 - Secagem ao sol (Fonte: Autor) 50
Figura 10 - Escamas secas ao sol (Fonte: Autor) 50
Figura 11 - Escamas secas ao sol armazenadas (Fonte: Autor)..... 51
Figura 12 - Escamas secas em estufa (Fonte: Autor) 52
Figura 13 - Escamas sendo moídas em moinho de bolas cerâmicas (Fonte: Autor)..... 52
Figura 14 - Escamas sendo moídas em moinho de bolas de ferro (Fonte: Autor) 53
Figura 15 - Ineficácia da moagem utilizando moinho de bolas (Fonte: Autor) 53
Figura 16 - Escamas sendo moídas em moinho de facas (Fonte: Autor)..... 54
Figura 17 - Pó obtido através do moinho de facas (Fonte: Autor)..... 55
Figura 18 - Pó da escama sendo queimado em mufla (Fonte: Autor)..... 56
Figura 19 - Pesagem para cálculo da perda ao fogo (Fonte: Autor)..... 57
Figura 20 - Agregados sendo secos em estufa (Fonte: Autor) 60
Figura 21 - Produção dos concretos (Fonte: Autor) 61
Figura 22 - Ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump) (Fonte: Autor) 62
Figura 23 - Corpos de prova moldados (Fonte: Autor) 62
Figura 24 - Corpos de prova desmoldados (Fonte: Autor)..... 63
Figura 25 - Corpos de prova sob cura úmida (Fonte: Autor) 64

Figura 26 - Corpo de prova sendo retificado (Fonte: Autor)..... 64
Figura 27 - Corpos de prova sendo ensaiados à compressão (Fonte: Autor) 65
Figura 28 – Difratograma obtido por meio do ensaio de DRX do pó da escama da Tilápia (Fonte: Autor)..... 66
Figura 29 – DRX de ICDD ref: 01-074-0566 (Fonte: Jamwal et al., 2015)..... 67
Figura 30 - Curva granulométrica da areia (Fonte: Autor)..... 67
Figura 31 - Curva granulométrica da pedra brita (Fonte: Autor) 68
Figura 32 - Resistência mecânica média à compressão (Fonte: Autor) 71

RESUMO GERAL

Este trabalho apresenta-se dividido em dois capítulos, o primeiro aborda uma revisão cienciométrica sobre o uso de resíduos de animais aquáticos na construção civil e segue a formatação de um artigo padrão exigido pela revista Scientia Marina, sendo submetido em setembro de 2025. O segundo capítulo abordará sobre o estudo realizado sobre o desenvolvimento de concretos sustentáveis através da aplicação do pó das escamas da Tilápia do Nilo, tema o qual deu origem a publicação de dois artigos um na revista Foco em novembro de 2023 e outro na revista Aracê em maio de 2025.

SUMÁRIO

1 – CAPÍTULO 1: REVISÃO CIENCIOMÉTRICA SOBRE O USO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS AQUÁTICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL 11
1.1 - RESUMO 11
1.2 - INTRODUÇÃO 11
1.3 - METODOLOGIA 14
1.3.1 Estratégia de busca 14
1.3.2 Filtragem 15
1.3.3 Análise de dados 17
1.4 - RESULTADOS 17
4.5 - DISCUSSÃO 22
4.6 - DECLARAÇÃO DE CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA 26
4.7 - REFERÊNCIAS 26
2 - CAPÍTULO 2: DESENVOLVIMENTO DE CONCRETOS SUSTENTÁVEIS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO PÓ DAS ESCAMAS DA TILÁPIA DO NILO 30
2.1 - RESUMO 30
2.2 - ABSTRACTS 31
2.3 - INTRODUÇÃO 32
2.4 - JUSTIFICATIVA 34
2.5 - OBJETIVOS 36
2.5.1 - Objetivo Geral 36
2.5.2 - Objetivos Específicos 36
2.6 - REVISÃO DE LITERATURA 37
2.6.1 - Materiais constituintes do concreto 37
2.6.2 – Concreto e suas características 40
2.6.3 - Indústria cimenteira: consumo e desafios do setor 41
2.6.4 - Indústria do pescado: Escamas de peixe: propriedades e aplicações 43
2.6.5 – Sustentabilidade: Parcerias entre setores 47
2.7 - MATERIAIS E MÉTODOS 48

2.7.1 - Escamas de peixe 48
2.7.2 - Agregados 58
2.7.3 - Cimento 58
2.7.4 - Água 59
2.7.5 - Produção dos concretos 59
2.8 - RESULTADOS E DISCUSSÕES 65
2.8.1 - Ensaio de perda ao fogo do pó da escama 65
2.8.2 - Ensaio de difração de raio X 65
2.8.3 - Ensaio de Granulometria dos agregados 67
2.8.4 – Produção de concretos e ensaio de abatimento do concreto (slump test) 68
2.8.5 – Resistência mecânica à compressão 69
2.9 - CONSIDERAÇÕES FINAIS 72
2.10 – AGRADECIMENTOS 73
2.11 - FONTES DE FINANCIAMENTO 73
2.12 - REFERÊNCIAS 73
2.13 – ANEXO 1: NORMAS DA REVISTA SCIENTIA MARINA 79

1 – CAPÍTULO 1: REVISÃO CIENCIOMÉTRICA SOBRE O USO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS AQUÁTICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Este capítulo segue as normas da revista Scientia Marina. Artigo submetido em setembro de 2025.
(https://scientiamarina.revistas.csic.es/index.php/scientiamarina/enfoque)

1.1 - RESUMO

Essa revisão mapeia o uso de resíduos de animais aquáticos na construção civil, uma alternativa sustentável ainda pouco explorada de maneira sistematizada. Por meio de uma análise cienciométrica nas bases de dados Web of Science e Scopus, seguindo o protocolo PRISMA, o estudo analisou 45 artigos publicados até junho de 2025. Os resultados revelam uma produção científica incipiente e concentrada na China, focada principalmente na quitosana extraída de exoesqueletos de crustáceos. As aplicações identificadas incluem a substituição de materiais, a adição de aditivos ao concreto e à argamassa, o reforço e a estabilização, com foco em melhorar a resistência e a durabilidade. O processamento é majoritariamente químico. Percebe-se uma grande oportunidade para países com vasta costa, como o Brasil, que ainda participam pouco dessa área. Para avançar, é crucial diversificar as fontes, investigar mais peixes e moluscos e otimizar os métodos de processamento, integrando técnicas. O fortalecimento dessa pesquisa é vital para transformar esses resíduos em soluções concretas para uma construção civil mais sustentável.

Palavras-chaves: resíduos orgânicos, subprodutos, resíduos industriais, recursos naturais aquáticos, pesca, cienciometria, mariscos.

1.2 - INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um pilar crucial das economias globais, mas também representa um dos principais contribuintes para problemas ambientais. Ocupa cerca de 150 milhões ha de uso da terra (FAO 2024a), impulsionado pela urbanização e desenvolvimento populacional, e também demanda grande quantidade de energia,

consome e polui recursos hídricos, gera aproximadamente 2 a 3 milhões t/ano de resíduos e emite cerca de 8,7 Gt de CO_2 (Hussien et al. 2023, Li et al. 2024). A China responde por cerca de1 Gt, maior emissor mundial, seguida pelos Estados Unidos, com mais de 600 milhões t, e pela União Europeia, com 400 a 500 milhões t (Sakthibala et al. 2025). Nesse contexto, diante do esgotamento dos recursos naturais, é necessária uma reforma voltada ao desenvolvimento sustentável. A demanda global por agregados naturais deve superar 50 bilhões t até 2025, intensificando a busca por materiais sustentáveis e alinhados à economia circular (Patil, Dakwale e Ralegaonkar 2024, Sakthibala et al. 2025).

Paralelamente, a aquicultura expande-se 6,6 % mundialmente desde 2020 para suprir a demanda nutricional, contribuindo com mais de 57% dos produtos de animais aquáticos, gerando volumosos resíduos como exoesqueletos, escamas, conchas, cabeças, peles e outros, que podem constituir de 30% a 75% de um organismo inteiro dependendo da espécie e do tipo de processamento, cujo descarte inadequado leva à contaminação e à proliferação de doenças, representando riscos significativos para a saúde pública (FAO 2024b, Xia et al. 2024). O reaproveitamento desses resíduos de animais aquáticos como biossorventes ou materiais funcionais em obras civis emerge como uma estratégia promissora para reduzir o descarte inadequado ou a subutilização desses materiais residuais, além de possibilitar o desenvolvimento de materiais verdes e ecológicos para obras de menor impacto e maior desempenho (Ravi et al. 2021, Al-Mur 2024).

Pesquisas recentes têm explorado a quitosana, um biopolímero natural derivado da quitina presente nos exoesqueletos de crustáceos, para aprimorar o concreto (Yehia, Ibrahim e Ahmed 2023, Qin et al. 2024, Huston et al. 2025). No estudo de Zhao et al. (2024), a funcionalização de nanosílica fibrosa dendrítica (DFNS) com quitosana forma o composto DFNS@quitosana. Esse processo aumenta a capacidade de carga compressiva e a potência de alongamento interfacial de compósitos à base de cimento e inibe a contração autógena na pasta de cimento. Dessa forma, a utilização sustentável de resíduos de camarão na indústria da construção é viabilizada. Além disso, estudos demonstram sua eficiência em melhorar as propriedades mecânicas como aglutinante e reforço, aumentar a durabilidade do concreto contra danos por congelamento e degelo, bem como contra a penetração de cloreto por meio de fibras retráteis, e oferecer proteção anticorrosiva eficaz pela adsorção de íons de cloreto em materiais cimentícios (Cao et al. 2022, Christ et al. 2024, Huston et al. 2025).

No entanto, a literatura ainda apresenta lacunas. A maioria dos estudos se concentram na Ásia, sobretudo na China, onde a produção de crustáceos é elevada e pesquisas como a de Liao et al. (2018), têm focado na quitosana. Embora Wang et al. (2025) destaque que o interesse no aproveitamento de subprodutos de crustáceos se estende globalmente, observa-se pouca investigação em outros países. Dessa forma, é necessário compreender os motivos pelos quais o continente asiático tem avançado mais nesse campo e quais nações, fora dessa região, têm explorado o uso de resíduos de animais aquáticos na construção civil.

Além disso, observa-se uma concentração excessiva em crustáceos devido à quitosana, enquanto outros biossorventes permanecem pouco explorados. Christ et al. (2024), por exemplo, não apenas investigou a quitosana derivada de cascas de camarão, como também a carragenina-κ, o alginato de sódio e o ágar, todos extraídos de algas marinhas, além da gelatina, proveniente de mamíferos e peixes de água fria. Da mesma forma, Martínez-García et al. (2020) avaliou agregados de concha de mexilhão em argamassas de cal e Avramenko et al. (2023) analisou ossos de atum como material cimentício para a estabilização de solos. No entanto, esses estudos são pontuais quando comparados ao volume de pesquisas centradas na quitosana, o que revela a necessidade de se explorar sistematicamente uma gama mais ampla de resíduos de animais aquáticos.

Em último, apesar da literatura apresentar uma visão sistemática ao comparar a eficácia de diferentes processos e avaliar aplicações além do concreto, como em argamassas e compósitos, ela carece de informações detalhadas sobre o processamento de extração dos resíduos aquáticos. Geralmente, os estudos destacam os materiais utilizados, mas não explicam, de maneira padronizada, como ocorre sua preparação e transformação, dificultando, assim, a consolidação de um referencial metodológico. Destefani, Falchi e Zendri (2023), por exemplo, investigou novas argamassas à base de cal hidráulica natural (NHL) para a conservação de edifícios históricos, testando-as com aditivos, como quitosana e DTPMP, e avaliando sua resistência. Apesar de contribuições como essa, permanece a lacuna quanto à sistematização dos métodos de processamento e à diversidade de aplicações dos resíduos, o que reforça a necessidade de estudos que estabeleçam padrões claros e funcionais.

Para preencher essas lacunas, este estudo realiza uma análise cienciométrica metodológica, com o objetivo principal de mapear e sintetizar o estado da arte sobre o uso de biossorventes derivados de resíduos de animais aquáticos na construção civil. Para tanto, buscamos: i) mapear as regiões geográficas que lideram a produção científica e

tecnológica de biossorventes a partir de resíduos de animais aquáticos para a construção civil; ii) identificar e categorizar os principais tipos de biossorventes de origem animal aquática utilizados na construção civil; iii) identificar as aplicações e as funções desses biossorventes na construção civil; iv) identificar e compreender os procedimentos e o processamento de extração dos resíduos de animais aquáticos mais comuns.

1.3 - METODOLOGIA

1.3.1 Estratégia de busca

Para a análise cienciométrica, realizada em artigos publicados até junho de 2025, foram selecionadas as bases de dados Web of Science (WoS) e Scopus, reconhecidas por sua curadoria rigorosa e cobertura de periódicos de alto impacto (Singh et al. 2021). A Web of Science, estabelecida em 1964, abrange mais de 74,8 milhões de registros, enquanto a Scopus, criada em 2004, indexa cerca de 23.452 periódicos. Ambas as bases se consolidam como referências para artigos de revisão.

Além da seleção das bases de dados, a estratégia de busca foi meticulosamente delineada para assegurar a recuperação de estudos em conformidade com o objetivo da pesquisa. De acordo com as recomendações de Pottier et al. (2024), a seleção adequada de palavras-chave deve priorizar termos que equilibrem abrangência e precisão, evitando tanto a hiperespecificidade, termos muito específicos, quanto a ambiguidade, termos que retornam resultados irrelevantes.

Os termos foram organizados em dois eixos temáticos. O primeiro eixo trata de fontes de biossorvetes aquáticos, incluindo matérias-primas como escamas de peixe, resíduos de crustáceos e biopolímeros (Quadro I). O segundo eixo trata de aplicações na construção civil, com termos relacionados ao uso desses biossorvetes em materiais sustentáveis, concreto e aditivos (Quadro II).

Em termos práticos, os eixos foram combinados nas bases de dados por meio do operador booleano AND, de modo a garantir que os resultados atendessem a ambos os critérios simultaneamente. A string final de busca integrou os termos listados nos quadros I e II, conforme detalhado a seguir.

Quadro I: palavras-chave relacionadas a biossorventes aquáticos.

("fish scale*" OR "crab shell*" OR "shrimp waste" OR "shellfish waste" OR "marine biomass waste" OR "aquatic biomass byproduct" OR chitin OR chitosan OR "animal bone" OR "fish bone" OR "hydroxyapatite from bone")

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Quadro II: Termos-chave sobre aplicação na construção civil

("construction material" OR "building material" OR "sustainable construction material" OR concrete OR cement OR "cement replacement" OR "concrete additive" OR "biopolymer additive" OR aggregate OR "bio-based aggregate")

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

1.3.2 Filtragem

A pesquisa inicial, realizada de forma sistemática, recuperou um total de 3.177 documentos na Web of Science e 2.667 na Scopus. Após a filtragem exclusiva por artigos científicos, com a exclusão de livros, revisões e estudos de caso, foram obtidos 2.905 registros para Wos e 2.172 para Scopus, totalizando 5.077 registros para a subsequente filtragem.

A filtragem por categorias nas bases de dados resultou em 3.644 registros, sendo 1.825 provenientes da Web of Science, priorizando Ciência dos Materiais, Engenharia Civil e Tecnologia Verde, e 1.819 da Scopus, similar à base anterior, com foco em Ciência dos Materiais, Engenharia Química e Ciência Ambiental. Já as categorias não relacionadas ao escopo da pesquisa foram sistematicamente excluídas, como as áreas da saúde (por exemplo, farmacologia e biomedicina) e as ciências sociais, garantindo a relevância dos estudos para aplicações de resíduos de animais aquáticos na construção civil.

Diante do exposto, foram selecionados os seguintes idiomas: chinês, japonês, por serem países asiáticos com maior consumo e produção de pescados (FAO 2024b); português, espanhol e inglês, por apresentarem produção em crescimento, bem como ecossistemas biodiversos na América Latina. Dessa forma, restaram 1.824 artigos para o WoS e 1.804 para o Scopus, totalizando 3.618 artigos. Posteriormente, a remoção de duplicatas por título e DOI reduziu o corpus para 3.414 artigos, 1.704 e 1.710 em cada base, respectivamente.

Em estágio final do procedimento de filtragem, foram selecionados de forma manual artigos que satisfaziam aos critérios específicos, tais como: i) emprego de biossorvetes derivados de resíduos aquáticos, como escamas de peixes, cascas de crustáceos, quitina e/ou quitosana, entre outros, na construção civil; e ii) descrição de métodos de processamento e propriedades mecânicas dos biossorvetes (por exemplo, resistência e durabilidade) na construção civil. Foram excluídos estudos com fontes não aquáticas, aplicações fora da construção civil, dados incompletos ou focados em bioatividade farmacológica, biomedicina. Como resultado, 45 artigos foram selecionados, sendo 31 da WoS e 14 da Scopus, garantindo aderência à questão central sobre o uso desses biossorventes em materiais de construção.

O processo de filtragem seguiu as diretrizes PRISMA 2020 (Page et al. 2021), utilizando um diagrama que demonstra as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos documentos selecionados, realizado na plataforma de Diagrama de fluxo PRISMA (https://estech.shinyapps.io/prisma_flowdiagram/) (Figura 1).

