

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANA LETÍCIA COLOMBO

Avaliação do potencial de uso da cinza de *Sargassum* spp. como adição mineral em compósitos de cimento Portland

Pirassununga

2022

ANA LETÍCIA COLOMBO

Avaliação do potencial do uso da cinza de *Sargassum* spp. como adição mineral em compósitos de cimento Portland

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais voltados à Agroindústria

Orientador: Prof. Dr. João Adriano Rossignolo

Pirassununga

2022

Colombo, A. L.

C718a Avaliação do potencial de uso de cinza de *Sargassum*
ssp. como adição em compósitos de cimento Portland /
Ana Letícia Colombo. -- Pirassununga, 2022.

72 f.

Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo.
Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais.

Área de Concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais.

Orientador: Prof. Dr. João Adriano Rossignolo.

1. Argamassa 2. Cimento Portland 3. Pastas
cimentícias 4. Sargaço. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por todas as bênçãos, por ter permitido nos momentos mais difíceis e de saúde ter olhado por mim, e me permitir viver esse momento a cada dia.

Aos meus pais, Claudio e Joana, por todo apoio nessa trajetória. A minha irmã, Ana Luiza, que mesmo distante, sempre me apoiando e dando suporte para seguir em frente.

A todos os meus familiares e amigos, mesmo de longe, me deram todo apoio e compreensão durante esse tempo alegria, tristezas e anseios ao quais passamos juntos. Em especial, a minha Tia Dora, (*in memoriam*), que sempre me deu força e amparo nos momentos difíceis que passei, quando estive com covid-19. Você faz muita falta!

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Adriano, pela ajuda da elaboração do projeto da pesquisa, por estar sempre à disposição, por toda sua paciência, apoio, dedicação, orientação mesmo no meu momento de afastamento e ausência. Minha sincera gratidão, por acreditar em mim e proporcionar o desenvolvimento desse trabalho ao longo desses anos de mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais da USP –FZEA, por todo o conhecimento durante as aulas e aprendizados transmitidos.

Aos funcionários do departamento da pós-graduação do Campus da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, os quais estavam sempre prontos a ajudar no suporte e esclarecimentos das minhas dúvidas durante o mestrado.

A todos do Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (CONSTRAMBI), alunos e técnicos presentes, Mariana e Zaqueu, por toda ajuda e suporte na realização do trabalho do mestrado.

A CAPES pelo auxílio financeiro fornecido através da bolsa de mestrado.

“O trabalho criativo é um dom ao mundo e a todos os seres que nele habitam. Não nos prive de sua contribuição. Semeie essa dádiva que você recebeu”

Steven Pressfield

RESUMO

COLOMBO, A. L. **Avaliação do potencial de uso da cinza de *Sargassum* spp. como adição mineral em compósitos de cimento Portland.** 2022. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022.

A alta demanda da indústria da construção civil por utilizar recursos naturais, na forma de gerar novos produtos e de melhorar suas qualidades e eficiências, criam novas oportunidades para a economia circular. Nesse trabalho, utilizou-se as algas do gênero do *Sargassum* spp. (*S. natans* e *S. fluitans*), da classe da Phaeophyceae, encontrada em regiões tropicais e temperadas, presente em maior quantidade na região determinada como grande cinturão do Mar dos Sargãos. Essas algas causam sérios impactos ambientais, econômicos e sociais decorrentes de suas arribadas. Além de causar efeitos nocivos à saúde humana devido as emissões de gases de metano, sulfeto de hidrogênio e amônia durante sua decomposição. Além disso, as algas apresentam importantes aplicações para agroindústria e bens pecuários, indústrias farmacêutica e alimentícias, bioenergia, materiais avançados e compósitos. Apesar do destaque de várias aplicações com o uso das algas de sargaço, poucos estudos foram realizados na parte da construção civil com a incorporação da alga de sargaço em compósitos de cimento Portland. Neste contexto, o trabalho tem o objetivo de avaliar o potencial de uso da cinza de *Sargassum* spp. como adição mineral, em substituição parcial do agregado miúdo, em argamassas de cimento Portland. As amostras das algas de sargaço foram coletadas na Praia de São Pedro, no estado do Maranhão. As algas, na forma seca, foram ensacadas e transportadas até o destino final no Laboratório de Construções Rurais e Ambientais. Utilizou-se forno resistivo na temperatura de 500°C, por duas horas e taxa de aquecimento de 10°C/min, para obtenção das cinzas de sargaço. As cinzas foram analisadas em pastas cimentícias de 0%, 10%, 20% e 30% de adição e avaliou seus resultados por difração de raios X e termogravimetria. As cinzas de sargaço foram usadas nas moldagens das argamassas em substituição do agregado miúdo, em teores de 0%, 5%, 10% e 20%. Avaliou-se o desempenho das argamassas nos ensaios de compressão após 7, 28 e 63 dias de cura e as suas características físicas. Além disso, analisou-se a cinza de sargaço por fluorescência de raios X, perda ao fogo, distribuição granulométrica, difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura e a área superficial específica. Determinou-se a densidade real das matérias-primas por picnometria de gás hélio e a distribuição granulométrica. Os resultados de difração de raios X e a derivada da termogravimetria das pastas cimentícias confirmaram a formação de hidróxido de cálcio e carbonato de cálcio e a cinza de 20% que obteve maior perda de massa. A resistência à compressão das argamassa diminuiu com o aumento de 20% da cinza de sargaço. Com a ANOVA e o Teste de Tukey foi possível fazer a comparação entre as médias e obteve que a substituição de até 10% é aceitável nas argamassas. Comparando as caracterizações físicas, a argamassa de 20% teve maiores resultados de absorção de água, índices de vazios e massa específica real. Quanto maior teor de cinzas, maior será a porosidade encontrada nas argamassas. Assim, a utilização das algas de sargaço podem promover benefícios produtivos na economia circular.

Palavras-chave: sargaço. agregado miúdo. pastas cimentícias. argamassas.

ABSTRACT

COLOMBO, A. L. **Evaluation of the potential use of ash from *Sargassum spp.* as a mineral addition in Portland cement composites.** 2022. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022.

The high demand of the construction industry for using natural resources, in the form of generating new products and improving their qualities and efficiencies, creates new opportunities for the circular economy. In this work, algae of the genus *Sargassum* spp. (*S. natans* and *S. fluitans*), of the Phaeophyceae class, found in tropical and temperate regions, present in greater quantity in the region determined as the large belt of the Sargasso Sea. These algae cause serious environmental, economic and social impacts resulting from their arrivals. In addition to causing harmful effects to human health due to the emissions of methane, hydrogen sulfide and ammonia gases during its decomposition. In addition, algae have important applications for agro-industry and livestock, pharmaceutical and food industries, bioenergy, advanced materials and composites. Despite the highlight of several applications with the use of sargassum algae, few studies have been carried out in the civil construction area with the incorporation of sargassum algae in Portland cement composites. In this context, the work aims to evaluate the potential use of ash from *Sargassum* spp. as a mineral addition, in partial replacement of the fine aggregate, in Portland cement mortars. The sargassum algae samples were collected at Praia de São Pedro, in the state of Maranhão. The algae, in dry form, were bagged and transported to the final destination at the Rural Construction and Ambience Laboratory. A resistive oven was used at a temperature of 500°C for two hours and a heating rate of 10°C/min to obtain the sargassum ash. The ash was analyzed in cementitious pastes with 0%, 10%, 20% and 30% addition and the results were evaluated by X-ray diffraction and thermogravimetry. The sargassum ash was used in the molding of the mortars to replace the fine aggregate, in levels of 0%, 5%, 10% and 20%. The performance of the mortars in the compression tests after 7, 28 and 63 days of curing and their physical characteristics were evaluated. In addition, sargassum ash was analyzed by X-ray fluorescence, loss on fire, granulometric distribution, X-ray diffraction, scanning electron microscopy and specific surface area. The actual density of the raw materials was determined by helium gas pycnometrics and the granulometric distribution. The results of X-ray diffraction and the thermogravimetry derivative of the cement pastes confirmed the formation of calcium hydroxide and calcium carbonate and the ash of 20% had the highest mass loss. The compressive strength of the mortar decreased with the increase of 20% of the sargassum ash. With ANOVA and Tukey's Test, it was possible to compare the averages and found that the replacement of up to 10% is acceptable in mortars. Comparing the physical characterizations, the 20% mortar had better results in terms of water absorption, void rates and real specific mass. The higher the ash content, the greater the porosity found in the mortars. Thus, the use of sargassum algae can promote productive benefits in the circular economy.

Keywords: sargassum. small aggregate. cement pastes. mortars.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração dos três morfotipos pelágicos de sargaço com florações no Oceano Atlântico: <i>S. natans</i> I, <i>S. fluitans</i> III e <i>S. natans</i> VIII.....	16
Figura 2 – Ilustração da alga <i>Sargassum fluitans</i> (tipo III) com a presença de vesículas de ar.....	16
Figura 3 – Imagem do acúmulo de sargaço na região da praia de Tulum (Caribe, México).....	18
Figura 4 – Ilustração da localização do Mar do Sargaço.....	19
Figura 5 – Ilustração do local das manchas de sargaço encontradas no norte do Brasil.....	20
Figura 6 – Imagem do resort no México com a costa litorânea repleta de algas de sargaço.....	23
Figura 7 – Ilustração dos “semáforos de sargaços” a) 27 de abril de 2019 e b) 21 de setembro de 2021.....	25
Figura 8 – Imagens da retirada do sargaço ao longo da costa e marítimo.....	26
Figura 9 – Fluxograma da Análise dos Materiais.....	32
Figura 10 - Imagem da arribada de sargaço na Praia de São Pedro Carutapera-MA: (a) algas de sargaço depositada na praia e (b) e (c) vista aérea da ocorrência das algas.....	33
Figura 11 – Processo da coleta e secagem do sargaço: (a) secagem; (b) armazenamento em saco após a secagem; (c) algas após transporte até Pirassununga; e (d) detalhe da alga seca.....	34
Figura 12 – Imagem do sargaço na parte interna do forno (a) antes e (b) após a queima.....	35
Figura 13 – Distribuição granulométrica da areia.....	36
Figura 14 – Ilustração da preparação da argamassa (a) misturador em utilização, (b) massa da argamassa após o processo de mistura.....	41
Figura 15 – Ilustração da produção das argamassas: (a) moldes cilíndricos (50mmx100mm), (b) preenchimento dos moldes e (c) moldes na mesa vibratória.....	42
Figura 16 – Ilustração das argamassas (a) moldes de argamassas para saturação e (b) corpos-de-prova colocados submersos em água.....	43
Figura 17 – Ilustração do corpo de prova de argamassa cilíndrico a) antes do ensaio de compressão e b) após o ensaio de compressão.....	43
Figura 18 – Gráfico de distribuição granulométrica da cinza do sargaço.....	46
Figura 19 – Difratoograma de raios X da cinza de sargaço.....	48
Figura 20 – Microfotografias de partículas de cinza de sargaço.....	49
Figura 21 – Microfotografia da cinza de sargaço.....	50
Figura 22 - Espectroscopia de raios X de energia dispersiva da cinza de sargaço.....	51
Figura 23 - Gráficos da derivada da termogravimetria das pastas cimentícias.....	52
Figura 24 – Gráficos de difração de raios X das argamassas.....	54
Figura 25 – Gráfico com os resultados de compressão das respectivas argamassas no tempo de cura de 7, 28 e 63 dias.....	55
Figura 26 – Ilustração dos resultados do Teste de Tukey a 5% de significância.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores da composição bioquímica da biomassa de sargaço de praias arenosas do Caribe mexicano (valores em média \pm desvio padrão).....	22
Tabela 2 - Dosagem das argamassas e suas respectivas massas (%).....	40
Tabela 3 – Composição química referente a cinza de sargaço e o cimento CP II-F-40.....	45
Tabela 4 – Resultados da distribuição granulometria da cinza de sargaço e o Cimento CP II-F-40.....	46
Tabela 5 – Valores da densidade real obtidos por picnometria à gás hélio.....	47
Tabela 6 – Resultados das regiões principais da análise termogravimétrica.....	52
Tabela 7 – Resultados por absorção de água e o índice de vazios das argamassas..	57
Tabela 8 – Resultados das massas específicas das argamassas.....	58