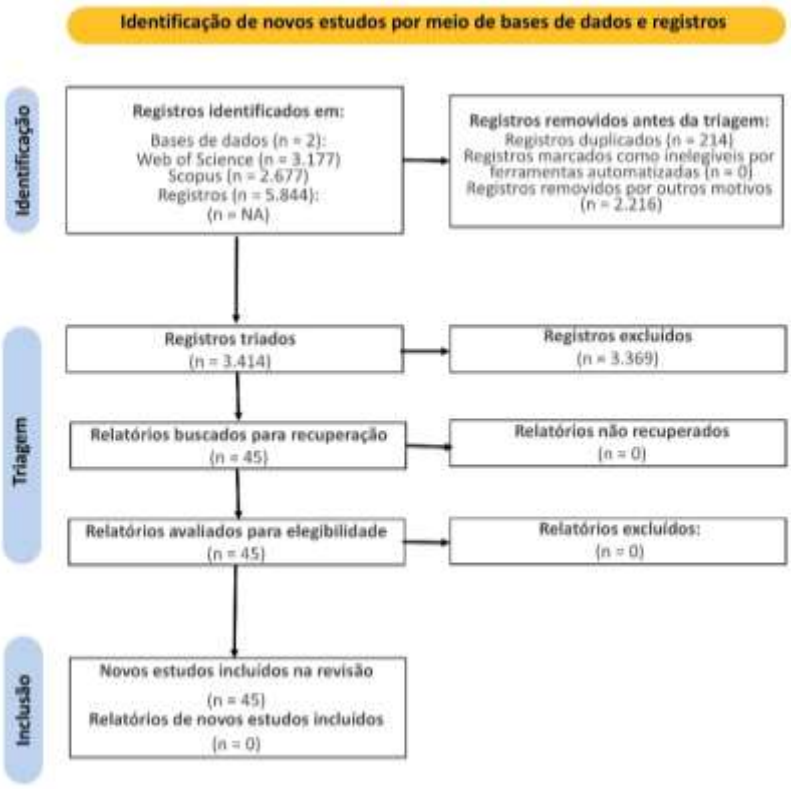


Figura 1 – Fluxograma do PRISMA, o qual descreve as etapas de identificação, triagem e inclusão dos estudos sobre biossorventes derivados de resíduos aquáticos aplicados em materiais cimentícios.Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

1.3.3 Análise de dados

As análises descritivas foram realizadas em linguagem R versão 4.5.0 (R Core Team 2025). Para a visualização dos resultados, foram empregados diferentes tipos de gráficos e representações gráficas. O mapa cartográfico temático foi empregado para demonstrar a distribuição espacial das pesquisas entre países e continentes, com categorias de frequência de ocorrência. O gráfico de linha e de proporções destacou a evolução temporal do uso de diferentes fontes animais (peixes, crustáceos e moluscos) ao longo dos anos. Ademais, foi utilizado o diagrama aluvial, que permitiu visualizar as conexões entre o material biológico, sua aplicação e as funções dessa aplicação na construção civil, evidenciando as relações entre variáveis categóricas. O gráfico de pirulito representou a frequência dos diferentes métodos de processamento.

Para a realização das análises, a manipulação e a visualização das informações, foi utilizada uma série de pacotes, tais como o Tidyverse, para tratamento e reestruturação dos dados; o readxl, para a importação das planilhas; e o ggplot2, para a construção dos gráficos. Para a manipulação de dados espaciais e a elaboração de mapas, foram utilizados os pacotes sf, naturalearth e naturalearthdata. Para aprimorar a estética e a clareza visual das representações gráficas, foram utilizados pacotes complementares, como cowplot, magick e ggalluvial.

A seleção das paletas de cores foi realizada com base na ferramenta ColorBrewer (https://colorbrewer2.org), priorizando combinações perceptíveis para pessoas com daltonismo e que mantivessem coerência com o tema da pesquisa, assegurando, assim, acessibilidade visual e adequação ao contexto científico.

1.4 - RESULTADOS

O conjunto de documentos analisados foi constituído por 45 artigos científicos, dos quais 31 foram indexados na Web of Science (WoS) e 14 na Scopus. A análise de produtividade dos autores identificou os pesquisadores Maliyekkal, S.M., Huston, D., Qin, Z.B. e Wang, L.G. como os mais recorrentes, sendo os únicos a figurarem em mais de uma publicação na área.

A avaliação da recorrência de termos-chave revelou os descritores "quitosana" 9 ocorrências e "concreto" com 6 ocorrências como os mais frequentes. Os termos centrais

supracitados foram seguidos por conceitos associados a materiais e avaliação de performance, tais como "cimento" e "propriedades mecânicas", com quatro e três menções, respectivamente. Outras categorias temáticas, tais como "aproveitamento de resíduos", "sustentabilidade na construção civil" e "durabilidade", apresentaram menor prevalência, com uma frequência de duas ocorrências cada.

Em relação à produção científica global, o continente asiático concentrou o maior número de publicações, totalizando 30 artigos, distribuídos entre 2005 e 2025. A China foi o principal país produtor, com 15 artigos, sobretudo a partir de 2016, destacando-se o uso predominante de crustáceos com 13 registros, além de um estudo com peixes e outro com moluscos. A Índia publicou quatro trabalhos recentes de 2021 2024, igualmente divididos entre crustáceos e peixes, enquanto a Turquia concentrou-se em crustáceos, com a publicação de três artigos. Estudos isolados foram realizados em países como Japão, Paquistão e Filipinas. Esses estudos, especificamente os realizados nas Filipinas, associaram peixes e moluscos. A Europa apresentou cinco artigos, distribuídos entre 2010 e 2023, com maior expressão na Espanha com dois artigos, contemplando tanto crustáceos quanto moluscos, e contribuições pontuais da Bélgica, Dinamarca e Itália, um artigo cada, todos com crustáceos.

A América do Norte contribuiu com quatro artigos, dos quais três foram provenientes dos Estados Unidos, destacando-se os crustáceos e um estudo com peixes, e um foi do México, também com crustáceos. No contexto sul-americano, o Brasil se destacou com três artigos de 2016 e 2023, todos relacionados a crustáceos, enquanto o Peru contribuiu com um trabalho. Já o continente africano apresentou dois artigos recentes, sendo um do Egito, referente a crustáceos, e outro do Marrocos, relacionado a moluscos, todos esses resultados podem ser visualizados na figura 2.

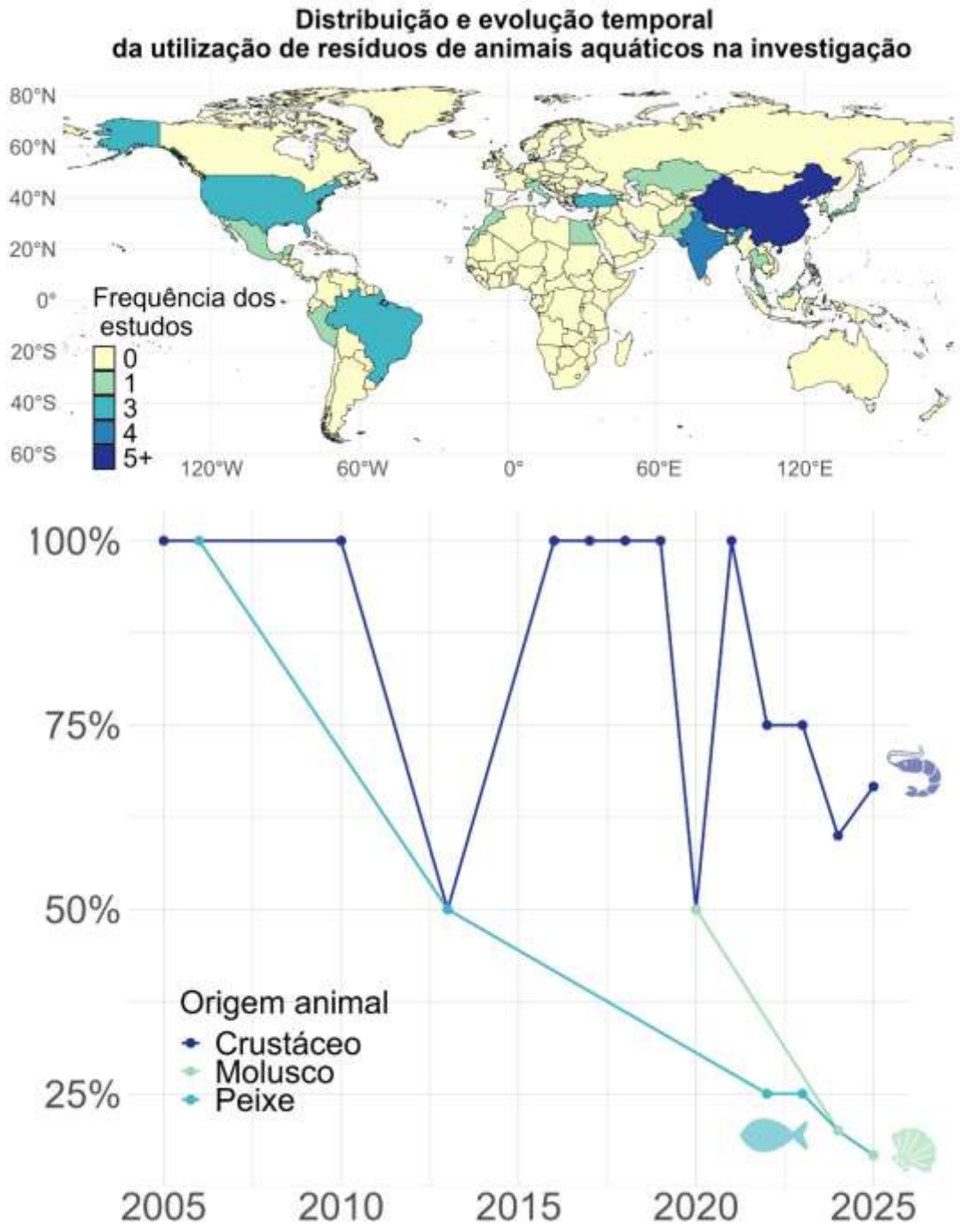


Figura 2 - Análise da distribuição espacial e da evolução temporal da produção científica concernente ao uso de resíduos de animais aquáticos. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O mapa mundial, apresentado no painel superior, demonstra a frequência de estudos por país, sendo que a intensidade da cor indica o número de publicações (quanto mais escura a cor, maior o número de estudos). O gráfico temporal, representado no painel inferior, ilustra a evolução da utilização dos diferentes grupos biológicos ao longo

do período de 2005 a 2025, destacando a predominância de crustáceos (azul escuro), seguidos por peixes (azul claro) e moluscos (verde).

No âmbito da aplicação de materiais biológicos na construção civil e sua função, o exoesqueleto emerge como o objeto de estudo mais proeminente, com 27 artigos dedicados à sua investigação. Dentre as aplicações mais notáveis, destacam-se a substituição de materiais, com oito artigos; a utilização como aditivos em concretos e argamassas, com cinco artigos; a proteção e estabilização, com nove artigos; e o reforço estrutural, com cinco artigos. Dentre as propriedades mais exploradas, destaca-se a resistência do concreto.

A análise das escamas foi realizada em sete artigos, principalmente como aditivos em concretos e argamassas, em três artigos e em reforços estruturais, em dois artigos, com foco na melhoria da resistência e durabilidade. Já as conchas, por sua vez, foram mencionadas em cinco artigos, com maior incidência em substituição de materiais, que apareceu em três artigos, também voltadas à resistência mecânica. O grupo Não Classificado (NC) apresentou cinco artigos, distribuídos entre substituição de materiais, aditivos, reforço e estabilização, sempre relacionados ao ganho de resistência. Em síntese, o emprego de ossos foi identificado em apenas um artigo, aplicado em proteção e estabilização. Destacando-se pela propriedade de resistência, os resultados podem ser visualizados na Figura 3.

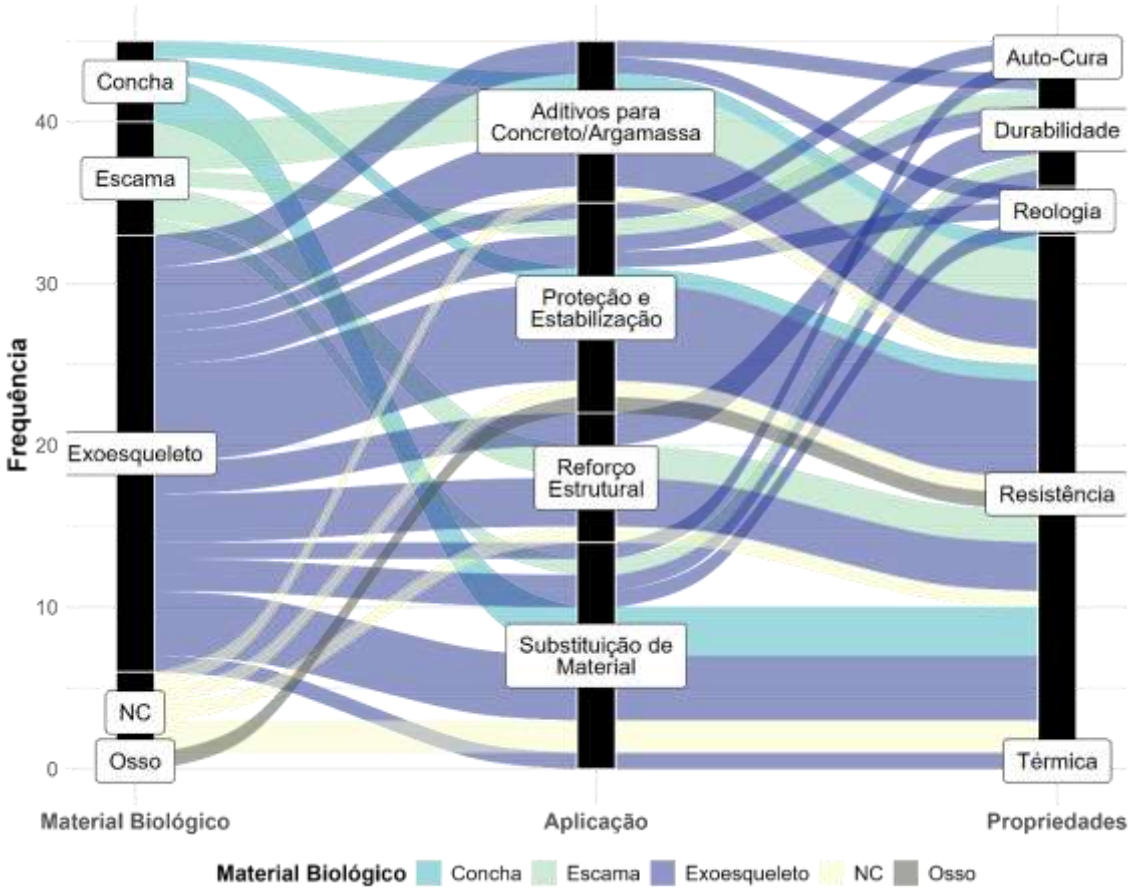


Figura 3 - Diagrama aluvial representando o processo de transformação dos materiais biológicos em aplicações na construção civil e nas propriedades resultantes. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os resíduos de animais aquáticos, tais como exoesqueletos, escamas e ossos, são fontes sustentáveis de insumos para a construção civil. Esses resíduos tendem a ser processados para sua utilização na construção civil. Diante disso, foram identificadas três vias de processamento: os métodos químicos, que extraem quitina, quitosana e colágeno para aplicação em compósitos e materiais cimentícios, apresentando 21 registros (Figura 4). Os métodos combinados com 14 registros, que integram etapas físicas e químicas com o objetivo de otimizar rendimento e propriedades funcionais. Além disso, foram identificadas as técnicas convencionais com 10 registros, que utilizam resíduos triturados, pelo processo de moagem, ou calcinados diretamente em matrizes cimentícias, promovendo circularidade e redução de custos.

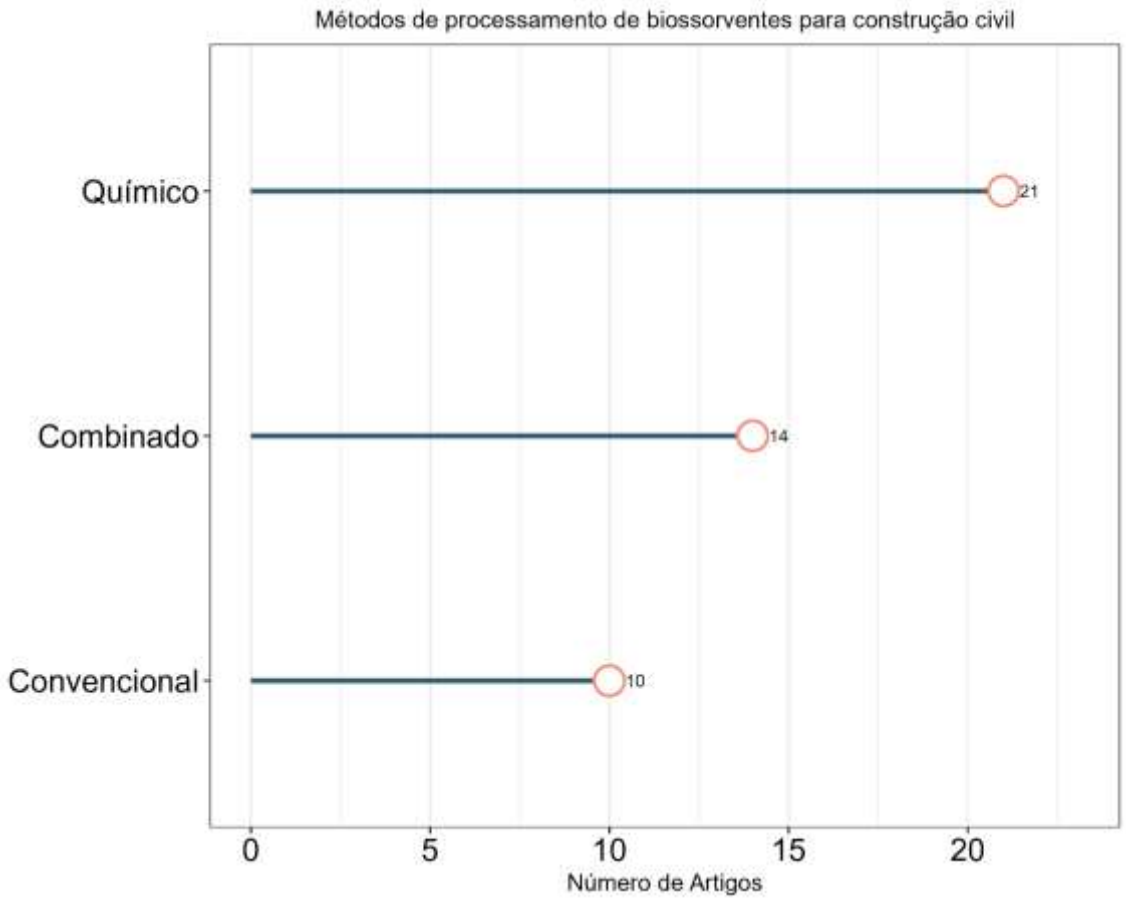


Figura 4 - Gráfico de pirulito representando o processamento dos resíduos de animais aquáticos para construção civil. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

4.5 - DISCUSSÃO

Nossa análise identificou 45 artigos científicos que investigam o uso de resíduos de animais aquáticos na construção civil. Este número, ainda modesto, evidencia que se trata de uma linha de pesquisa emergente e incipiente. Os demais estudos inicialmente levantados foram excluídos, pois abordavam os resíduos sob outras perspectivas, como o tratamento de água (Puspitasari et al. 2020), aplicações biomédicas (Hengtrakool, Wanichpakorn e Kedjarune-Leggat 2023, Mahalingam, Sivaraju e Shanmugasundaram 2023) ou para o aproveitamento de subprodutos (Dang et al. 2017, Yuan et al. 2023), não estando diretamente relacionados à construção civil.

Um *insigh* crucial de nossa análise de palavras-chave é a centralidade dos termos "quitosana" e "concreto" nesta temática. A quitosana, um biopolímero catiônico, é obtida a partir da desacetilação da quitina, o segundo biopolímero mais abundante na natureza, depois da celulose, ela está presente em exoesqueletos de crustáceos, insetos, artrópodes,

moluscos e em paredes celulares de fungos (Santos et al. 2020). Suas propriedades incluem biodegradabilidade, biocompatibilidade, alta capacidade de adsorção, formação de filmes, atividade antimicrobiana e antifúngica, entre outras, o que permite sua aplicação em diferentes setores, como nas indústrias farmacêutica e biomédica, alimentícia, ambiental, agrícola, cosmética, têxtil e até na construção civil (Santos et al. 2020, Joseph et al. 2021, Christ et al. 2024).

Na construção civil, em particular, ela é estudada como um aditivo para o concreto, atuando como agente anticorrosivo para proteger as armaduras e como modificador da matriz para aprimorar as propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto (Yehia, Ibrahim e Ahmed 2023, Christ et al. 2024).

A predominância da quitosana na literatura está intrinsecamente ligada ao panorama produtivo global. A China tem se destacado na produção de crustáceos, com um aumento de 5,2 vezes entre 2000 e 2019, incluindo o camarão-branco (*Penaeus vannamei*) e o lagostim-vermelho (*Procambarus clarkii*), que juntos somam mais de 7 Mt por ano, resultado das melhorias genéticas e à capacidade de estocagem em alta densidade (Chen e Gao 2023, Verdegem et al. 2023). Embora seja essencial para a alimentação, esse volume expressivo de casca de camarão gera grande quantidade de resíduos, cujo aproveitamento na extração de quitina e quitosana permite transformar um problema ambiental em recurso de valor agregado. Isso se deve ao fato de que a Ásia, em especial a China, não apenas se destaca na produção de crustáceos e no consequente volume de resíduos disponíveis como matérias-primas, mas também na capacidade de pesquisa e inovação, resultando em um número maior de publicações científicas sobre o tema. Esse panorama corrobora a análise de Ou et al. (2025), que, ao revisarem 719 artigos, já haviam apontado a China como um dos países mais prolíficos na área.

O domínio chinês nesse campo de pesquisa reflete a necessidade de alimentar uma população que já ultrapassa 1,4 bilhão de habitantes, aliada a uma sabedoria milenar no uso dos recursos aquáticos e a políticas industriais que impulsionaram investimentos massivos em genética, biotecnologia e modernização de instalações (Gui 2024). Atualmente, o país avança para a chamada Aquicultura 4.0, com a implantação de fazendas marinhas Aquascape, MyShrimp ou offshore (Kruk, Bush e Phillips 2024, Nguyen e Wang 2024) e o uso de inteligência artificial (Yang et al. 2025), sensores IoT (Liu, Cheng e Kuo 2025), sistemas de recirculação (RAS) e tecnologias como o biofloc (Zhang et al. 2023, Li et al. 2025). Esses fatores tornam a China altamente prolífica na produção de animais aquáticos.

O Brasil, apesar de ser o quarto maior produtor mundial de Tilápia-do-Nilo, com 662,2 mil toneladas em 2024, ainda tem uma produção científica limitada sobre o aproveitamento de resíduos da aquicultura na construção civil (Peixe BR 2025). Isso o diferencia de países como China e Estados Unidos. Isso ocorre porque o foco nacional permanece voltado para a nutrição e o consumo alimentar, enquanto a aplicação em pesquisa ainda é incipiente.

Quanto aos nossos achados cronológicos, verificamos que o estudo do uso de resíduos de animais aquáticos na construção civil teve início em 2005, cresceu nos anos seguintes, mas sofreu queda acentuada em 2010. A partir de 2015, entretanto, o número de publicações voltou a aumentar. Esse padrão é corroborado por N'Souvi et al. (2024), que destaca o rápido crescimento da carcinicultura entre 2004 e 2010, seguido de um forte impacto em 2009, devido a surtos de doenças, como a síndrome da mortalidade precoce (EMS/AHPND), que foram responsáveis por elevadas perdas econômicas e mortalidade de *Litopenaeus vannamei*. Isso possivelmente reduziu a disponibilidade de matérias-primas e, consequentemente, o interesse em pesquisas nessa área.

Em contraste, a introdução tardia dos resíduos de moluscos na construção civil, a partir de 2020, deve-se a barreiras regulatórias, ausência de incentivos e desafios morfológicos, como conchas irregulares, planas e de superfície lisa, que dificultam a aderência ao cimento, apesar disso, estudos recentes apontam potencial promissor como agregado sustentável (Leone et al. 2023, Leite et al. 2024). Enquanto resíduos de peixes foram historicamente direcionados a aplicações biomédicas e artesanais, resultando em escassa exploração construtiva (Cardakli 2024).

Embora o uso de resíduos de animais aquáticos na construção civil represente um avanço em termos de sustentabilidade, é preciso considerar os impactos do sistema que os gera. Sellars e Franks (2024), definem esse processo como desasselvajamento (*dewilding*), caracterizado por poluição, perda de biodiversidade, problemas de bem-estar animal e transformação do oceano em um mero recurso. Nesse contexto, a pesquisa em construção civil mostra-se promissora ao propor alternativas capazes de mitigar parte desses efeitos por meio do reaproveitamento de resíduos da construção civil.

Nosso estudo revela que o exoesqueleto de crustáceos é o resíduo mais utilizado na construção civil devido à sua composição química única, que confere propriedades superiores aos materiais. Ele é processado como quitosana em pó fino e atua como aditivo multifuncional para melhorar o desempenho de concretos e argamassas. Segundo Baykara et al. (2024) e Idoko et al. (2024), sua incorporação em dosagens adequadas

resulta em benefícios como maior resistência mecânica, durabilidade, rigidez da matriz cimentícia, melhoria do processo de hidratação, aumento da capacidade de ligação e outros benefícios. De acordo com nossas observações, a resistência foi o benefício mais evidente. Isso ocorre porque, segundo Idoko et al. (2024) a resistência à compressão e à tração aumenta levemente após 28 dias de cura com dosagens ótimas do resíduo, como 0,025% e 0,25%.

O processamento químico foi o método mais utilizado nos estudos analisados devido à sua eficiência na purificação de resíduos e na extração de compostos funcionais. Os exoesqueletos de crustáceos contêm proteínas (30 a 40%), minerais, principalmente carbonato de cálcio, 30–50%, pigmentos e quitina (20 a 30%). De acordo com Hamed, Özogul e Regenstein (2016) e Lakshmi et al. (2024), a desmineralização com ácidos, seguida da desproteinização com álcalis, permite a obtenção de quitina e quitosana purificadas em pouco tempo, por meio de procedimentos industrialmente consolidados. Esses produtos apresentam biocompatibilidade, biodegradabilidade e não toxicidade, e contribuem para o aumento da resistência mecânica e da durabilidade de argamassas e concretos (Hamed, Özogul e Regenstein 2016, Pellis, Guebitz e Nyanhongo 2022).

Por outro lado, os métodos convencionais, empregados em 10 registros, são menos utilizados devido à heterogeneidade dos resíduos triturados ou calcinados, que apresentam altos teores de minerais e de matérias orgânicas. Essa variabilidade pode resultar em propriedades inconsistentes ou inferiores na matriz cimentícia, além de não permitir o aproveitamento dos benefícios dos biopolímeros purificados, como a quitina e a quitosana, obtidos por métodos químicos (Yahcob-Saddalani et al. 2022, Pellis, Guebitz e Nyanhongo 2022).

Os métodos combinados, observados em 14 registros, integram etapas físicas, químicas e até biológicas, como processos enzimáticos, e oferecem produtos de alta qualidade com menor impacto ambiental (Pellis, Guebitz e Nyanhongo 2022). No entanto, eles ainda se restringem a estudos de laboratório e enfrentam desafios de escalabilidade e tempos de processamento mais longos. Por isso, apesar de apresentarem vantagens ecológicas e funcionais, esses métodos não alcançam a preferência dos métodos químicos, que continuam sendo mais utilizados devido à sua eficácia comprovada na obtenção de biopolímeros purificados.

Em suma, o uso de resíduos de animais aquáticos na construção civil representa uma linha de pesquisa emergente com grande potencial para promover a sustentabilidade e a inovação no setor. Os exoesqueletos de crustáceos, processados principalmente por

métodos químicos para a obtenção de quitosana, destacam-se como os resíduos mais utilizados e contribuem para melhorias significativas na resistência mecânica. A predominância da China na produção científica reflete a disponibilidade de resíduos e a capacidade de inovação tecnológica. Por outro lado, países como o Brasil ainda apresentam lacunas na pesquisa aplicada, direcionando seus esforços principalmente ao consumo alimentar para nutrição.

Apesar dos avanços, há lacunas importantes que indicam oportunidades para pesquisas futuras, como a exploração de resíduos de peixes, especialmente moluscos, o desenvolvimento de métodos combinados e a avaliação do impacto ambiental e socioeconômico do reaproveitamento desses resíduos.

4.6 - DECLARAÇÃO DE CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Suelen Marques Malacarne: desenvolvimento integral da pesquisa; redação do manuscrito.

Rita Casa Gonçalves Marques: análise estatística; revisão crítica; correções no manuscrito.

Daniele Menezes Albuquerque: contextualização; supervisão; colaboração na redação.

Marcelo Fossa da Paz: investigação; redação; supervisão; revisão e edição final do manuscrito.

William Renzo Cortez Vega: investigação; redação; supervisão; revisão e edição final do manuscrito.

4.7 - REFERÊNCIAS

Al-Mur B.A. 2024. Application of Marine Mollusk Shells (Meretrix lusoria) as Low-Cost Biosorbent for Removing Cd2+ and Pb2+ Ions from Aqueous Solution: Kinetic and Equilibrium Study. Water. 16(18): 2615. https://doi.org/10.3390/w16182615

Avramenko M. et al. 2023. Eco-friendly soil stabilization method using fish bone as cement material. Sci. Total Environ. 900: 165823. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165823

Baykara H. et al. 2024. Chitosan-Cement Composite Mortars: Exploring Interactions, Structural Evolution, Environmental Footprint and Mechanical Performance. ACS Omega. 9(23): 24978–24986. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c02040

Cao M. et al. 2022. Study on a Hydrogel for Adsorption of Chloride Ions in Cementitious Materials. Polymers. 14(10): 2081. https://doi.org/10.3390/polym14102081

Cardakli I.S. 2024. Green chemistry approaches to extracting calcium phosphate from fish bone wastes. Ceram. -Silik. 68(4): 565–572. https://doi.org/10.13168/cs.2024.0055

Chen W., Gao S. 2023. Current status of industrialized aquaculture in China: a review. Environ. Sci. Pollut. Res. 30(12): 32278–32287. https://doi.org/10.1007/s11356-023-25601-9

Christ J. et al. 2024. Screening of natural polymers as binder in concrete composites. Constr. Build. Mater. 441: 137405. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137405

Dang N.T.T. et al. 2017. Water-soluble chitosan-derived sustainable materials: towards filaments, aerogels, microspheres, and plastics. Soft Matter. 13(40): 7292–7299. https://doi.org/10.1039/C7SM01292F

Destefani M., Falchi L., Zendri E. 2023. Proposal of New Natural Hydraulic Lime-Based Mortars for the Conservation of Historical Buildings. Coatings. 13(8): 1418. https://doi.org/10.3390/coatings13081418

FAO. 2024a. FAOSTAT: Land Use. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 17 pp. https://www.fao.org/about/who-we-are/departments/statistics-division

FAO. 2024b. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. https://doi.org/10.4060/cd0683en

Gui J.-F. 2024. Chinese wisdom and modern innovation of aquaculture. Water Biol. Secur. 3(3): 100271. https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100271

Hamed I., Özogul F., Regenstein J.M. 2016. Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. Trends Food Sci. Tech. 48: 40–50. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.11.007

Hengtrakool C., Wanichpakorn S., Kedjarune-Leggat U. 2023. Chitosan Resin-Modified Glass Ionomer Cement Containing Epidermal Growth Factor Promotes Pulp Cell Proliferation with a Minimum Effect on Fluoride and Aluminum Release. Polymers. 15(17): 3511. https://doi.org/10.3390/polym15173511

Hussien A. et al. 2023. A statistical analysis of life cycle assessment for buildings and buildings' refurbishment research. Ain Shams Eng. J. 14(10): 102143. https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102143

Huston D. et al. 2025. Chitosan Shrinking Fibers for Curing-Initiated Stressing to Enhance Concrete Durability. Materials. 18(7): 1574. https://doi.org/10.3390/ma18071574

Idoko J.E. et al. 2024. Mechanical properties and biodegradability of crab shell-derived exoskeletons in orthopedic implant design. World J. Biol. Pharm. Health Sci. 18(3): 116–131. https://doi.org/10.30574/wjbphs.2024.18.3.0339

Joseph S.M. et al. 2021. A review on source-specific chemistry, functionality, and applications of chitin and chitosan. Carbohydr. Polym. Technol. Appl. 2: 100036. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100036

Kruk S.R.L., Bush S.R., Phillips M. 2024. Federating "Aquaculture 4.0" for data-driven social and environmental sustainability. Mar. Policy. 169: 106355. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106355

Lakshmi D.S. et al. 2024. Valorization of Crustacean Shells: Preparation, Characterization, and Chemical Modification of Nano-Chitin Biopolymer Membrane for Application in Water Purification. Waste Biomass Valorization. 15(11): 6067–6090. https://doi.org/10.1007/s12649-024-02601-5

Leite L.P. et al. 2024. Desenvolvimento e caracterização de concreto sustentável com resíduos de conchas marinhas. Ambient. Constr. 24: e131502. https://doi.org/10.1590/s1678-86212024000100723

Leone R. et al. 2023. Recycling Mussel Shells as Secondary Sources in Green Construction Materials: A Preliminary Assessment. Sustainability. 15(4): 3547. https://doi.org/10.3390/su15043547

Li C. et al. 2025. Integrated Application of Biofloc Technology in Aquaculture: A Review. Water. 17(14): 2107. https://doi.org/10.3390/w17142107

Li K. et al. 2024. Assessing the spatial-temporal environmental efficiency of global construction sector. Sci. Total Environ. 951: 175604. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175604

Liao J. et al. 2018. Affecting mechanism of chitosan on water resistance of magnesium phosphate cement. Int. J. Appl. Ceram. Technol. 15(2): 514–521. https://doi.org/10.1111/ijac.12795

Liu L., Cheng W., Kuo H.-W. 2025. A Narrative Review on Smart Sensors and IoT Solutions for Sustainable Agriculture and Aquaculture Practices. Sustainability. 17(12): 5256. https://doi.org/10.3390/su17125256

Mahalingam V., Sivaraju M., Shanmugasundaram P. 2023. Synthesis of Silica/Hydroxyapatite Nanocomposites Using Rice Husk and Fish Scale for Corrosion Protection Application. Silicon. 15(13): 5603–5613. https://doi.org/10.1007/s12633-023-02469-5

Martínez-García C. et al. 2020. Carbonation evolution of lime putty coatings with mussel shell aggregate. Constr. Build. Mater. 264: 120165. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120165

Nguyen H.P., Wang C.M. 2024. Advances in Offshore Aquaculture and Renewable Energy Production. J. Mar. Sci. Eng. 12(9): 1679. https://doi.org/10.3390/jmse12091679

N'Souvi K. et al. 2024. Shrimp industry in China: overview of the trends in the production, imports and exports during the last two decades, challenges, and outlook. Front. Sustain. Food Syst. 7: 1287034. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1287034

Ou L. et al. 2025. Application of artificial intelligence in fish information identification: a scientometric perspective. Front. Mar. Sci. 12: 1575523. https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1575523

Page M.J. et al. 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. Syst. Rev. 10(1): 89. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4

Patil Y.R., Dakwale V.A., Ralegaonkar R.V. 2024. Recycling Construction and Demolition Waste in the Sector of Construction. Adv. Civ. Eng. 2024(1): 6234010. https://doi.org/10.1155/2024/6234010