LISTA DE SIGLAS

ANOVA - Análise de Variância

As - Arsênio

ASE - Área de Superfície Específica

BET – Área Superficial Específica

C - Carbono

Cd – Cádmió

Cl – Cloro

CO₂ - Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico

Cu - Cobre

DRX – Difração de raios X

DTG – Derivada da Termogravimetria

EDS – Espectroscopia Dispersiva

Fe - Ferro

FRX – Fluorescência de raios X

GASB - Grande cinturão do Mar dos Sargaços

K - Potássio

MA - Maranhão

Mg – Magnésio

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

N - Nitrogênio

N₂ – Gás de Nitrogênio

Na - Sódio

P - Fósforo

Pb – Chumbo

TG – Termogravimetria

Zn - Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa.....	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Algas de <i>Sargassum</i> spp.....	15
3.1.1 Origem e Localização.....	17
3.2 Sargaço na região brasileira.....	19
3.3 Composição química do sargaço.....	21
3.4 Problemas gerados pela biomassa de sargaço.....	22
3.5 Utilização e aplicações do sargaço.....	25
3.6 Uso de algas em compósitos de matrizes cimentícias e argamassas.....	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 Materiais.....	32
4.1.1 Cimento.....	32
4.1.2 Obtenção das algas de sargaço.....	33
4.1.3 Produção da cinza de sargaço.....	35
4.1.4 Agregado miúdo.....	35
4.1.5 Água.....	36
4.2 Métodos.....	36
4.2.1 Fluorescência de raios X.....	36
4.2.2 Distribuição granulométrica.....	37
4.2.3 Picnometria de gás hélio.....	37
4.2.4 Área superficial específica da cinza de sargaço.....	37
4.2.5 Difração de raios X.....	38
4.2.6 Microscopia eletrônica de varredura da cinza de sargaço.....	39
4.2.7 Termogravimetria das pastas cimentícias.....	39
4.2.8 Moldagem de corpos de provas de argamassas.....	40
4.2.9 Resistência à compressão das argamassas.....	43
4.2.10 Caracterização física das argamassas.....	44
5 RESULTADOS	44

5.1 Composição química do cimento e cinza de sargaço.....	44
5.2. Distribuição granulométrica.....	45
5.3 Determinação da densidade real por picnometria de gás hélio.....	47
5.4 Área superficial específica da cinza de sargaço.....	48
5.5 Difração de raios X da cinza de sargaço.....	48
5.6 Microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de raios X da cinza de sargaço.....	49
5.7 Análise termogravimétrica das pastas cimentícias.....	51
5.8 Difração de raios X das pastas cimentícias.....	53
5.9 Resistência à compressão das argamassas.....	55
5.10 Caracterização física das argamassas.....	57
6 CONCLUSÃO.....	59
7 TRABALHOS FUTUROS.....	61
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

O influxo de *Sargassum* spp. nas costas do Caribe, abrangendo uma região denominada de Mar do Sargaço, aumentou consideravelmente, acarretando efeitos lastimáveis no ecossistema marinho e no setor de turismo. O sargaço, em condições adequadas, atingem altas taxas de reprodução e grande dispersão em curtos tempos, modificando o ecossistema circundante. Além disso, o sargaço pelágico, que são livres de aderência ao substrato, servem de locais de reprodução e podem ser habitados por espécies de vertebrados e invertebrados, abrangendo um ecossistema diversificado (PENDLETON et al., 2014). Três morfotipos pelágicos predominantes são encontrados no grande cinturão do Sargaço. O *Sargassum fluitans* III e *S. natans* I, por terem folhas mais densas, criando um habitat complexo pela presença de espinhos em suas estruturas. O *S. natans* VIII é mais aberto as folhas e não têm espinhos em seus caules (MARTIN et al., 2021).

Entretanto, os impactos das arribadas constantes de sargaço relatados desde 2011, trazem múltiplos perigos para os ambientes costeiros (recifes de corais, manguezais e leitos de ervas marinhas), economia do turismo local e regional, segurança da navegação das embarcações, e até mesmo a saúde humana já descritas nos estudos de Resiere et al. (2018) e Rodríguez-Martínez et al. (2019). Para isso, o uso de monitoriamento via satélite (QI et al., 2022), barreiras nas encostas do litoral e outros mecanismos mais simples para alertar a população, como o uso do “semáforo de sargaço”, devem ajudar no processo de florações de sargaço e prevenir a biomassa de atingir à costa (FLORES-VIDAL, 2021).

A maior parte da retirada do sargaço ocorre ao longo da costa das praias, por pessoas locais das redes hoteleiras e agentes municipais. Porém, a colheita com as embarcações no mar evitam o encalhe da biomassa nas costas e praias (SEMARNAT, 2021). Um grande risco à saúde da população local (turistas e pescadores) ocorre com a decomposição do sargaço, liberando odores desagradáveis. Gases tóxicos, como metano, sulfeto de hidrogênio e amônia, são produzidos na decomposição da biomassa de sargaço, podendo gerar lesões pulmonares, neurológicas e cardiovasculares (RESIERE et al., 2018). Assim, existe uma necessidade de atendimentos especializados para as pessoas locais e o preparo dos médicos para evitar esse tipo de agravamento na saúde humana.