Peixe BR. 2025. Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2025. Peixe Br. 67. https://www.peixebr.com.br/anuario-2025/

Pellis A., Guebitz G.M., Nyanhongo G.S. 2022. Chitosan: Sources, Processing and Modification Techniques. Gels. 8(7): 393. https://doi.org/10.3390/gels8070393

Pottier P. et al. 2024. Title, abstract and keywords: a practical guide to maximize the visibility and impact of academic papers. Proc. R. Soc. B-Biol. Sci. 291(2027): 20241222. https://doi.org/10.1098/rspb.2024.1222

Puspitasari F.H. et al. 2020. Potential of Chitosan Hydrogel Based Activated Carbon Nanoparticles and Non-Activated Carbon Nanoparticles for Water Purification. Fibers Polym. 21(4): 701–708. https://doi.org/10.1007/s12221-020-9746-6

Qin Z. et al. 2024. Study on the Effect of Citric Acid-Modified Chitosan on the Mechanical Properties, Shrinkage Properties, and Durability of Concrete. Materials. 17(9): 2053. https://doi.org/10.3390/ma17092053

R Core Team. 2025. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Ravi M. et al. 2021. A Review on Utilizing the Marine Biorefinery Waste in Construction Raw Materials to Reduce Land Pollution and Enhance Green Environment. Adv. Mater. Sci. 21(3): 43–62. https://doi.org/10.2478/adms-2021-0017

Sakthibala R.K. et al. 2025. A critical review on recycling and reuse of construction and demolition waste materials. Clean. Waste Syst. 12: 100375. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100375

Santos V.P. et al. 2020. Seafood Waste as Attractive Source of Chitin and Chitosan Production and Their Applications. Int. J. Mol. Sci. 21(12): 4290. https://doi.org/10.3390/ijms21124290

Sellars L., Franks B. 2024. How mariculture expansion is dewilding the ocean and its inhabitants. Sci. Adv. 10(42): 11. https://doi.org/10.1126/sciadv.adn8943

Singh V.K. et al. 2021. The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. Scientometrics. 126(6): 5113–5142. https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5

Verdegem M. et al. 2023. The contribution of aquaculture systems to global aquaculture production. J. World Aquacult. Soc. 54(2): 206–250. https://doi.org/10.1111/jwas.12963

Wang R. et al. 2025. Optimizing Soil Stabilization with Chitosan: Investigating Acid Concentration, Temperature, and Long-Term Strength. Polymers. 17(2): 151. https://doi.org/10.3390/polym17020151

Xia F.L.W. et al. 2024. Turning waste into value: Extraction and effective valorization strategies of seafood by-products. Waste Manag. Bull. 2(3): 84–100. https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.06.008

Yahcob-Saddalani S. et al. 2022. Chitin extraction from sardine fish scales. Int. J. Biosci. 1(5). https://doi.org/10.12692/ijb/21.5.216-222

Yang H. et al. 2025. AI-driven aquaculture: A review of technological innovations and their sustainable impacts. Artif. Intell. Agric. 15(3): 508–525. https://doi.org/10.1016/j.aiia.2025.01.012

Yehia S., Ibrahim A.M., Ahmed D.F. 2023. The impact of using natural waste biopolymer cement on the properties of traditional/fibrous concrete. Innov. Infrastruct. Solut. 8(11): 287. https://doi.org/10.1007/s41062-023-01253-z

Yuan C. et al. 2023. Preparation of high-performance deproteinized natural rubber/chitosan composite films via a green and sulfur-free method. J. Appl. Polym. Sci. 140(1): e53253. https://doi.org/10.1002/app.53253

Zhang R. et al. 2023. Systems approaches for sustainable fisheries: A comprehensive review and future perspectives. Sustain. Prod. Consum. 41: 242–252. https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.08.013

Zhao L. et al. 2024. Impact of chitosan extracted from shrimp shells on the shrinkage and mechanical properties of cement-based composites using dendritic fibrous nanosilica. Heliyon. 10(11): e31576. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31576

2 - CAPÍTULO 2: DESENVOLVIMENTO DE CONCRETOS SUSTENTÁVEIS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO PÓ DAS ESCAMAS DA TILÁPIA DO NILO

O conteúdo desse capítulo encontra-se publicado em dois artigos:

Revista Foco (Qualis 2017-2020: B2) Publicado 08-11-2023 DOI

https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n11-031

Revista Aracê (QUALIS CAPES 2017-2020: A2) publicado em 07-05-2025 DOI:

https://doi.org/10.56238/arev7n5-130

2.1 - RESUMO

Até 70% do peso total do peixe é descartado durante seu processamento, 5% destes são escamas, compostas principalmente por colágeno e hidroxiapatita que podem possuir certas propriedades adsortivas, e servirem como fonte de matéria-prima para diversos produtos úteis. O uso de um pó a base de escama de peixe sendo utilizado como adição em materiais cimentícios, pode contribuir para a sustentabilidade do setor pesqueiro e da construção civil, melhorando propriedades como resistência mecânica, devido às características de adsorção encontradas nas escamas, que podem ser capazes de proporcionar uma cura interna mais lenta ao concreto. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar o pó da escama de peixe: a Tilápia do Nilo, avaliar a consistência no estado fresco e a resistência mecânica à compressão dos concretos produzidos a partir dessa adição estando submetidos a dois tipos de cura: seca (ao ar) e úmida (submersos em água) em idades de 7, 28 e 91 dias. As escamas foram coletadas em uma indústria de processamento de pescado da região de Itaporã – MS, lavadas, secas e moídas em um moinho de facas para obtenção de um pó fino. Nesse pó realizou-se ensaio de perda ao fogo e difração de raio X (DRX). Foram produzidos corpos de prova de concretos 10x20cm utilizando um traço de referência de 1:2,1:2,92 (cimento:areia:brita) com relação água/cimento igual a 0,7 sem uso de aditivo, com teores de 0%, 2,5%, 5%, 7,5% e 10% em peso, em relação ao cimento, de adição de pó de escama. Os resultados indicaram que quando curado submerso em água os concretos apresentam sempre melhores resultados que quando curados ao ar. Adições do pó da escama em até 5% em idade de 28 dias resultaram no aumento da resistência mecânica à compressão comparado com a amostra de referência, os concretos curados ao ar tiveram ganho de 2,5% e, quando curados submersos em água esse incremento foi de 3,34%. A adição do pó diminui a consistência e trabalhabilidade dos concretos no estado fresco, todavia, a utilização desse resíduo contribuiria ambientalmente ao diminuir a quantidade de resíduos descartados pela indústria de processamento de pescado. Concluiu-se que a incorporação do pó das escamas da Tilápia do Nilo, em materiais cimentícios pode ser uma alternativa interessante e viável para a produção de concretos sustentáveis, mas é importante ressaltar que seu uso ainda é um campo de pesquisa em desenvolvimento. Portanto, é necessário realizar mais estudos avaliando eficácia e segurança dessa técnica em larga escala na construção civil.

Para teor de adição de 5% não houve reduções significativas na resistência comparado com a amostra de referência, sendo que para idade de 28 dias ocorreu até mesmo um pequeno incremento,

Palavras-Chave: Concreto. Concreto ecológico. Resíduo de peixe. Sustentabilidade. Agenda 2030

2.2 - ABSTRACTS

Up to 70% of the total weight of fish is discarded during processing; 5% of this is fish scales, composed mainly of collagen and hydroxyapatite, which may possess certain adsorptive properties and serve as a source of raw material for various useful products. The use of a fish scale-based powder as an additive in cementitious materials can contribute to the sustainability of the fishing and construction sectors, improving properties such as mechanical strength due to the adsorption characteristics found in the scales, which may be able to provide a slower internal curing of the concrete. This work aimed to characterize the Nile tilapia fish scale powder, evaluate the consistency in the fresh state, and the compressive strength of concretes produced from this additive subjected to two types of curing: dry (air-cured) and wet (submerged in water) at ages of 7, 28, and 91 days. Fish scales were collected from a fish processing plant in the Itaporã region of Mato Grosso do Sul, Brazil. They were washed, dried, and ground in a knife mill to obtain a fine powder. This powder was subjected to loss on ignition and X-ray diffraction (XRD) tests. Concrete specimens measuring 10x20cm were produced using a reference mix of 1:2.1:2.92 (cement:sand:gravel) with a water/cement ratio of 0.7 without additives, with additions of 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% by weight (relative to cement) of fish scale powder. The results indicated that when cured submerged in water, the concretes always show better results than when cured in air. Additions of Nile tilapia scale powder up to 5% at 28 days of age resulted in increased compressive strength compared to the reference sample. Air-cured concretes showed a 2.5% increase, and when cured submerged in water, this increase was 3.34%. The addition of the powder decreases the consistency and workability of the concrete in its fresh state; however, the use of this residue would contribute environmentally by reducing the amount of waste discarded by the fish processing industry. It was concluded that the incorporation of Nile tilapia scale powder into cementitious materials can be an interesting and viable alternative for the production of sustainable concretes, but it is important to emphasize that its use is still a developing field of research. Therefore, further studies are needed to evaluate the efficacy and safety of this technique on a large scale in civil construction.

Keywords: Concrete. Ecological concrete. Fish waste. Sustainability. Agenda 2030.

2.3 - INTRODUÇÃO

No Brasil, o aumento da população, aliado aos seus crescentes padrões de urbanização, deverá impulsionar a demanda por materiais à base de cimento nas próximas décadas (SNIC, 2019b). O consumo brasileiro no ano de 2022 foi de 62,8 toneladas (CIMENTO.ORG, 2023). Infelizmente, a indústria cimenteira responde, globalmente, por cerca de 7% de todo o gás carbônico emitido pelo homem (SNIC, 2019b). As exigências por aspectos sustentáveis se tornarão cada vez maiores no setor da construção civil.

No Brasil, conforme dados do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2023) a produção nacional de cimento atingiu a marca de 33,8 milhões de toneladas até junho de 2023.

Em 2015, a Assembleia Geral das Nações Unidas com a participação de 193 estados membros, dentre esses o Brasil, produziu a Agenda 2030 onde foi estabelecido 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) (STF, 2024). O compromisso assumido envolve a adoção de medidas para promover o Estado de Direito, os Direitos Humanos e a responsividade das instituições políticas (STF, 2024). A partir disso iniciou-se um envolvimento cada vez maior das empresas brasileiras em torno da sustentabilidade e uma maturidade crescente em relação ao tema.

No setor da construção civil, houve em 2019 o lançamento do Roadmap Tecnológico do Cimento, que traçou as principais ambições e diretrizes para a redução das emissões de carbono da indústria cimenteira do Brasil até 2050, e propôs alternativas para reduzir as emissões por meio de novas matérias primas e fontes alternativas de energia, como por exemplo, resíduos industriais (SNIC, 2019b).

A produção de um concreto feito com uso de resíduos e que atenda às exigências estruturais, além de ter relação direta com o que prevê alguns objetivos da Agenda 2030 quanto a necessidade de buscar alternativas econômicas e sustentáveis com vistas a processos industriais limpos e ambientalmente corretos, agrega valores de reciclagem trazendo benefícios ambientais e econômicos.

No Brasil a piscicultura gera cerca de 4 milhões de empregos diretos e indiretos. A produção brasileira em 2023 foi de 887.029 toneladas de peixes de cultivo, com crescimento de 3,1% sobre o resultado do ano anterior (860.355 toneladas). A Tilápia do

Nilo participou com 579.080 toneladas (65,3% do total), o Brasil já é o quarto maior produtor da espécie (PEIXE BR, 2024).

No entanto, até 70% do peso total do peixe pode ser descartado durante seu processamento, o que inclui cabeças (9–12%), vísceras (12–18%), pele (1–18%), ossos (9–15%) e escamas (5%) (GEHRING et al., 2011; GILMAN et al., 2020).

Dentre os subprodutos descartados, as escamas, devido a sua composição química, destacam-se com grande potencial de aproveitamento. As escamas são compostas de 41% a 45% por componentes orgânicos (colágeno, gordura, lecitina, esclerotina, vitaminas, etc.) e de 38% a 46% por componentes inorgânicos (hidroxiapatita deficiente em cálcio, cálcio, fosfato, etc.) e oligoelementos como magnésio, ferro, zinco, cálcio (CHINH et al., 2019; HOL`A et al., 2011). A conversão de escamas de peixe, consideradas resíduos, sendo muitas vezes descartadas, em materiais funcionais pode evitar o desperdício de recursos e alcançar grande valor comercial.

As escamas podem possuir certas propriedades adsortivas (RIBEIRO et al., 2015), que podem ser capazes de favorecer em termos de resistência mecânica materiais cimentícios compostos com produtos gerados a partir desses resíduos.

No setor da construção civil, são poucos os estudos desenvolvidos com os resíduos da pesca, os existentes abordam sobre o uso das escamas ou da hidroxiapatita, destacando as pesquisas de Oluchiri et al., (2019); Simsek, (2022) e Songtao et al., (2021).

O uso de um pó a base de escamas de peixe como adição em materiais cimentícios pode contribuir para a sustentabilidade, com a redução das emissões de CO_2 por m^3 de material cimentício produzido e com o aproveitamento do resíduo das escamas de peixe geradas pela indústria do pescado, de forma a obter um novo material com melhores propriedades mecânicas, devido às características de adsorção encontradas nas escamas, que seriam capazes de proporcionar uma cura interna mais lenta ao concreto, devido ao aprisionamento da água da mistura.

O presente estudo caracterizou a escama da Tilápia do Nilo, após processamentos de lavagem, secagem e moagem, para obtenção de um pó fino, na sequência, avaliou a consistência e a resistência mecânica à compressão de concretos produzidos com a adição desse pó nas porcentagens de 2,5%, 5%, 7,5% e 10% em relação ao peso de cimento, comparando os resultados com um concreto de referência.

2.4 - JUSTIFICATIVA

Tendo em vista os diversos problemas sociais e ambientais que o planeta está vivendo a busca por alternativas sustentáveis tem sido foco de encontros e debates entre governantes, empresários de diversos setores e da sociedade do mundo inteiro desde a década de 90.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como ECO-92, que reuniu mais de 100 chefes de estado no Rio de Janeiro já discutia como proteger o direito ao desenvolvimento para as gerações futuras. De lá para cá muitos encontros e ações foram realizadas. Na Assembleia Geral das Nações Unidas realizada em 2015 na cidade de Nova York, com a participação de 193 estados membros, surge a necessidade de ampliar e enfocar em um conjunto de objetivos e metas voltadas para o desenvolvimento sustentável, ficando conhecida como Agenda 2030 da ONU, que determinou 17 objetivos a serem atingidos até 2030 para a erradicação dos maiores problemas socioambientais.

Várias Conferências foram realizadas mundo a fora objetivando a adoção de práticas sustentáveis. No Brasil a realização da 30ª Conferência das Nações Unidas sobre mudança do Clima (COP 30) coloca o país anfitrião e todos os setores econômicos, ambientais e sociais na responsabilidade de apresentar ações viáveis para os desafios ambientais e a proposição de alternativas com vistas a mitigar os danos causados ao planeta.

Progredir com responsabilidade ambiental é o que o Brasil necessita, pois, como país em desenvolvimento, ainda tem um importante programa de infraestrutura a ser implementado. Além disso o aumento da população e seus crescentes padrões de urbanização, deverão impulsionar a demanda por materiais à base de cimento nas próximas décadas (SNIC, 2019b).

O principal desafio enfrentado pela indústria do cimento é reduzir as emissões de CO_2 ao mesmo tempo em que atende à demanda global. As necessidades de infraestrutura das economias em desenvolvimento exigem a criação e implantação de novas tecnologias a fim de reduzir as emissões do setor (IEA, 2023).

Assim, as exigências atuais por aspectos sustentáveis nos setores industriais tornam essa problemática relevante para o desenvolvimento da pesquisa científica. Poucos são os estudos desenvolvidos com a aplicação de resíduos da pesca no setor da construção civil, porém ao incorporar na forma de pó, em concretos, os resíduos das

escamas da Tilápia do Nilo, gerados na indústria do pescado, será possível proporcionar ao setor da pesca a destinação correta das escamas além de oportunizar na construção civil a criação de concretos mais sustentáveis e com propriedades de resistência mecânica possivelmente superiores comparados ao concreto convencional, o que poderá trazer benefícios tanto ambientais quanto econômicos para os dois setores.

Portanto, produzir um concreto sustentável pode ser uma alternativa viável economicamente para as indústrias cimentícia e pesqueira, além de garantir recursos naturais e ambiente limpo para as futuras gerações tendo em vista que aliar desenvolvimento econômico e conservação ambiental deve ser a meta de todos nós como sociedade.

2.5 - OBJETIVOS

2.5.1 - Objetivo Geral

Diante do alto consumo de cimento e consequentemente geração de CO_2, que está intrínseca na sua fabricação, e tendo em vista a grande produção brasileira de pescado e sua geração anual de resíduos, que normalmente são descartados e, sabedores das propriedades de adsorção presentes nas escamas de peixe, que podem ser capazes de proporcionar uma melhor cura interna ao concreto, este trabalho teve como objetivo geral caracterizar o pó da escama da Tilápia do Nilo e avaliar a consistência e resistência mecânica de concretos produzidos a partir dessa adição.

2.5.2 - Objetivos Específicos

- Caracterização e análise das escamas;
- Definição do tipo de cimento à ser utilizado na pesquisa;
- Caracterização dos agregados (areia e pedra brita) a serem empregados no concreto;
- Definição do traço de referência, porcentagens a serem testadas e protocolo para produção dos concretos;
- Determinação da consistência no estado fresco do concreto e moldagem dos corpos de prova;
- Determinação da resistência mecânica a compressão para as idades de 7, 28 e 91 dias para corpos de prova submetidos a dois tipos de cura (submersos em água e secos ao ar – simulando situação mais frequente na execução de obras).

2.6 - REVISÃO DE LITERATURA

2.6.1 - Materiais constituintes do concreto

2.6.1.1 – Aglomerante

O cimento Portland é um pó fino acinzentado, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, com inúmeras propriedades e características, dentre as quais ser moldável quando misturado com água e ser capaz de desenvolver elevada resistência mecânica (RIBEIRO, 2011).

O processo de produção do cimento se inicia na extração e trituração das matérias-primas de rochas calcárias e argila (COSTA, 2012). Quando o calcário é submetido a altas temperaturas (acima de 800°C) se torna cal (CaO) e gás carbônico (CO_2). A cal reage (em ambiente de 1450°C) com o óxido de alumínio - alumina (Al_2O_3), o óxido de ferro ou hematita (Fe_2O_3) e dióxido de silício - sílica (SiO_2), estes presentes na argila e em outras matérias primas, formando o *clínquer*, um material em forma de nódulos escurecidos. Após resfriado e moído, o *clínquer* recebe adição de sulfato de cálcio - gesso ($CaSO_4$), para impedir que as reações de hidratação entre o cimento e a água se processem instantaneamente (RIBEIRO, 2011).

O gesso é adicionado (3 a 5%) ao *clínquer* para regular como o cimento endurecerá (tempo de pega) e então a mistura é novamente moída sendo adicionados outros materiais. Essas adições, usadas em variadas proporções, dão ao cimento propriedades específicas como redução de permeabilidade, resistência a sulfatos e ambientes agressivos, melhor desempenho e acabamento (COSTA, 2012).

Existem diversos tipos de cimento Portland, os quais se diferem em função de sua composição (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Os principais tipos comercializados e os limites de suas composições são apresentados no Quadro 1, adaptado da Tabela 2 da ABNT NBR 16697/2018.

Quadro 1 – Composição limite para cimentos Portland.

Limites de Composição dos Cimentos Portland (% de massa)						
Designação	**Sigla**	**Sufixo**	**Clínquer + Gesso**	**Escória**	**Material Pozolânico**	**Material Carbonático**
Cimento Portland Comum	CP I	RS ou BC	95 - 100	0 - 5		
Cimento Portland Comum com Adição	CP I – S		90 - 94	0	0	6 - 10
Cimento Portland Composto com Escória Granulada de Alto Forno	CP II – E		51 - 94	6 - 34	0	0 - 15
Cimento Portland Composto composto com Material Pozolânico	CP II – Z		71 - 94	0	6 - 14	0 - 15
Cimento Portland Composto com Material Carbonático	CP II – F		75 - 89	0	0	11 - 25
Cimento Portland de Alto Forno	CP III		25 - 65	35 - 75	0	0 - 10
Cimento Portland Pozolânico	CP IV		45 - 85	0	15 - 50	0 - 10
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CP V-ARI*		90 - 100	0	0	0 - 10
Cimento Portland Branco Estrutural	CPB		75 - 100	-	-	0 - 25
* No caso de CPV-ARI RS, podem ser adicionadas escória ou material pozolânico						

Os principais produtos formados na hidratação do cimento são o silicato de cálcio hidratado e o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$). O silicato de cálcio hidratado é responsável por determinar a resistência mecânica e a durabilidade. Já o $Ca(OH)_2$ é solúvel e tem contribuição desprezível para a resistência mecânica, sendo sua principal influência positiva manter o elevado PH do ambiente dos concretos, impedindo a corrosão das armaduras (RODRIGUES et al., 2017).

2.6.1.2 - Agregados

Agregados é a denominação genérica dada aos materiais que são acrescentados ao cimento e à água para se obterem as argamassas e os concretos. Eles se apresentam em forma de grãos, tais como areia e britas, e devem ser inertes e isentos de impurezas. Constituem aproximadamente 70% do volume total dos produtos em que são utilizados. Podem ser classificados em miúdos e graúdos conforme à dimensão de seus grãos. (RIBEIRO, 2011).

Os agregados miúdos são as areias de origem natural (encontrada na natureza sob a forma definitiva de utilização) ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas. Já os agregados graúdos são os pedregulhos ou a brita proveniente de rochas estáveis, ou mistura de ambos (NBR 7211/2009).

Os agregados podem também, ser classificados de acordo com a composição granulométrica, que é a expressão das proporções dos grãos de diferentes tamanhos. O Quadro 1 apresenta a classificação segundo Bauer (2015).

Quadro 2 - Classificação granulométrica dos agregados

Agregado	**Granulometria (mm)**
Areia fina	0,05 a 0,3
Areia média	0,3 a 1,20
Areia grossa	1,2 a 4,8
Pó de pedra	menor que 4,8
Brita 0 ou pedrisco	4,8 a 9,5
Brita 1	9,5 a 19
Brita 2	19 a 25
Brita 3	25 a 50
Brita 4	50 a 76

Fonte: Bauer (2015)

2.6.1.3 - Água

A água é o ingrediente responsável pelas reações de hidratação do cimento, fazendo a união entre os demais componentes, fornecendo plasticidade para o concreto. No amassamento do concreto a água a ser usada não deve conter impurezas que possam

prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento (PETRUCCI, 1998). Pois, impurezas em excesso podem afetar a resistência, o tempo de pega, a ocorrência de eflorescência e a corrosão da armadura (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O teor de água do concreto fresco é obtido através da relação em peso água-cimento (fator a/c). Dessa forma a quantidade de água é estabelecida conforme o traço elaborado através da dosagem e deve ser seguida, pois alterações dessa medida influenciarão diretamente na resistência do concreto (DURAN e FRACARO, 2011).

2.6.2 – Concreto e suas características

O concreto é o segundo material mais consumido no mundo, sendo precedido apenas pela água IBRACON (2009). O concreto de cimento Portland é formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo, graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (NBR 12655/2015).

Os aditivos são empregados no concreto com o intuito de melhorar ou corrigir algumas de suas propriedades. Esses materiais podem proporcionar ao concreto alterações de propriedades como plasticidade, permeabilidade, tempo de pega e resistência à compressão.

O concreto é um material que responde bem às tensões de compressão, mas em contrapartida responde mal às tensões de tração. Na resistência à compressão ele resiste aproximadamente dez vezes mais que na resistência à tração; na flexão, a resistência à tração (módulo de ruptura) é geralmente duas vezes maior que as resistências obtidas por tração simples. O concreto resiste mal ao cisalhamento, em função das tensões de distensão que então se verificam em planos inclinados. São vários os fatores que podem afetar a resistência mecânica do concreto, sendo o principal deles a relação água/cimento (PETRUCCI, 1987).

Quando em seu estado fresco, a consistência do concreto é utilizada para relacionar suas características com a mobilidade da massa e a coesão dos insumos que o compõem. A NBR NM 67/1998 descreve os procedimentos para a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone também chamado slump test.

Quando no estado endurecido a NBR 5739/2018 descreve os procedimentos para a determinação da resistência a compressão axial do concreto através de ensaio de

compressão de corpos de prova cilíndricos moldados e curados conforme NBR 5738/2015 a qual recomenda que o ensaio seja realizado nas idades de 7, 28 e 91 dias.

Segundo Petrucci (1998) e Neville e Brooks (2013), cura é um termo utilizado aos processos que visam evitar a perda de água necessária a hidratação do cimento e consequente desenvolvimento da resistência.

Para Mehta e Monteiro (2008), a hidratação do cimento Portland cessa quando não existir mais cimento livre, ou seja, tenha sido totalmente hidratado ou bem curado. Outro fator é a falta de água, não sendo possível a reação de hidratação e consequente paralisação da cura. Destaca ainda que a hidratação e desenvolvimento da resistência do cimento, não depende unicamente dos componentes intrínsecos ao mesmo, dando importância a procedimentos físicos como a cura, caso este demonstrado em pesquisas feitas por Fernández (2010); Silva (2009) e Quarcioni (2008).

A cura adequada, desempenha papel fundamental no processo de ganho de resistência, garantindo a hidratação dos compostos do cimento Portland e evitando a fissuração por retração nas primeiras idades (METHA, MONTEIRO, 2008). Para uma determinada relação água/cimento, quanto maior o período de cura, maior será a resistência final obtida (METHA, MONTEIRO, 2008).

A durabilidade das estruturas depende das características de resistência a compressão do concreto, da espessura e da qualidade do cobrimento da armadura (CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2007).

Diversos autores, como exemplo os de estudos mais recentes de De Faria, C. S. et al (2021) e De Assunção; De Almeida e Gomes (2021) já estudaram as características do concreto conforme o tipo de cura, de forma geral, o concreto de cimento Portland, quando submetido a cura, onde ocorre sua saturação na presença de água, alcança resistências melhores em comparação com a cura ao ar, após 28 dias.

2.6.3 - Indústria cimenteira: consumo e desafios do setor

No setor da Construção Civil a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) revisou de 1,3% para 2,3% a sua previsão de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) para 2024, índice acima das previsões para o PIB Brasil deste ano.

O consumo brasileiro no ano de 2022 foi de 62,7 toneladas (CIMENTO.ORG, 2023). Conforme dados do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2023) a

produção nacional de cimento atingiu a marca de 66,5 toneladas em 2023. As projeções do SNIC apontam crescimento na demanda de cimento para os próximos anos.

O Quadro 3 apresenta a evolução de 1950 à 2023 do consumo de cimento Portland no Brasil (em mil toneladas).

Quadro 3 - Consumo de cimento de 1950 à 2023

Ano *Year*	Produção* *Production**	Despacho Interno* *Domestic Sales**	Exportação *Exports*	Importação *Imports*	Consumo Aparente *Apparent Consumption*	
					Total	Per Capita (Kg/hab)
1950	1.386	1.386	-	404	1.790	34
1951	1.456	1.456	-	657	2.113	39
1952	1.619	1.619	-	820	2.439	44
1953	2.030	2.030	-	997	3.027	53
1954	2.441	2.440	-	338	2.778	47
1955	2.734	2.705	-	243	2.948	49
1956	3.279	3.260	3	32	3.282	53
1957	3.376	3.368	5	11	3.379	53
1958	3.769	3.789	4	1	3.790	57
1959	3.822	3.812	5	41	3.853	57
1960	4.447	4.447	3	2	4.449	63
1961	4.709	4.702	3	-	4.702	65
1962	5.072	5.033	3	2	5.035	68
1963	5.188	5.202	3	8	5.210	68
1964	5.583	5.557	-	29	5.886	71
1965	5.624	5.630	3	43	5.673	70
1966	6.046	6.032	3	93	6.125	74
1967	6.405	6.367	14	125	6.492	76
1968	7.281	7.249	7	585	7.834	89
1969	7.823	7.822	1	609	8.431	93
1970	9.002	8.994	-	334	9.328	100
1971	9.803	9.768	-	279	10.047	105
1972	11.381	11.345	-	245	11.590	118
1973	13.388	13.238	123	235	13.473	134
1974	14.920	14.890	113	243	15.103	147
1975	16.737	16.648	46	235	16.883	160
1976	18.347	18.649	51	338	18.387	180
1977	21.123	20.910	28	261	21.171	191
1978	23.203	23.026	127	180	23.206	205
1979	24.874	24.775	182	101	24.876	214
1980	27.193	26.885	204	26	26.911	227
1981	26.051	25.951	164	7	25.958	214
1982	25.644	25.449	7	21	25.470	205
1983	20.870	20.858	19	3	20.861	164
1984	19.497	19.309	91	2	19.311	148
1985	20.635	20.547	151	2	20.549	155
1986	25.257	25.223	72	6	25.225	186
1987	25.468	25.284	72	22	25.306	183
1988	25.329	25.281	47	46	25.327	179
1989	25.920	25.769	65	64	25.833	179
1990	25.849	25.916	54	54	25.980	177
1991	27.490	27.335	49	8	27.343	183
1992	23.903	23.993	60	110	24.103	159
1993	24.843	24.811	58	113	24.924	162
1994	25.230	25.046	40	274	25.320	162
1995	28.256	28.063	59	451	28.514	179
1996	34.597	34.505	99	420	34.825	216
1997	38.096	37.921	152	517	38.438	235
1998	35.942	35.705	102	437	40.142	241
1999	40.234	40.045	122	155	40.200	238
2000	39.301	38.550	186	160	38.710	227
2001	39.453	38.778	127	134	38.912	220
2002	38.927	38.728	106	145	38.873	217
2003	35.122	34.661	431	223	34.884	192
2004	35.984	35.481	565	253	35.714	195
2005	38.705	37.443	933	223	37.666	203
2006	41.895	40.825	1.046	202	41.027	219
2007	46.551	44.785	1.244	277	45.062	238
2008	51.970	51.293	515	278	51.071	270
2009	51.747	51.501	46	391	51.892	269
2010	59.117	59.155	36	853	60.006	308
2011	64.093	63.881	44	1.091	64.972	331
2012	66.809	66.347	26	977	67.324	341
2013	70.161	69.940	22	1.027	70.967	358
2014	72.503	71.873	23	817	72.690	362
2015	66.489	65.682	86	504	66.186	327
2016	58.180	57.855	191	313	57.958	284
2017	54.004	53.304	80	399	53.703	262
2018	53.802	52.790	101	230	52.940	256
2019	56.611	54.658	142	136	54.794	264
2020	61.052	60.460	273	138	60.198	290
2021	65.884	64.373	488	151	64.524	307
2022	63.348	62.819	410	149	62.758	298
2023	66.526	62.074	204	136	62.210	294

(*) Incluídos os ajustes/*Adjustments included*.
Fontes/*Source*: IMPORTAÇÃO/*Imports*: SECEX; - POPULAÇÃO/*Population*: IBGE.

Fonte: SINIC (2023)

Infelizmente, está intrínseco no processo produtivo do cimento a emissão de dióxido de carbono (CO_2), tanto na transformação química da matéria-prima em cimento, quanto na queima de combustíveis utilizados para possibilitar essa transformação, gás o qual contribui significativamente para as mudanças climáticas. A indústria cimenteira responde, globalmente, por cerca de 7% de todo o gás carbônico emitido pelo homem (SNIC, 2019b). As exigências por aspectos sustentáveis se tornarão cada vez maiores no setor da construção civil.

O alto consumo de materiais cimentícios e consequentemente as emissões de CO_2 geradas mostram a necessidade da busca de alternativas que visem a sustentabilidade nesse setor.

Em 2019 houve o lançamento do Roadmap Tecnológico do Cimento, documento que traça as principais ambições e diretrizes para a redução de quase 35% das emissões de carbono da indústria cimenteira do Brasil até 2050. O documento propõe alternativas para reduzir as emissões de CO_2 da atividade por meio de novas matérias primas e fontes alternativas de energia, como lixo doméstico, resíduos agrícolas e industriais, dentre outros (SNIC, 2019a).

A utilização de resíduos descartados capazes de substituir o cimento constitui transformação de fonte de despesa em obtenção de novos materiais, sendo uma alternativa para retirar do meio ambiente os rejeitos e resíduos que diariamente são produzidos como subprodutos pela indústria e não utilizados na sua totalidade (GALVÃO et al., 2018).

2.6.4 - Indústria do pescado: Escamas de peixe: propriedades e aplicações

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2021) o Brasil, em 2019, produziu 432.149 toneladas de tilápia, representando 57% de toda a Piscicultura brasileira.

Em 2023, segundo a Associação Brasileira da Piscicultura (PEIXE BR, 2024) o Brasil produziu 887.029 toneladas de peixes de cultivo, com crescimento de 3,1% sobre o resultado do ano anterior (860.355 toneladas). A tilápia participou com 579.080 toneladas (65,3% do total). A piscicultura gera cerca de 4 milhões de empregos diretos e indiretos. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de tilápia, atrás de China, Indonésia e Egito.

No entanto, até 70% do peso total do peixe é descartado durante seu processamento, o que inclui cabeças (9–12%), vísceras (12–18%), pele (1–18%), ossos (9–15%) e escamas (5%) (GEHRING et al., 2011; GILMAN et al., 2020).

Gonçalves, 2024 apresenta por meio da Figura 1 algumas das possibilidades de aproveitamento e transformação do resíduo do processamento do pescado em novos subprodutos.

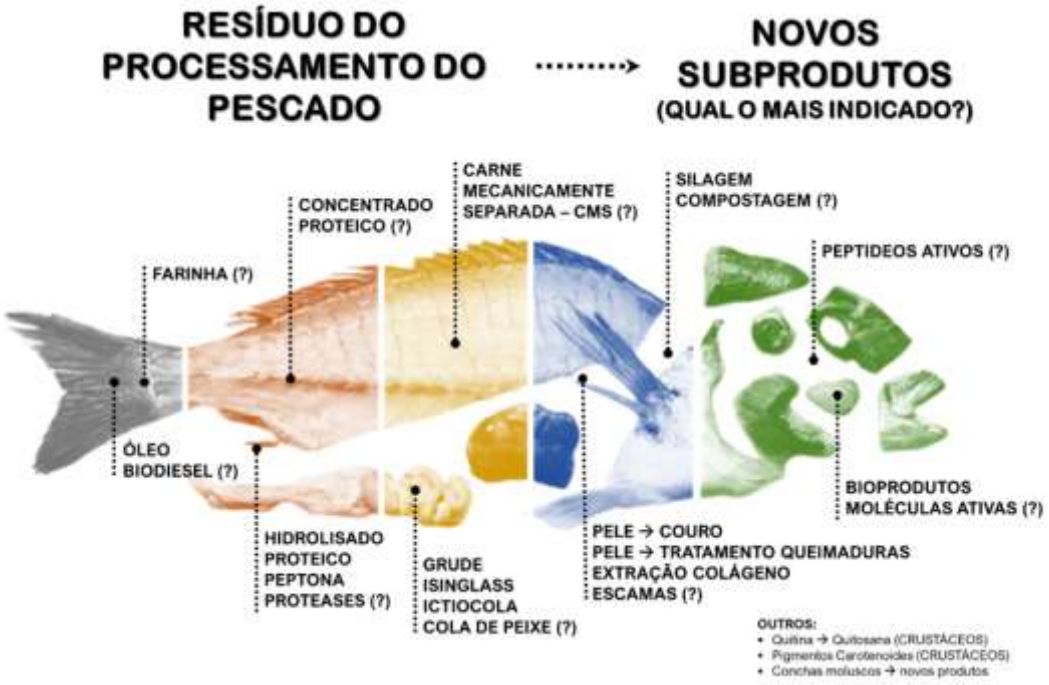


Figura 5 - Possibilidades de aproveitamento e transformação do resíduo do processamento do pescado (Fonte: Gonçalves, 2024)

Alguns dos subprodutos podem ser usados como ração animal, farinha de peixe, óleo ou fertilizante vegetal, mas o que acontece na maioria dos casos é apenas o descarte (GEHRING et al., 2011), (GILMAN et al., 2020). Dessa forma, é notável a necessidade de valorização desses subprodutos, visando maior aproveitamento e sustentabilidade nesse setor. A conscientização mundial a respeito desse tema tem se intensificado nos últimos anos, e muitos pesquisadores estão buscando o reaproveitamento desses resíduos em vários setores.