As condições ambientais da água do mar (temperatura, irradiância da luz, salinidade) podem alterar o aquecimento das águas superficiais e as direções das correntes marítimas. Além de gerar o aumento do escoamento de nutrientes e acarretar, também, no aumento da proliferação do sargaço (WANG et al., 2019). Com isso, a composição química do sargaço pode sofrer diversas variações (ORTEGA-FLORES et al., 2022). Como exemplo, os teores de cinzas de sargaço podem oscilar entre 18 e 24% do peso seco total. Uma variedade de minerais como K, P, Na e traços de metais tóxicos (As, Cd, Cu, Fe, Pb, Zn) podem estar presentes devido sua característica de adsorção dos materiais metálicos (DAVIS et al., 2021).

Os impactos biológicos e socioeconômicos gerados pelas arribadas de sargaço despertam interesses em centros de pesquisa e nas universidades. Desenvolvendo atividades sobre inovações e pesquisas fundamentais em torno do sargaço, quanto a suas aplicações. Engloba aplicações na agricultura (biofertilizantes), na nutrição e para produtos farmacêuticos devido à sua riqueza em minerais, vitaminas e polissacarídeos. Além de seu uso para produção de energia, biocombustível (biogás) e como material de bioconstrução (LÓPEZ-CONTRERAS et al., 2021).

Diante das pesquisas na literatura de Amador-Castro et al. (2021), Gupta et al. (2020) e Rossignolo et al. (2022), o sargaço pode ser incorporado em compósitos de cimento Portland na forma de cinzas em matrizes cimentícias e argamassas. Como, também, em compósitos poliméricos (fibras) e construção de painéis (fibras e aditivos). Diante dessa abordagem, o uso das argamassas são de grande importância para a construção civil e podem proporcionar o desenvolvimento de novos tipos de materiais. Dessa forma, a utilização de argamassa e matrizes cimentícias incorporadas com subprodutos sustentáveis têm a finalidade de gerar menor consumo de matérias-primas e promover benefícios produtivos na economia circular.

Assim, essa pesquisa tem o objetivo de avaliar o potencial de uso da cinza de sargaço como adição mineral, em substituição parcial do agregado miúdo, em argamassas de cimento Portland. Além disso, pretende investigar a influência da cinza de sargaço nos produtos hidratados de matrizes cimentícias.

1.1 Justificativa

O acúmulo elevado da biomassa de sargaço tem ocasionado problemas para toda costa que abrange desde o Oceano Atlântico Ocidental até na parte oriental próximo ao continente africano e região norte do Brasil. Sérios impactos ambientais, econômicos e sociais são decorrentes dessas arribadas do sargaço.

Dessa forma, muitas pesquisas estão explorando a utilização da biomassa de sargaço e sua valorização para dar um destino adequado ao sargaço na economia circular. Um exemplo a ser explorado nesse trabalho, como promissor no campo da pesquisa, é a utilização do subproduto de geração de energia do sargaço na forma de cinza. Além da diminuição de diversos impactos ambientais no descarte dessa cinza, sendo beneficiado com sua aplicação em materiais na construção civil. Especificamente, em matrizes cimentícias (material alternativo adicionado ao cimento Portland) e substituição parcial de agregado miúdo em argamassas, com o intuito final de aplicação na parte estrutural.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de uso da cinza do *Sargassum* spp. como adição mineral, em substituição parcial do agregado miúdo, em argamassas de cimento Portland.

2.2 Objetivos específicos

As etapas descritas, a seguir, têm o delineamento de atingir os objetivos propostos, sendo:

- Avaliar os efeitos da cinza de sargaço nos produtos hidratados de matrizes cimentícias;
- Analisar a utilização da cinza de sargaço nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas cimentícias.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Algas de *Sargassum* spp.

As algas marinhas podem ser classificadas de acordo com suas várias espécies e famílias de algas. Dentro dessa abordagem, as algas marrons são classificadas de acordo com gênero e classe, destacando-se o gênero do *Sargassum* spp. e classe da Phaeophyceae. Nesse gênero, podemos citar algumas espécies mais predominantes como *Sargassum natans e fluitans*, *Sargassum vulgare*, *Sargassum filipendula* ou *Sargassum cymosum* (GOWER; KING, 2019). Essas algas apresentam uma enorme capacidade de crescimento e de reprodução, o qual não tem a necessidade de órgãos com função reprodutiva específica. Um exemplo de sua reprodução, pode ocorrer apenas por fragmentação, quando pequenos ramos se destacam de ramos maiores e continuam crescendo (GODÍNEZ-ORTEGA et al., 2021).

No ambiente marinho, existem mais de 350 espécies de algas marinhas do gênero *Sargassum*. Essas algas contribuem com sua biomassa para proteção (abrigo e ancoragem), rotas de migração e alimento para outras espécies de vegetais, animais vertebrados (peixes, tartarugas) e invertebrados (crustáceos) (PENDLETON et al., 2014). As tartarugas aproveitam para proteger seus ovos nesse locais até sua eclosão. No geral, essa adaptação dos animais no ambiente marinho está relacionado a estrutura das algas e a distribuição da sua biomassa (MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, 2019).

A algas de *Sargassum* spp. podem aderir seu crescimento sobre as rochas ou substratos marinhos, mas as algas predominantes no Mar dos Sargaços são as espécies *Sargassum natans* e a *Sargassum fluitans* (CHÁVEZ et al., 2020). Essas algas são chamadas de pelágico, pois permanecem livres nos mares. Na estrutura dessas algas pelágicas, grande quantidade de pequenas vesículas cheias de ar estão presentes nos ramos laterais (GODÍNEZ-ORTEGA et al., 2021). Na Figura 1, ilustra-se as algas de sargaço e seus três morfotipos mais comuns no Mar de Sargaço com detalhes de suas estruturas. Já a Figura 2, mostra a *Sargassum fluitans* (tipo III) com a presença de vesículas (pneumatóforos) que estão localizadas perto das folhas (GODÍNEZ-ORTEGA et al., 2021). Essas vesículas, servem para manter as algas flutuando na superfície da água e favorece a captação de mais luz para a fotossíntese.

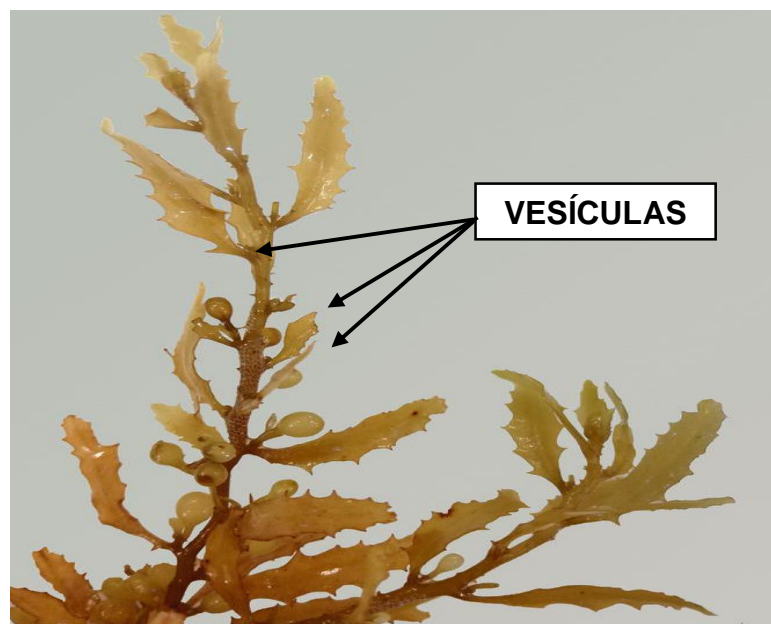
As vesículas tem formato esféricos ou elipsoidais com o tamanho de 1,4 a 2,9 mm em diâmetro (GODÍNEZ-ORTEGA et al., 2021).

Figura 1 – Ilustração dos três morfotipos pelágicos de sargaço com florações no Oceano Atlântico: *S. natans* I, *S. fluitans* III e *S. natans* VIII



Fonte: Davis et al. (2021).

Figura 2 – Ilustração da alga *Sargassum fluitans* (tipo III) com a presença de vesículas de ar



Fonte: Adaptado de Godínez-Ortega et al. (2021).

A diferença entre os morfotipos (Figura 1), é que as algas de *Sargassum natans* I e *Sargassum natans* VIII não têm espinhos em seus caules. Enquanto as algas de *Sargassum fluitans* contém folhas mais densas e apresenta espinhos nos caules. Já as algas de *Sargassum natans* I têm espinhos envolta das vesículas. As folhas das algas de *Sargassum natans* VIII são visivelmente maiores em comparação com as outras (GRAY et al., 2021).

3.1.1 Origem e Localização

Algas do gênero *Sargassum* spp. estão espalhadas em zonas tropicais e temperadas. Elas colaboram, significativamente, para biomassa de muitas áreas costeiras. Na região das praias do Caribe, o sargaço chega na área da costa através das correntes marítimas (VAN TUSSENBROEK et al., 2017). O encontro das correntes do Golfo, região do Atlântico Norte, das correntes das Canárias no Atlântico Norte equatorial, da África Ocidental próximo à região do Saara e do norte do Brasil englobam a formação do grande cinturão do Mar dos Sargaços (GASB) (BAKER et al., 2018). Segundo Wang et al. (2019), no mês de junho de 2018, relatou que a região do GASB, com 8.850 quilômetros de extensão, continha mais de 20 milhões de toneladas métricas de biomassa de sargaço. Na Figura 3, mostra-se uma imagem da área da praia de Tulum no Caribe, em 2019, local em que as pessoas reclamam da presença excessiva de sargaço.

Figura 3 – Imagem do acúmulo de sargaço na região da praia de Tulum (Caribe, México)



Fonte: SLIM, D. **Superpopulação de algas ameaça praia paradisíaca no Caribe mexicano**. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/turismo-e-viagem/noticia/2019/05/31/superpopulacao-de-algas-ameaca-praia-paradisiaca-no-caribe-mexicano.ghtml>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

A proliferação das algas do sargaço ocorre, geralmente, em meados do verão e até final dessa estação. Como hipótese, a propagação das algas do sargaço podem ser proporcionada pela desertificação, ocorrendo a entrada de poeira da areia rica em ferro e fósforo do deserto do Saara no oceano e, também, a ocorrência do aquecimento global (TORRALBA et al., 2017). Outra hipótese notável é o local de encontro de grandes rios na região norte do Brasil, levando nas correntezas os nutrientes e resíduos da atividade humana (WANG et al., 2019).

Em 13 de novembro de 2021, o Conselho da Marinha Mexicana relatou uma quantidade de 44.000 toneladas de sargaço em locais não especificados no mar e praias da costa do Caribe mexicano (SECRETARIA DE MARINA, 2021). Entretanto, a remoção do sargaço das praias chega a gerar um custo muito alto. Como exemplo, na região do Caribe, no ano de 2018, o custo foi estimado de 210 milhões segundo o Mecanismo Regional de Pesca do Caribe (DAVIS et al., 2021). Na região do Golfo do México o custo varia cerca de 5 milhões de dólares anualmente (MILLEDGE et al., 2020). A Figura 4, mostra o mapa do Mar do Sargaço e a formação de novas correntes marítimas com a formação do “Novo Mar de Sargaços”.