Dentre os subprodutos descartados, as escamas, devido à sua composição química, destacam-se com grande potencial de aproveitamento. Conforme Golçalves, 2024 as escamas de peixe apresentam as principais utilizações dentro da indústria alimentícia, cosmética, farmacêutica e textil.

As escamas são placas mineralizadas que cobrem a camada da derme e da epiderme como a única proteção da pele para os peixes. Elas podem variar em formas e ornamentações devido a vários fatores como o tipo de espécie de peixe, hábitos, idades e tamanhos, mas exibem características semelhantes em sua estrutura geral (ESMAEILI et al., 2019).

As escamas são compostas de 41% a 45% por componentes orgânicos (colágeno, gordura, lecitina, esclerotina, vitaminas, etc.) e de 38% a 46% por componentes inorgânicos (hidroxiapatita deficiente em cálcio, cálcio, fosfato, etc.) e oligoelementos como magnésio, ferro, zinco, cálcio (CHINH et al., 2019), (HOL`A et al., 2011).

A conversão de escamas de peixe descartadas em materiais funcionais, pode evitar o desperdício de recursos e alcançar grande valor comercial.

De acordo com Ribeiro et al., (2015) as escamas que são constituídas principalmente por fibras de colágeno cercadas por hidroxiapatita e outros compostos de cálcio podem possuir certas propriedades adsortivas.

O estudo de Ooi et al., (2017) desenvolveu um adsorvente atóxico e renovável feito de escamas de peixe mistas (barbatana (*Eleutheronema tetradactylum*), garoupa (*Epinephelus moara*) e pargo (*Lutjanus johnii*)), capaz de sequestrar o corante ácido azul 113, tipicamente usado no tingimento de tecidos, produtos farmacêuticos e couros.

Já Mukkanti e Tembhurkar, (2021) mostraram a viabilidade e eficiência do uso do resíduo das escamas do peixe Labeo rohita (rohu) como material adsorvente capaz de remover o flúor da água (desfluoração) em até 93,32%.

A hidroxiapatita, presente nas escamas de peixe, dispõe de um alto potencial para aplicações biomédicas, devido a sua similaridade com a estrutura mineral dos ossos, bem como, biocompatibilidade, atoxicidade, osteocondutividade, bioatividade, etc (LIMA et al., 2022), tornando-se bastante utilizada na área ortopédica, como material para implantes ósseo e próteses. Também são aplicadas na liberação controlada de drogas, no revestimento de implantes e na confecção de andaimes para a Engenharia de Tecidos (GOMES et al., 2019).

No setor da construção civil, são poucos os estudos desenvolvidos com os resíduos do pescado, os existentes também se limitam ao uso das escamas ou da hidroxiapatita, o qual está presente na composição das escamas.

Oluchiri, (2019) avaliou o desempenho de blocos de alvenaria com substituição parcial da areia por serragem misturada com escamas de peixe trituradas e moídas, no estudo foram feitas misturas de concreto substituindo a areia por serragem e escamas de

peixe em teores de até 20% concluindo que quanto maior o teor de substituição menos trabalhável fica a mistura e que para a produção de concreto leve existe a possibilidade desse tipo de substituição. A substituição ótima de areia por escamas de peixe foi encontrada em 5%. Além desse limite, o concreto produzido não atendeu aos requisitos mínimos de resistência, no entanto, para fins de preenchimento, onde à resistência não é o critério, os blocos de concreto desenvolvidos podem ser uma alternativa visando o aproveitamento desses resíduos.

Simsek, (2022) investigou a viabilidade do uso de hidroxiapatita com óxido de grafeno e nanopartículas de prata para autocurar rachaduras estreitas que são difíceis de detectar e que ocorrem ao longo do tempo ameaçando a segurança e a durabilidade dos edifícios. Ele alcançou a cicatrização da largura da microfissura na superfície das pastas de cimento em 62,52%, pela incorporação com Hidroxiapatita e nanopartículas de prata.

Bastidas et al., (2010) investigou a hidroxiapatita e outros fosfatos como materiais inibidores de corrosão da armadura do concreto armado, no entanto os resultados indicaram que a capacidade de aprisionamento foi muito baixa para fixar íons cloreto em valores de PH da ordem da solução da rede de poros do concreto.

Songtao et al., (2021) estudou o efeito do pó de escama de peixe no desempenho de ligantes asfálticos avaliando a possibilidade de usar esse pó como modificador de asfalto. Na pesquisa foi verificado que o pó da escama melhorou adesão, propriedades isoelásticas, suscetibilidade à temperatura e resistência à deformação permanente do asfalto e descobriu-se que o pó da escama em baixo teor teve pouco efeito sobre o envelhecimento, fadiga e resistência à fissuração do asfalto, dessa forma o pó das escamas se mostrou ser um promissor biomaterial ecológico e sustentável para o setor de pavimentação.

As exigências atuais por aspectos sustentáveis nos setores industriais tornam essa problemática relevante para o desenvolvimento da pesquisa científica. O uso de pó de escama de peixe como uma adição no concreto, além de contribuir para a sustentabilidade, pode melhorar propriedades como resistência mecânica, devido à características de adsorção encontradas nas escamas, que seriam capazes de proporcionar uma cura interna mais lenta ao concreto, por meio do aprisionamento da água da mistura. logo, qualquer avanço de conhecimento técnico-científico nessa área poderá trazer benefícios não apenas ambientais, mas também econômicos.

2.6.5 – Sustentabilidade: Parcerias entre setores

A Agenda 2030 da ONU é um plano global para atingirmos em 2030 um mundo melhor para todos os povos e nações. Em setembro de 2015, a Assembleia Geral das Nações Unidas, realizada em Nova York, com a participação de 193 estados membros, dentre esses o Brasil, estabeleceu 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) (STF, 2024).

O compromisso assumido pelos países com a agenda envolve a adoção de medidas para promover o Estado de Direito, os direitos humanos e a responsividade das instituições políticas (STF, 2024).

A Figura 2 apresenta os 17 objetivos do desenvolvimento sustentável, dentre os quais os itens 2, 3, 8, 9, 11, 12, 13 estão diretamentes alinhados com os objetivos do pesente estudo.



Figura 6 - 17 objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) (Fonte: STF,2024)

No Brasil, há um envolvimento cada vez maior das empresas brasileiras em torno da sustentabilidade e uma maturidade crescente em relação ao tema. A produção de um concreto sustentável tem relação direta com o que prevê alguns Objetivos da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), ou seja, a necessidade de buscar alternativas econômicas e sustentáveis com vistas a processos industriais limpos e ambientalmente corretos.

Dessa forma, o uso de escamas de Tilápia para produção de materiais cimentícios pode ser uma alternativa viável economicamente para a indústria cimentícia e pesqueira, pois ao aproveitar esse resíduo, que poderia estar sendo descartado incorretamente e poluindo o meio ambiente, transforma-o em um pó capaz de melhorar a resistência do concreto, possibilitando consequentemente a redução da emissão de CO_2 ao diminuir a quantidade de cimento na produção desses materiais cimentícios.

2.7 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.7.1 - Escamas de peixe

As escamas do peixe foram fornecidas pela Indústria de processamento de pescado Mar e Terra, localizada no município de Itaporã – MS.

Esse resíduo, atualmente não possui nenhum tipo de aproveitamento indo diretamente para o aterro sanitário. De acordo com dados fornecidos pela indústria, até final de 2022 estavam sendo abatidos em média 20 mil peixes por dia que equivalem a aproximadamente 1,6 toneladas de Tilápia do Nilo, ainda, conforme a indústria, o resíduo da escama equivale a cerca de 3,2% do peso vivo do pescado, logo estima-se que sejam gerados por mês, em torno de 1 tonelada de escamas.



Figura 7 - Coleta das escamas descartadas pela indústria (Fonte: Autor)

As escamas foram coletadas todas no dia 16 de março de 2022 e foram submetidas, já na Universidade, a um pré-tratamento para remoção do odor. O resíduo foi submetido a um processo de lavagem no qual foi utilizado apenas água potável e agitador mecânico (betoneira). A lavagem foi realizada até o momento em que a troca de água tivesse aparência límpida. Em média a cada 10kg do resíduo sujo foram necessárias de 4 a 5 trocas de água.



Figura 8 - Lavagem das escamas (Fonte: Autor)

Após lavada, as escamas foram expostas para secar ao sol e armazenadas em sacos herméticos e impermeáveis para evitar contaminação e absorção da umidade do ar.



Figura 9 - Secagem ao sol (Fonte: Autor)



Figura 10 - Escamas secas ao sol (Fonte: Autor)



Figura 11 - Escamas secas ao sol armazenadas (Fonte: Autor)

O resíduo pré-tratado foi seco em estufa durante 24 horas, sob temperatura de 100 ± 5 °C a fim de adquirir constância em massa e novamente ensacados.

Posteriormente, após tentativas fracassadas de moagem em moinho de bolas esféricas, as escamas foram moídas em moinho de facas (modelo SOLAB SL31 com capacidade de 50g e contendo 4 facas móveis e 2 facas fixas com saída por tela mesh 3mm) para obtenção de um pó fino e homogêneo, sendo armazenado em sacos plásticos.



Figura 12 - Escamas secas em estufa (Fonte: Autor)



Figura 13 - Escamas sendo moídas em moinho de bolas cerâmicas (Fonte: Autor)



Figura 14 - Escamas sendo moídas em moinho de bolas de ferro (Fonte: Autor)



Figura 15 - Ineficácia da moagem utilizando moinho de bolas (Fonte: Autor)



Figura 16 - Escamas sendo moídas em moinho de facas (Fonte: Autor)

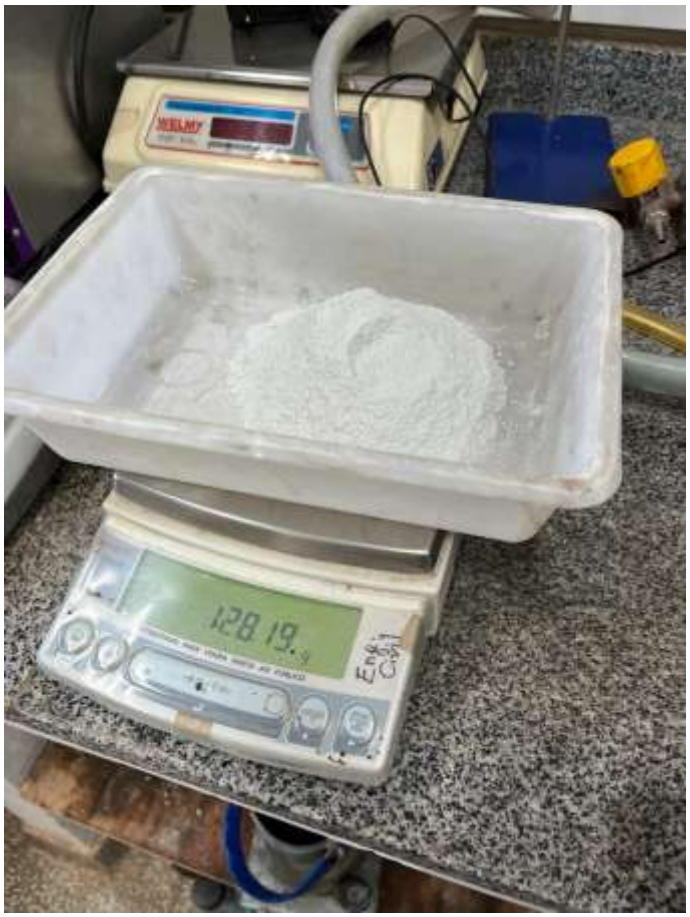


Figura 17 - Pó obtido através do moinho de facas (Fonte: Autor)

O pó resultante foi submetido ao ensaio de perda ao fogo conforme NBR NM 18/2012. O ensaio de perda ao fogo consiste na determinação da porcentagem de massa da amostra que é perdida ou decomposta quando a mesma é submetida a aquecimento pré-determinado. Esta perda de massa está relacionada com a água estrutural existente na amostra e com matéria orgânica que pode ser um contaminante da amostra. Nesse ensaio foi utilizado forno mufla sob temperatura de 1000 ± 5 °C durante 24 horas.



Figura 18 - Pó da escama sendo queimado em mufla (Fonte: Autor)



Figura 19 - Pesagem para cálculo da perda ao fogo (Fonte: Autor)

Nesse estudo foi caracterizado por meio da difração de Raio (DRX), uma amostra do pó da escama da Tilápia queimada em mufla 1000 ± 5 °C durante 24 horas. Tendo em vista as características das composições das escamas de peixe, rica em hidroxiapatita (CHINH et al., 2019), (HOL`A et al., 2011), espera-se encontrar o plano cristalográfico similar a essa fase.

A Difração de Raio (DRX) é usada para determinações da estrutura cristalina e do espaçamento interplanar. Um feixe de raios X direcionado sobre um material cristalino pode sofrer difração (interferência construtiva) como resultado da sua interação com uma série de planos atômicos paralelos. A Lei de Bragg especifica a condição para a difração dos raios X, relacionando o comprimento de onda dos raios X e o espaçamento interatômico ao ângulo do feixe difratado. (CALLISTER; RETHWISCH, 2012).

O resultado é apresentado em um gráfico conhecido por difratograma, tendo como variáveis o ângulo e a intensidade dos picos difratados. Os picos de alta intensidade ocorrem quando a condição de difração de Bragg é satisfeita por algum conjunto de planos cristalográficos (CALLISTER; RETHWISCH, 2012). Cada estrutura cristalina

possui um padrão característico de difração. A interpretação do difratograma se faz com base em um banco de dados no qual é realizada comparações com os padrões produzidos por estruturas cristalinas já conhecidas e, previamente analisadas.

A amostra, foi exposta aos raios X no equipamento Shimadzu Lab X XRD 6000 que conta com um tubo de raio X de Cu com saída máxima de 2 kW e goniômetro do tipo vertical com raio de varredura de 185 mm do departamento de Física da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). A medida foi realizada entre 10º e 60º, com passo angular de 2º por minuto.

Com os resultados do ensaio de DRX, foi obtido as informações cristalográficas e gerado, com auxílio de um software de análise de dados e gráficos (Origin), o difratograma.

2.7.2 - Agregados

Foi utilizado como agregado miúdo a areia quartzosa. Nela foram realizados os ensaios de massa específica conforme NBR NM 52/2009 e de granulometria utilizando agitador de peneiras mecânico seguindo as prescrições da NBR NM 248/2003, sendo desenvolvida a sua curva granulométrica e determinado o módulo de finura e o diâmetro máximo característico (DMC) do agregado.

Como agregado graúdo utilizou-se brita basáltica. Nela foram realizados os ensaios de massa específica conforme NBR NM 53/2009 e de granulometria utilizando agitador de peneiras mecânico seguindo as prescrições da NBR NM 248/2003, sendo desenvolvida sua curva granulométrica e determinado o diâmetro máximo característico (DMC) do agregado.

2.7.3 - Cimento

O cimento utilizado na presente pesquisa foi o cimento Portland CPV ARI (Cimento de alta resistência inicial) produzido pela Cimento Nacional, de massa específica aparente 1,2g/cm³ e densidade 2,99g/cm³ de acordo com o fabricante.

O cimento Portland CPV ARI tem como características principais a cura rápida e a alta resistência inicial, normalmente é utilizado quando se necessita de rápida desforma. A escolha se deu devido à ausência em sua composição de escória e material pozolânico, a fim de não interferir nos resultados da pesquisa.

A atualização feita na norma de especificação de cimento ABNT NBR 16697/2018 unificou os requisitos de todos os tipos de cimento em um só documento e teve como principal mudança o aumento do teor de adição de fíller calcário. Essa modernização visa um alinhamento com padrões normativos internacionais e atende aos direcionamentos da Agência Internacional de Energia (IEA) e da Iniciativa pela Sustentabilidade do Cimento (CSI), que incentivam a adoção de alternativas ou tecnologias mais avançadas para diminuir emissões específicas de CO_2 por tonelada de cimento.

2.7.4 - Água

Foi empregada água potável, disponível pela Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul (SANESUL). De acordo com ABNT NBR 15900-1/2009, a água de abastecimento público é considerada adequada para uso em concreto e não necessita ser ensaiada.

2.7.5 - Produção dos concretos

O presente estudo confeccionou corpos de prova de concreto com adição de pó da escama da Tilápia do Nilo, em teores de 2,5%, 5%, 7,5% e 10% além de uma amostra para controle (sem pó de escama).

Os corpos de prova foram preparados no Laboratório de Engenharia de Produto e Processo (LEPP) com concreto convencional de traço de referência 1:2,1:2,92 (cimento:areia:brita) com relação água/cimento igual a 0,7 sem uso de aditivos. A adição do pó da escama da Tilápia se deu em peso em relação ao cimento.

O traço de referência utilizado foi adaptado utilizando como base o Manual de traços de concreto do Engenheiro Gildásio Rodrigues da Silva, considerado referência na área de dosagem de concretos.

Tabela 1 – Traço utilizado conforme teor de adição de pó da escama no concreto (Fonte: Autor)

Pó de escama (g)	**Cimento (kg)**	**Areia (kg)**	**Brita 1 (kg)**	**Água (L)**
0	1	2,1	2,92	0,7
25	1	2,1	2,92	0,7

50	1	2,1	2,92	0,7
75	1	2,1	2,92	0,7
100	1	2,1	2,92	0,7

Os agregados utilizados para produção dos concretos foram previamente secos em estufa durante 24 horas a 100 ± 5 °C.



Figura 20 - Agregados sendo secos em estufa (Fonte: Autor)

Inicialmente, definiu-se um padrão de mistura na seguinte ordem: brita, areia, metade da água, agitação por aproximadamente 30s na betoneira, cimento, pó da escama, restante da água e agitação por 4 minutos.

Percebeu-se que o pó da escama apresentava grande dificuldade em se dissolver e homogeneizar na mistura de concreto, provavelmente devido às características de adsorção do material. Desse modo, optou-se por fazer uma pré-dissolução do pó com uma parcela da água da mistura, a fim de facilitar posteriormente a homogeneização de todos os materiais. Ficando da seguinte ordem: brita, areia, metade da água, agitação por

aproximadamente 30s na betoneira, cimento, mistura do pó da escama com pequena parcela de água, restante da água e agitação por 4 minutos.



Figura 21 - Produção dos concretos (Fonte: Autor)

Após o preparo do concreto, realizou-se o ensaio de abatimento de tronco de cone (slump test) conforme ABNT NBR NM 67/1998, a fim de avaliar a consistência dos concretos recém preparados, e logo em seguida, a moldagem dos corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm conforme ABNT NBR NM 5738/2015.



Figura 22 - Ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump) (Fonte: Autor)



Figura 23 - Corpos de prova moldados (Fonte: Autor)

Para cada traço, foram moldados no mínimo 6 corpos de prova que foram desmoldados após 24 horas e separados conforme o tipo de cura. 3 foram submersos em água e 3 ficaram dentro do laboratório secando ao ar (simulando situação mais frequente na execução de obras), onde permaneceram até o momento de sua retificação e ruptura.



Figura 24 - Corpos de prova desmoldados (Fonte: Autor)



Figura 25 - Corpos de prova sob cura úmida (Fonte: Autor)

No dia do rompimento, os corpos de prova a serem ensaiados foram levados para uma retífica, e com o uso do paquímetro obtidas suas dimensões com precisão.



Figura 26 - Corpo de prova sendo retificado (Fonte: Autor)

O rompimento ocorreu de acordo com as prescrições da ABNT NBR 5739/2018, nas idades recomendadas de 7, 28 e 91 dias em prensa hidráulica (Modelo WDW 800 E classe 1). Com os dados obtidos do ensaio de compressão e tendo as dimensões de cada corpo de prova foi calculada a resistência à compressão dos concretos.



Figura 27 - Corpos de prova sendo ensaiados à compressão (Fonte: Autor)

Posteriormente, calculou-se a média dos resultados, o desvio padrão e a avaliação do coeficiente de variação dos ensaios seguindo as recomendações da NBR 5739/2018 em seu anexo B.

2.8 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.8.1 - Ensaio de perda ao fogo do pó da escama

O pó analisado apresentou resultado de perca ao fogo de 8,5%.

2.8.2 - Ensaio de difração de raio X

A Figura 28 apresenta o difratograma obtido no ensaio de DRX. A partir da análise do gráfico, temos que o plano cristalográfico para a amostra de pó da escama da Tilapia foi similar à fase hidroxiapatita de acordo com o banco de dados padrão do ICDD (cartão nº 01-074-0566) (Figura 29).

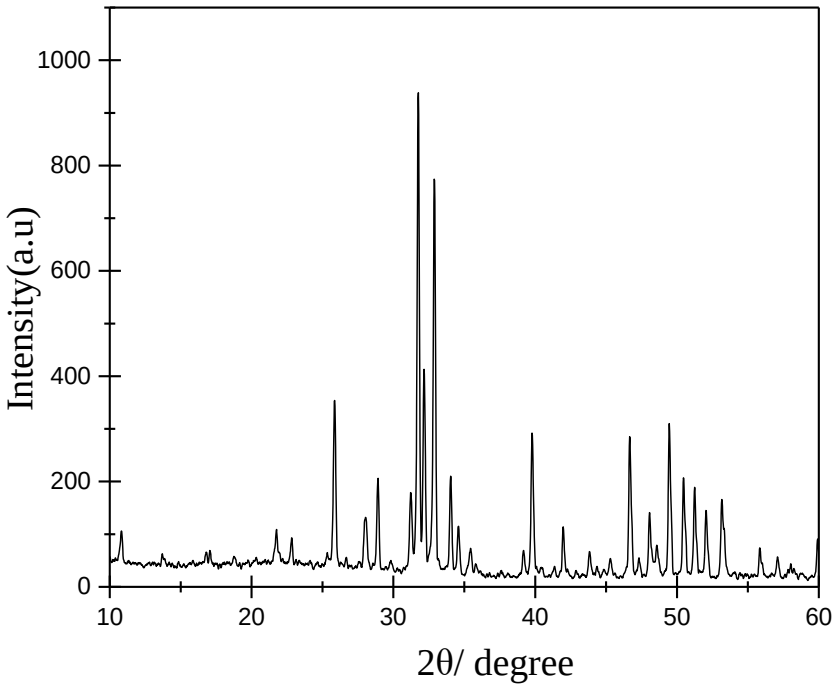


Figura 28 – Difratograma obtido por meio do ensaio de DRX do pó da escama da Tilápia (Fonte: Autor)

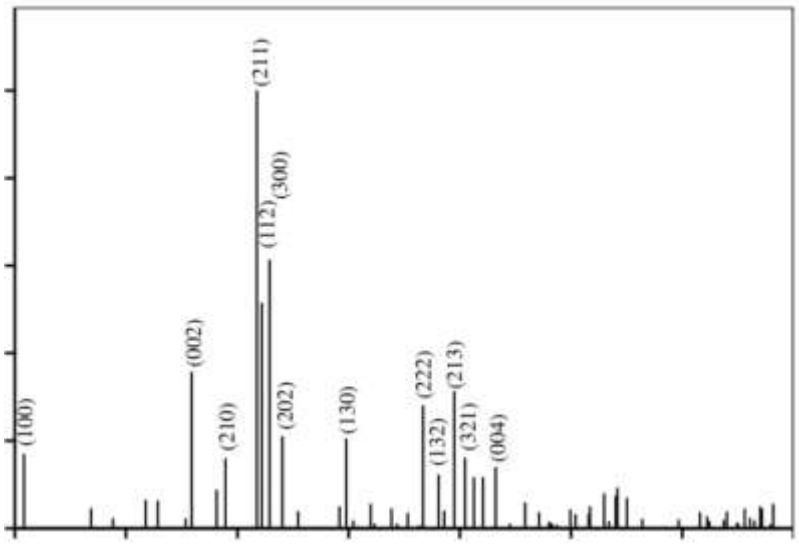


Figura 29 – DRX de ICDD ref: 01-074-0566 (Fonte: Jamwal et al., 2015)

2.8.3 - Ensaio de Granulometria dos agregados

Os ensaios realizados na areia, mostraram que a mesma apresenta massa específica de 2,69 g/cm³, com diâmetro máximo característico 2,4 mm e, módulo de finura de 2,34. A dimensão dos grãos compreende principalmente entre 0,3 a 1,2 mm, de forma que podemos classificar o agregado como uma areia média.

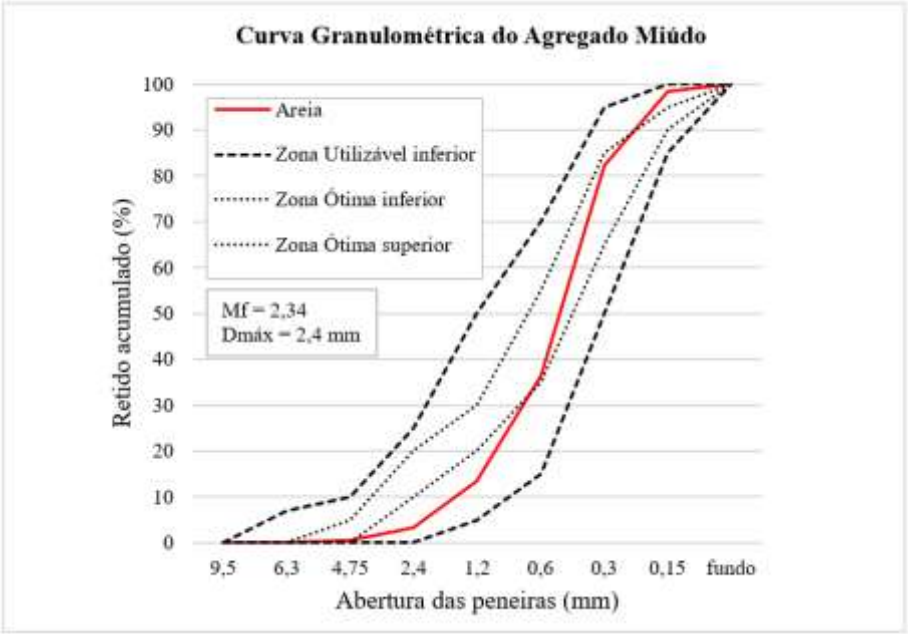


Figura 30 - Curva granulométrica da areia (Fonte: Autor)

Os ensaios realizados com a pedra brita resultaram em valores de massa específica 2,86 g/cm³ e, diâmetro máximo característico 19 mm. A dimensão dos grãos varia principalmente entre 9,5 mm a 19 mm, podendo ser classificada como brita 1.

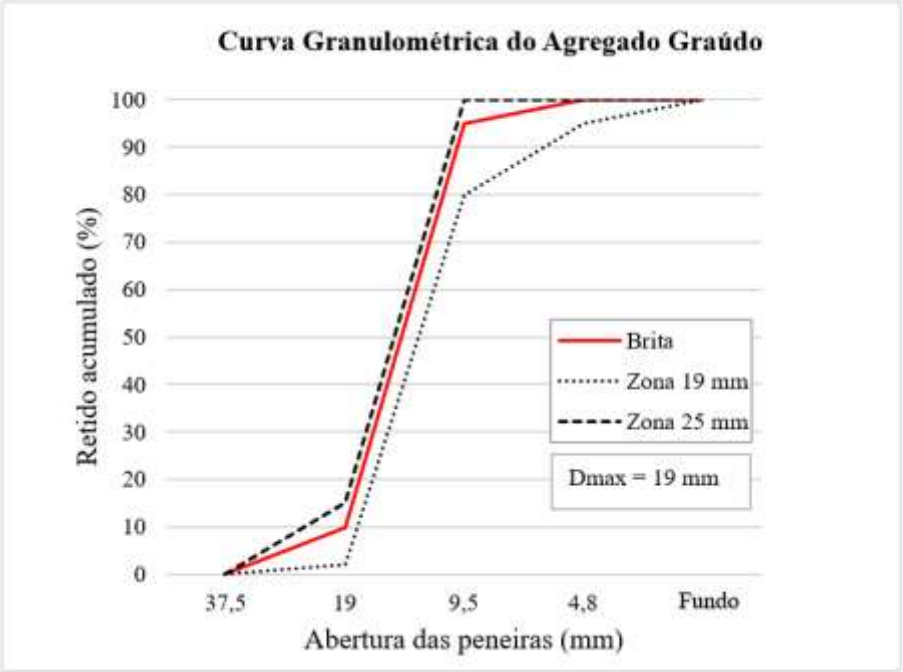


Figura 31 - Curva granulométrica da pedra brita (Fonte: Autor)

2.8.4 – Produção de concretos e ensaio de abatimento do concreto (slump test)

A partir dos testes realizados na pesquisa, foi desenvolvido um protocolo de referência específico para o uso do pó das escamas da Tilápia do Nilo, a saber: é necessário a pré-dissolução do pó com uma parcela da água da mistura, a fim de facilitar a homogeneização de todos os materiais constituintes do concreto.

Os valores dos abatimentos do concreto fresco são apresentados na Tabela 2. Verificou-se que, conforme o aumento no teor de adição do pó da escama da Tilápia há redução no slump do concreto, ou seja, na sua consistência, isso pode estar relacionado com a propriedade de adsorção presentes na composição das escamas.

Teores de 10% de pó da escama apresentaram slump de apenas 45mm, sendo, portanto, um concreto muito seco e de difícil trabalhabilidade, o que não o torna interessante pois facilita que falhas de concretagem ocorram, também conhecidas por bicheiras.

Dessa forma, para manter o mesmo slump que o concreto convencional, seriam necessárias alterações na relação água/cimento ou o uso de aditivo plastificante nos concretos com adição de pó e consequentemente haveria um maior custo em sua produção.

Para concretagens de elementos estruturais se torna inviável a aplicação de concretos com abatimentos abaixo de 80 mm, isso porque o risco de ocorrerem falhas de concretagem, conhecidas na engenharia civil como bicheiras, são muito grandes.

Tabela 2 - Resultados de slump conforme teor de pó de escama no concreto (Fonte: Autor)

Teor de escama (%)	Abatimento (mm)
0	135
2,5	105
5	85
7,5	70
10	45

2.8.5 – Resistência mecânica à compressão

No Quadro 4 são apresentados: o teor de adição do pó da escama no concreto, o tipo de cura, a resistência mecânica a compressão de cada corpo de prova, a resistência média para cada traço, o desvio padrão, o coeficiente de variação do ensaio e sua avaliação.

Quadro 4 - Resultados dos ensaios referentes à Resistência mecânica a compressão (Fonte: Autor)

Resistência a compressão (MPa)							
Traço do concreto		**Idade de rompimento e tipo de cura**					
		7 dias		**28 dias**		**91 dias**	
		cura seca	**cura úmida**	**cura seca**	**cura úmida**	**cura seca**	**cura úmida**
Ref. 0%	CP1	25,94	29,41	34,65	33,39	34,95	37,95
	CP2	28,20	27,16	32,80	35,25	37,83	36,74
	CP3	27,33	28,61	32,30	34,62	36,52	38,82
	Resistência média	**27,16**	**28,39**	**33,25**	**34,42**	**36,43**	**37,84**
	Desvio padrão	1,14	1,14	1,24	0,95	1,44	1,04
	Coef. de variação (CV)	4,20	4,02	3,72	2,75	3,96	2,76
	Avaliação do CV	Bom	Bom	Muito bom	Excelente	Muito bom	Excelente
2,5%	CP1	28,53	29,72	34,81	36,42	36,73	37,89

	CP2	27,15	28,12	34,43	35,81	36,84	38,23
	CP3	26,64	27,94	32,25	33,65	34,08	37,08
	Resistência média	**27,44**	**28,59**	**33,83**	**35,29**	**35,88**	**37,73**
	Desvio padrão	0,98	0,98	1,38	1,46	1,56	0,59
	Coef. de variação (CV)	3,56	3,43	4,08	4,12	4,35	1,57
	Avaliação do CV	Muito bom	Muito bom	Bom	Bom	Bom	Excelente
5,0%	CP1	25,20	26,47	33,69	35,75	37,10	35,55
	CP2	25,32	28,20	35,56	36,12	35,30	38,20
	CP3	26,95	26,21	33,05	34,96	35,15	37,12
	Resistência média	**25,82**	**26,96**	**34,10**	**35,61**	**35,85**	**36,96**
	Desvio padrão	0,98	1,08	1,30	0,59	1,09	1,33
	Coef. de variação (CV)	3,79	4,01	3,82	1,66	3,03	3,61
	Avaliação do CV	Muito bom	Bom	Muito bom	Excelente	Muito bom	Muito bom
7,5%	CP1	24,81	26,81	33,26	33,95	35,80	36,94
	CP2	23,90	25,78	32,47	32,59	35,20	34,87
	CP3	24,32	26,62	32,55	33,20	34,71	36,45
	Resistência média	**24,34**	**26,40**	**32,76**	**33,25**	**35,24**	**36,09**
	Desvio padrão	0,46	0,55	0,43	0,68	0,55	1,08
	Coef. de variação (CV)	1,87	2,08	1,33	2,05	1,55	3,00
	Avaliação do CV	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
10,0%	CP1	20,75	22,45	28,79	29,85	32,23	34,64
	CP2	22,84	24,10	30,42	30,69	30,68	32,82
	CP3	21,52	23,54	28,69	32,13	31,55	33,58
	Resistência média	**21,70**	**23,36**	**29,30**	**30,89**	**31,49**	**33,68**
	Desvio padrão	1,06	0,84	0,97	1,15	0,78	0,91
	Coef. de variação (CV)	4,87	3,59	3,31	3,73	2,47	2,71
	Avaliação do CV	Bom	Muito bom	Muito bom	Muito bom	Excelente	Excelente

Na Figura 32 são apresentados conforme o teor de adição do pó da escama no concreto e o tipo de cura, a resistência mecânica média para cada traço a fim de facilitar a análise e interpretação dos dados obtidos.