Figura 4 – Ilustração da localização do Mar do Sargaço



Fonte: Castro, A. **Sargaço**: a maré marrom que ameaça o Caribe. Disponível em: <<https://infoamazonia.org/2021/03/23/sargaco-a-mare-marrom-que-ameaca-o-caribe/>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

Desde o século XV, época das navegações (escrito pela primeira vez por Cristóvão Colombo em 1492), o grande acúmulo de vários metros de algas no Mar do Sargaço geravam dificuldades na área de navegação. Encalhando as embarcações nessas áreas e prejudicando o acesso de passagem ao mar, o que dizia a sociedade daquela época (LAFFOLEY et al., 2011). Na pesquisa de Johns et al. (2020), abordam os caminhos de recorrência das algas de sargaço. Desde os primeiros relatos históricos do sargaço pelas pesquisas feitas por Collins (1917) e Parr (1939) até sua presença no Atlântico tropical. Apresenta no seu trabalho, a distribuição das algas e questões da abundância do sargaço na superfície do Oceano Atlântico.

3.2 Sargaço na região brasileira

No ano de 2011, as algas de *Sargassum natans* foram encontradas (nas coordenadas 04°12" N, 47°22' W) pela Força Aérea Brasileira na costa ao norte do Brasil como massas flutuantes, sendo confundidas como manchas de óleo (Figura 5) (DE SZÉCHY et al., 2012).

Figura 5 – Ilustração do local das manchas de sargaço encontradas no norte do Brasil



Fonte: DE SZÉCHY et al. (2012).

Na Figura 5, a mancha se estendia por cerca de 9,26 Km na direção nordeste para sudoeste. Nessa pesquisa, relatou que as algas de *Sargassum natans* devem ter se ramificado da comunidade pelágica ao norte, na região do Mar dos Sargaços (DE SZÉCHY et al., 2012).

Entretanto, segundo a pesquisa de Sissini et al. (2017), no ano de 2015, localizaram a presença de algas de sargaço chegando ao Arquipélago de Fernando de Noronha. No local de aproximadamente à 345 km da costa nordeste do Brasil, vindo do lado leste do Oceano Atlântico Sul. Além disso, nesse mesmo ano, uma quantidade de sargaço encalhado foi registrada em regiões costeiras do Brasil, incluindo os estados do Pará, Maranhão, Pernambuco (Arquipélago de São Pedro e São Paulo) e na região do Rio Grande do Norte (Atol das Rocas). Foram identificadas *Sargassum natans* e *S. fluitans* nesses locais (SISSINI et al., 2017). Assim, fatores ambientais, condições físico-químicas da água do mar e interações biológicas podem estar relacionadas como uma explicação dessa biomassa de sargaço chegarem até as margens do Oceano Atlântico Sul.

Um outro aspecto, é a interferência da água amazônica no mar do Caribe. Devido a sua dispersão ser complexa e difícil de rastrear, mesmo utilizando observações de sensoriamento remoto de satélite (JOHNS et al., 2014). Além de variar anualmente, tanto em tamanho quanto em localização a água do rio Amazonas,

isso contribui para a produção de redes de plânctons e maiores concentrações de larvas de peixes. O que pode ter interferido negativamente nas águas do Caribe em 2010 (JOHNS et al., 2014). Entretanto, as principais causas de sedimentos do desmatamento, dos garimpos e a crescente poluição agrícola são levados ao mar pelos grandes rios, particularmente o rio Amazonas. Dessa forma, além das vias de transporte entre o Atlântico Equatorial e o mar do Caribe serem bem delineadas no contexto oceanográfico, o sistema de correntes norte do Brasil oferece um impacto importante para região do sargaço nas áreas do Caribe (PUTMAN et al., 2018).

3.3 Composição química do sargaço

Para realizar a caracterização química do sargaço pelágico é necessário levar em consideração o local extraído (escopo geográfico), temperatura, mistura de espécies, morfologias, amostras coletas em um período de tempo limitado (por exemplo, um único dia ou vários dias) e a quantidade de amostras, sendo baixas amostragens normalmente relatadas (GRAY et al., 2021). Outra característica relevante é a quantidade de componentes químicos examinados, pois as espécies de sargaços diferem quanto a presença de metais pesados e sua toxicidade sob diferentes condições de bioacumulação (concentração de íons, tempo de contato e dosagem do bioacumulante) (SALDARRIAGA-HERNANDEZ et al., 2020a).

Além disso, podem ocorrer variações na composição química quanto aos fatores das espécies das algas, estágios do ciclo de vida e idade, fatores de pH do local encontrado, salinidade, conteúdo mineral da água do mar (diferenças sazonais e específicas do local) e poluentes ambientais (MISURCOVÁ, L.; MACHU, L.; ORSAVOVÁ, J., 2011). As arribadas e lotes de sargaço, geralmente, diferem em sua composição química e a presença de micro poluente em particular, exigindo análises constantes para ter controle da biomassa de sargaço que chegam ao longo das costa das praias (GRAY et al., 2021).

Um aspecto importante é a diferença nas proporções relativas de carbono, nitrogênio e fósforo (C:N, C:P e N:P) relatadas para o sargaço pelágico em diferentes estações do ano e locais no Atlântico Norte. As diferentes razões na relação C:N também podem impactar na aplicação do sargaço, principalmente, na agricultura (fertilizantes), nas indústrias alimentícias e farmacêuticas (LAPOINTE et al., 2014). No mar do Caribe, encontra-se uma maior concentração de elementos salinos (por

exemplo, Na, K, Ca, Mg e Cl), e outros minerais, como iodo (FERNÁNDEZ et al., 2017; MILLEDGE et al., 2020; RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ et al., 2020), e uma alta porcentagem de cinzas (MILLEDGE et al., 2020).