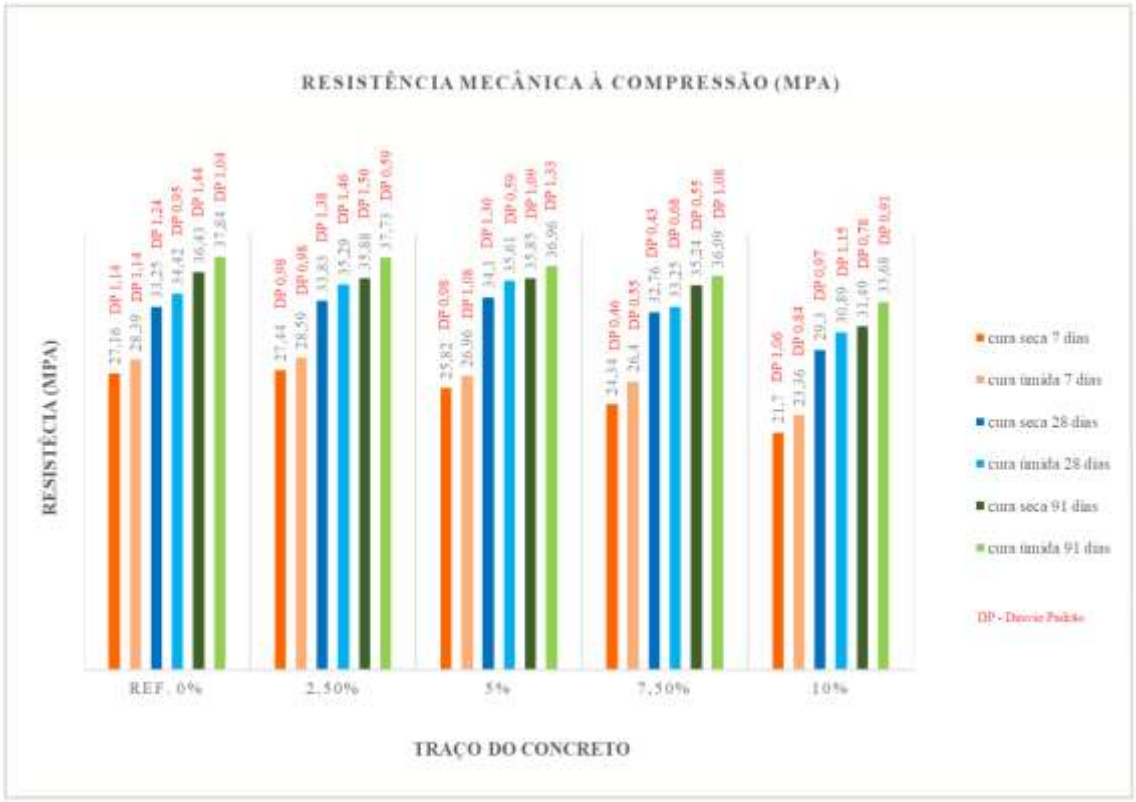


Figura 32 - Resistência mecânica média à compressão (Fonte: Autor)

Os resultados mostraram que, conforme esperado, o concreto quando curado submerso em água apresenta sempre melhores resultados que quando curado ao ar.

Adições do pó de escamas em até 2,5% apresentaram para 7 e 28 dias, ganho de resistência comparado com a amostra de referência.

Para teor de adição de 5% não houve reduções significativas na resistência comparado com a amostra de referência, sendo que para idade de 28 dias ocorreu até mesmo um pequeno incremento, os concretos curados ao ar tiveram ganho de resistência de 2,5% e, quando curado submerso em água esse incremento foi de 3,34%.

O aumento da resistência pode estar relacionado com as características de adsorção encontradas nas escamas que seriam capazes de proporcionar a cura interna mais lenta ao concreto devido ao aprisionamento da água da mistura. No entanto nas porcentagens acima de 5% o uso do pó da escama se mostrou inadequado, ocorrendo considerável perca de resistência comparado ao traço referência.

Reciclar e usar subprodutos industriais como aditivos ao cimento Portland, contribui para uma menor exploração dos recursos naturais. O uso de subprodutos da indústria é de grande interesse, pois pode reduzir as emissões de CO_2 diretamente na produção de cimento e concreto (BELLMANN; STARK, 2009; KELES, 2011;

BENITTEZ, 2020; GUPTA; SIDDIQUE; BELARBI, 2021; SANTHOSH; SUBHANI; BAHURUDEEN, 2021; FIGUEIREDO, 2023).

Dessa forma, além de melhorar a resistência mecânica nos concretos, o uso de pó de escama da Tilápia do Nilo como adição no concreto pode contribuir também para a sustentabilidade do setor da indústria de pescado com o aproveitamento desse material que na maioria das vezes é apenas descartado nos lixões.

2.9 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista as emissões de CO_2 por pare da indústria cimenteira e a crescente produção anual de resíduos do pescado, que geralmente é apenas descartado no ambiente, aliado as crescentes discussões dos impactos ambientais, esse estudo fez o tratamento das escamas da Tilápia do Nilo para obtenção de um pó capaz de servir como aditivo em materiais cimentícios.

O resíduo foi coletado na Indústria Mar e Terra de abate de pescados em Itaporã – MS, submetido a tratamentos de lavagem, secagem e moagem para obtenção de um pó fino. Na sequência, foram avaliadas a consistência no estado fresco e a resistência mecânica a compressão dos concretos confeccionados com adição em teores variando até 10%.

Verificou-se que, com a realização do tratamento nas escamas, foi possível transformar o que era resíduo em um material útil para o uso em compostos cimentícios. Os concretos produzidos com adição do pó da escama necessitam de um maior teor de água, ou uso de aditivo plastificante para manter a mesma consistência que o concreto sem esse pó. Porém, com relação as propriedades relativas à resistência mecânica à compressão, os corpos de prova com 2,5% de adição do pó da escama da Tilápia do Nilo, apresentaram, para idades de 7 e 28 dias, resistência superior ao concreto de referência.

Para teores de adição de até 5% ainda não ocorrem reduções significativas de resistência comparando com o traço de referência.

Assim, a incorporação do pó das escamas em materiais cimentícios pode ser uma alternativa interessante e viável para a produção de concretos sustentáveis, com o aproveitamento do resíduo das escamas e com a redução do consumo de cimento (a adição

resulta em maior volume de concreto produzido) e consequentemente de CO_2 por m^3 de concreto.

Nesse contexto, as escamas de peixe, que atualmente são geradas em grande quantidade no Brasil, possuem potencial para adquirir características compatíveis às da construção civil. Contudo é importante ressaltar que seu uso ainda é um campo de pesquisa em desenvolvimento, sendo necessários mais estudos a fim de avaliar a segurança e a eficácia dessa técnica em larga escala na construção civil. Todavia, pode-se esperar que em um futuro próximo exista uma parceria entre esses dois grandes setores: da psicultura e da indústria cimenteira, de maneira a viabilizar o desenvolvimento de um novo produto cimentício sustentável.

2.10 – AGRADECIMENTOS

A autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento por meio da bolsa de pesquisa, à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) pela disponibilização do espaço para a realização da pesquisa, e ao orientador e coorientador pelo apoio e orientação ao longo de todo o processo.

2.11 - FONTES DE FINANCIAMENTO

Este estudo contou com apoio da CAPES, processo nº 88887.618349/2021-00.

2.12 - REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA (PEIXE BR). **Anuário peixe br da piscicultura 2024.** São Paulo. 2024.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 53/ 2009: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 5738/2015 versão corrigida:2016: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211/2009: Agregado para concreto. Rio** de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **12655/2015: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15900-1/2009: Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697/2018: Cimento Portland - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.

BAUER, L. A. F. **Materiais da construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

BASTIDAS, D.M.; LA IGLESIA, V.M.; CRIADO, M.; FAJARDO, S.; LA IGLESIA, A.; BASTIDAS, J.M. **A prediction study of hydroxyapatite entrapment ability in concrete.** 2010. Construction and Building Materials 24 (2010) 2646–2649.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho Econômico da Construção Civil no 1º Trimestre de 2024 e Perspectivas**. 2024. Disponível em: https://cbic.org.br/cbic-revisa-para-23-projecao-de-crescimento-da-construcao-em-2024. Acessado em: 13/07/2024

BELLMANN, F.; STARK, J. **Activation of blast furnace slag by a new method.** Cement and Concrete Research, v. 39, n. 8, p. 644–650, 2009.

BENITTEZ, L. H. **Utilização de escória de aciaria na fabricação de blocos de concreto.** [s.l: s.n.].

CALLISTER, W. D. JR; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 1940. tradução Sergio Murilo Stamile Soares; revisão técnica José Roberto Moraes d`Almeida. Rio de Janeiro: LTC, 2012. Tradução de: Materials Science and engineering: na introduction, 8th ed.

CHINH, N.T.; MANH, V.Q.; TRUNG, V.Q.; LAM, T.D.; HUYNH, M.D.; TUNG, N.Q.; TRINH, N. D.; HOANG, T. **Characterization of collagen derived from tropical freshwater Carp fish scale wastes and its amino acid sequence**. Nat. Prod. Commun. 14 (7). 2019.

CIMENTO.ORG. **O Mercado do Cimento Brasil em 2022**. Brasília. 2023. Disponível em: https://cimento.org/o-mercado-do-cimento-brasil-em-2022 Acessado em: 14/07/2024

COSTA, B. L. de C. da. **Quantificação das emissões de CO2 geradas na produção de materiais utilizados na construção civil.** 2012. Rio de Janeiro, 190 p. (Dissertação de Mestrado apresentado ao programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE-Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós- Graduação e Pesquisa de Engenharia- UFRJ, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil).

DE ASSUNÇÃO, W. R.; DE ALMEIDA, G. M.; GOMES, L. G. **Análise Estatística da Influência do Tipo de Cura na Resistência Mecânica do Concreto de Cimento Portland.** RCT-Revista de Ciência e Tecnologia, v. 7, 2021.

DE FARIA, C. S. et al. **Análise da influência do método de cura na evolução da resistência à compressão do concreto com o tempo.** XVI Congresso Latino-americano de Patologia e Construções e XVIII Controle de Qualidade na Construção – CONPAT. Brasil. 2021.

DURAN A. P.; FRACARO. D. **Verificação das propriedades básicas do concreto industrializado fornecido em embalagens de 30kg.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Concreto do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Curitiba, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Concreto. Curitiba, 2011.

ESMAEILI, H. R.; ZAREI, F.; VAHED, N. S.; MASOUDI, M. **Scale morphology and phylogenetic character mapping of scale-surface microstructures in sixteen Aphanius species (Teleostei: Aphaniidae).** 2019. Micron 119 (2019) 39–53.

FERNÁNDEZ, L. L. **Propuesta de indicadores de la eficácia del curado em obra. Concreto y Cemento.** Investigación e Desarrollo, v.1, n. 2. México, 2010. p. 17- 29. ISSN 0185-1233.

FIGUEIREDO, Filipe Bittencourt. **Caracterização da cinza do bagaço da fécula de mandioca para emprego em matrizes cimentícias.** 2023. 112 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Fishery and aquaculture statistics, Yearbook 2019** ***annuaire***. ISSN 2070-6057 ISBN: 978-92-5-135410-0. Roma, 2021.

GALVÃO, J. K. L.; CARVALHO, M. C. F. de; SOUZA, J. A. M. de; FEITOSA, C. S; BUDELLON, A. S.; SANTOS, F. V.S dos.; SILVA, R. da; PARENTE, A. A. R.; FERREIRA C. L.; TREVISAN, D. **Materiais alternativos para adição ao Cimento Portland dosagem utilizando resíduos da palha da soja.** 2018. 23º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, novembro de 2018, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

GEHRING, CK; GIGLIOTTI, JC; MORITZ, JS; TOU, JC; JACZYNSKI, J. **Características funcionais e nutricionais de proteínas e lipídios recuperados por processamento isoelétrico de subprodutos de peixe e peixe de baixo valor: uma revisão**. Química Alimentar. 124 (edição 2), 422–431. 2011. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.078.

GILMAN, E.; PEREZ RODA, A.; HUNTINGTON, T.; KENNELLY, SJ; SUURONEN, P.; CHALOUPKA, M.; MEDLEY, PAH. **Benchmarking global de devoluções da pesca**. ciência Rep. 10 (1). 2020. https://doi.org/10.1038/s41598-020-71021-x.

GOMES, D. S., SANTOS, A. M. C., NEVES, G. A., & MENEZES, R. R. **A brief review on hydroxyapatite production and use in biomedicine.** 2019. Cerâmica, 65(374), 282–302. DOI link: https://doi.org/10.1590/0366-69132019653742706

GONÇALVES, A. A. **Resíduos do processamento do pescado – uma oportunidade a ser considerada.** 2024. Disponível em: https://www.aquaculturebrasil.com/coluna/379 Acessado em: 14/07/2024

GUPTA, N.; SIDDIQUE, R.; BELARBI, R. **Sustainable and Greener SelfCompacting Concrete incorporating Industrial By-Products: A Review.** Journal of Cleaner Production, v. 284, p. 124803, 2021.

HOL´A, M.; KALVODA, J.; NOV´AKOV´A, H.; ˇSKODA, R.; KANICKÝ, V. **Possibilities of LA-ICP-MS technique for the spatial elemental analysis of the recent fish scales**: Line scan vs. depth profiling, Appl. Surf. Sci. 257 (6). 1932–1940. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON). **Concreto: Material construtivo mais consumido no mundo.** 2009. Ano XXXVII | Nº 53 Jan. Fev. Mar. | 2009 ISSN 1809-7197.

INTERNAIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Tracking Cement**. 2023. Acessado em: 13/07/2024 disponível em: https://www.iea.org/energy-system/industry/cement.

JAMWAL, D; KAUR, G; RAIZADA, P; SINGH, P; PATHAK, D; THAKUR, P. **Peculiaridade do surfactante de cauda dupla na fabricação superficial de pontos quânticos semicondutores: em direção características estruturais, ópticas e elétricas**. J. Phys. C 119 (2015) 5062–5073.

LIMA, E. K. A de; FERNANDES, E. F. dos S.; PACHECO, N. I.; AGUIAR, E. S.; LOPES, D. C.; MENDES, L. A. P. P. F. **A brief review on hydroxiapatite: a promising bioceramics.** Research, Society and Development, v. 11, n. 1, e26411124767. 2022. ISSN 2525-3409. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.24767

KELES, K. C. **Influência da basicidade da escória de alto-forno como adição ao concreto.** [s.l.] Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), 2011.

MEHTA, P. K. MONTEIRO J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, Pini, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MUKKANTI V. B.; TEMBHURKAR A.R. **Defluoridation of water using adsorbent derived from the Labeo rohita (rohu) fish scales waste: Optimization, isotherms, kinetics, and thermodynamic study.** 2021. Sustainable Chemistry and Pharmacy. Maharashtra, India. https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100520

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2ª ed., Tradução por Cremonini, Ruy Alberto, São Paulo: Bookman Editora, 2013, 447 p.

OLUCHIRI, T. O. **Performance Of Compressed Lightweight Concrete Manufactured Using A Blend Of Sawdust, Fish Scales And Sand Aggregates.** International Journal of Advanced Research and Publications. ISSN: 2456-9992. Volume 3 Issue 10, october 2019.

OOI, J., LEE, L.Y., HIEW, B.Y.Z., THANGALAZHY-GOPAKUMAR, S., LIM, S.S., GAN, S. **Assessment of fish scales waste as a low cost and eco-friendly adsorbent for removal of an azo dye: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies**. Bioresource Technology (2017), 2017.08.153 DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland.** 11. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

PETRUCCI, E. G. R. – **Concreto de cimento Portland.** 13. ed. rev. por Vladimir Antonio Paulon – São Paulo: Globo, 1998.

QUARCIONI, V. A. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland – estudo em pasta.** 2008. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

RIBEIRO, C. C; PINTO, J. D.S; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

RIBEIRO, C.; SCHEUFELE, F.B.; ESPINOZA-QUIÑONES, F.R.; MÓDENES, A.N.; DA SILVA, M.G.C.; VIEIRA, M.G.A.; BORBA, C.E. **Characterization of Oreochromis niloticus fish scales and assessment of their potential on the adsorption of reactive blue 5G dye**. 2015. Colloid Surface A. 482, 693-701. 2015.

RODRIGUES, C. S.; BATISTA FILHO, C. A.; ANDRADE, D. B. **Cinza proveniente da queima do bagaço de cana-de-açúcar processada para ser incorporada na fabricação de cimentos Portland ou para substituir parcelas de cimento Portland e/ou areia na preparação da mistura de traços de concretos e argamassas da construção civil.** Depositante: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. BR n. 102017020870-2 A2. Depósito: 28 set. 2017.

SANTHOSH, K. G.; SUBHANI, S. M.; BAHURUDEEN, A. **Cleaner production of concrete by using industrial by-products as fine aggregate: A sustainable solution to excessive river sand mining.** Journal of Building Engineering, v. 42, p. 102415, 2021.

SILVA, B. A. **Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto.** 2009. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), São Paulo, 2009.

Silva, G. R. da. **Manual de Traços de Concreto.** Livraria Nobel S.A. / SP . 3ª edição, 1975.

SIMSEK, B. **Investigation of self-healing ability of hydroxyapatite blended cement paste modified with graphene oxide and silver nanoparticles.** Construction and Building Materials**,** Volume 320, 21 February 2022, 126250 DOI https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126250
2022-02

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO (SNIC). **Relatório Anual 2023.** Rio de Janeiro, 2023.

b SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC): **ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visedo e Marcelo Pecchio.** Rio de Janeiro: SNIC, 2019 64 p.

SONGTAO, L.; LONG, H.; CHENGDONG, X; BORGES, C. M.; YANPENG, G.; CHAOCHAO, L.; LINGYUN, Y. **Recycling fish scale powder in improving the performance of asphalt: A sustainable utilization of fish scale waste in asphalt**. Journal of Cleaner Production. 2021-03. DOI link: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125682

SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL (STF). **Agenda 2030.** Disponível em: https://portal.stf.jus.br/hotsites/agenda-2030/ Acessado em: 13/07/2024

2.13 – ANEXO 1: NORMAS DA REVISTA SCIENTIA MARINA

https://scientiamarina.revistas.csic.es/index.php/scientiamarina/about/submissions