Na pesquisa de Vázquez-Delfín et al. (2021), seis praias arenosas do Caribe mexicano foram analisadas, incluindo praias protegidas e não protegidas pelas franjas de recifes. Essas praias foram escolhidas para amostragem e realização de sua caracterização química, em termos da composição de cada local. Os resultados analisados, apresentaram valores semelhantes ao longo das localidades de amostragem, sem diferenças significativas. Apenas as cinzas e o teor de carbono apresentaram diferenças significativas entre as localidades (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores da composição bioquímica da biomassa de sargaço de praias arenosas do Caribe mexicano (valores em média \pm desvio padrão)

Conteúdo bioquímico	Composição mínima (%)	Composição máxima (%)
Peso seco	14,0 \pm 1,3	17,0 \pm 1,2
Cinza	18,1 \pm 1,4	23,9 \pm 1,2
Carbono	26,8 \pm 0,6	31,7 \pm 0,5
Relação C/N	28,3 \pm 4,2	29,6 \pm 4,8
Carboidrato	14,0 \pm 1,5	17,0 \pm 2,1
Proteína	8,1 \pm 0,7	10,3 \pm 0,8
Lipídios	2,5 \pm 0,6	3,4 \pm 0,6

Fonte: Adaptado de Vázquez-Delfín et al. (2021).

Com base nos dados da Tabela 1, as espécies pelágicas de *Sargassum* spp. da região do Caribe têm características químicas parcialmente homogêneas para a maioria de seus componentes analisados.

3.4 Problemas gerados pela biomassa de sargaço

No Mar do Sargaço, quando as algas se degradam, a coloração do sargaço também sofre alteração. A cor das algas mudam de amarelo-marrom-dourado claro para marrom-escuro, originando as marés marrons ou douradas (Golden Tides) (VAN TUSSENBROEK et al., 2017). Quando ocorre seu processo de decomposição, substâncias como metano, sulfeto de hidrogênio e amônia são liberados, provocando mau cheiro peculiar (CASAS-BELTRÁN et al., 2020). Nesse aspecto, não existe um

cronograma determinado para sua decomposição, o que pode ocorrer a qualquer momento no ambiente marítimo. Após 48 horas, ao inalar ou estar em contato com as substâncias tóxicas liberadas pelas algas do sargaço em decomposição, problemas de saúde vinculadas na parte do sistema respiratório, como lesões pulmonares e irritação das vias aéreas superiores podem ocorrer (RESIERE et al., 2018). Na parte cardiovascular e neurológico, como dores de cabeça e perda de memória, podem afetar os seres humanos e dependerem de cuidados médicos específicos (RESIERE et al., 2018).

Dessa forma, medidas devem ser tomadas para monitorar as concentrações de sulfeto de hidrogênio e amônia nos locais afetados. Intervenções e treinamentos médicos devem ser feitos, além de especificar a toxicologia em áreas afetadas para as pessoas que habitam aquela área. Pesquisadores observam uma constância das arribadas de sargaço e duração de sua intensidade desde 2011, segundo os trabalhos relatos na Universidade do Sul da Flórida (GERRETSEN, 2020), conforme registrado na Figura 6.

Figura 6 – Imagem do resort no México com a costa litorânea repleta de algas de sargaço



Fonte: GERRETSEN, I. **A proliferação recorde de algas no Atlântico que intriga os cientistas**. BBC Future.2020. Disponível em:<<https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-55263136>>. Acesso em: 23 jul. 2022.

Conforme visto na Figura 6, as arribadas de sargaço prejudicam os ecossistemas locais e as pessoas que frequentam as praias (RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ; VAN TUSSENBROEK; JORDAN-DAHLGREN, 2016).

Consequentemente, gerando perdas econômicas no setor do turismo por determinar as áreas contaminadas e ocorrer mudanças na composição microbiana marítima.

Segundo Hu et al. (2015), o uso de sensores remotos têm ajudado a detectar as arribadas de sargaços nos mares. No entanto, o rastreamento e a quantificação do sargaço ainda apresentam desafios tecnológicos. Um exemplo disso, as informações de satélite são limitadas pela nebulosidade, e suas informações sobre a presença e rota de sargaços podem ser perdidas por vários dias. Além de haver problemas como resolução espacial e temporal fornecida pelos satélites (SHEINBAUM-PARDO, 2021). Por outro lado, os satélites de alta resolução espacial (por exemplo, Sentinel-2, Landsat-8, Planet) não registram com nitidez dados em grandes áreas e, consequentemente, podem ser menor a sua resolução das imagens. Já os satélites com baixa resolução espacial (modelos MODIS e Sentinel-3), limitam as áreas registradas (isolando a detecção de sargaço) e não são apropriados para capturar imagens em áreas costeiras imensas (DUFFY et al., 2019).

De acordo com Uribe-Martínez et al. (2020), um estratégia de gestão de sistema semelhante à previsão de furacões poderia ser eficaz na detecção de alerta do surgimento de sargaço nas praias. Usando como base o monitoramento remoto, que alimente modelos numéricos altamente preditivos para determinar a probabilidade das arribadas.

O governo do México e os pesquisadores acadêmicos, desde 2014, vêm desenvolvendo novas medidas para o monitoramento com a produção do “semáforos de sargaço” (FLORES-VIDAL, 2021). Criaram um sistema de alerta robusto para prever os encalhes das algas nas praias (Figura 7), mostrando o avanço do sargaço pela costa de Quintana Roo, no México.

Figura 7 – Ilustração dos “semáforos de sargaços” a) 27 de abril de 2019 e b) 21 de setembro de 2021



Fonte: PONTIM, G. **Red de Monitoreo del Sargazo Cancún**. Disponível em: <https://viagemcaribe.com/onde-tem-sargazo/>. Acesso em: 21 set. 2022.

3.5 Utilização e aplicações do sargazo

No geral, o uso da biomassa de sargazo acumulada nas praias, pode gerar uma oportunidade no lugar de uma ameaça ambiental (OLIVIER et al., 2022). Existem preocupações quanto à ampla aplicação ou descarte dessa biomassa devido aos impactos ambientais no caso de armazenamento, aterro ou compostagem.

Pesquisadores da região do Caribe tentam solucionar os problemas contundentes nas zonas costeiras das praias com a coleta do sargazo e com o uso de barreiras (redirecionado para longe da costa). Afim de alertar e evitar possíveis problemas para a saúde humana, economia e ecossistema local marinho-costeiros (RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ et al., 2019). Além disso, procuram fazer o desenvolvimento de protocolos de ação preventiva para segurança pública no local (WANG et al., 2019).

A retirada do sargazo no mar é realizada por embarcações, arrastões ou pequenas embarcações costeiras (SEMAR, 2021). Além disso, algumas embarcações

ou maquinarias mecânicas possuem sistemas de pré-processamento como moagem para reduzir o volume de sargaço (Figura 8 – c e d) (SEMARNAT, 2021).

Figura 8 – Imagens da retirada do sargaço ao longo da costa e marítimo



Fonte: PONTIM G. **O que é sargaço?** Disponível em: < <https://viagemcaribe.com/o-que-e-sargaço/> >. Acesso em: 21 set. 2022.

Já nas áreas da costa das praias, ele são recolhidos com carrinhos de mão de funcionários dos hotéis (Figura 8 – b), moradores locais ou agentes municipais (Figura 8 – a) recolhida em sacos ou arrastada em lonas. Após coletado, o sargaço é transportado para estações de tratamento adequadas para evitarem a poluição cheguem aos aquíferos ou locais sem deposição final.

Estudos com iniciativas ambientais, econômicas e sociais estão sendo realizados há mais de uma década, na forma de interagir conhecimentos multissetorial e multidisciplinares que englobam o sargaço. Na forma de identificarem as lacunas e pontos importantes dos problemas com o sargaço para o conhecimento atual

(RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ et al., 2019) (DESROCHERS et al., 2020). No entanto, cientistas e pesquisadores propuseram várias oportunidades de pesquisas científicas na utilização das características biológicas, físicas e químicas das macroalgas do sargaço (MILLEDGE; HARVEY, 2016). Destacando-se, respectivamente, cada área de aplicação das algas de sargaço.

- **Agroindústria e Bens Pecuários**

No estudo de compostagem (SEMBERA; MEIER; WALICZEK, 2018), exploram-se a conservação e a valorização do solo como um dos métodos mais econômicos e práticos para utilização do sargaço fresco e seco. Na pesquisa de Pérez, Falque e Domínguez (2016), o sargaço foi utilizado como substrato de crescimento para plantas e como aditivo para substratos, devido às suas propriedades antifúngicas, antimicrobianas e antivirais. O uso do sargaço como biofertilizante tornou-se visível mundialmente, porque ele apresenta nutrientes importantes e retém uma concentração elevada de nitrogênio (DESROCHERS et al., 2020). Já bioestimulantes e biofertilizantes são compostos que estimulam o crescimento das plantas, fornecendo nutrientes, melhorando a qualidade do solo e criando um ambiente microbiano natural de maneira adequada. Entretanto, a adaptação do uso do sargaço na alimentação animal ser altamente questionada, devido à bioacumulação do sargaço de metais pesados e seus efeitos tóxicos (OXENFORD et al., 2021).

- **Farmacêutica e Suplementos Nutricionais**

As macroalgas de *Sargassum* spp. são uma importante fonte de alginatos (um polissacarídeo frequentemente usado como espessante em produtos alimentícios e até mesmo em cosméticos), fucoïdanos e fucoxantinas (DESROCHERS et al., 2020). Os compostos de alginatos são utilizados na indústria alimentícia como emulsificantes e gelificantes (AVENDAÑO-ROMERO; LOPEZ-MALO; PAOLU, 2013). Além disso, os alginatos são usados em alimentos ou suplementos dietéticos com propriedades antioxidantes, anticoagulantes, antitrombóticas, anti-inflamatórias, antivirais e anticancerígenas (YANG; LIM, 2021). Na indústria cosmética, as algas são usadas por conterem importantes níveis de nutrientes e minerais (JESUMANI et al., 2019).

- **Bioenergia**

A biomassa do sargaço pode ser usada como combustível ou para a geração de biocombustíveis (bioetanol, biogás e biodiesel). Para isso, existem as limitações do uso de altas concentrações de componentes recalcitrantes do sargaço (sulfatos, cloreto de sódio e metais pesados). No entanto, podem atuar como inibidores da digestão anaeróbica, processo necessário para a produção de bioenergia (LÓPEZ-AGUILAR et al., 2021). Outro aspecto observado é a quantidade de lignina encontrada nas paredes celulares do *Sargassum* spp., que atua como uma barreira para os microrganismos necessários no processo de conversão do biocombustível. Outros esforços isolados, para produzir bioenergia a partir do sargaço usaram a pirólise direta de biomassa residual (MILLEEDGE et al., 2014).

- **Materiais avançados e compósitos**

Nas indústrias de alta tecnologia, o sargaço pode ser usado para obter biocarbono e nanocarbono para a geração de eletrocatalisadores (ESCOBAR et al., 2017). Outras pesquisas, abordaram o grande potencial para a síntese verde de nanopartículas metálicas com várias aplicações (PÉREZ-SALCEDO et al., 2019) (ROSAS-MEDELLÍN et al., 2021). Na pesquisa de Saldarriaga-Hernandez et al. (2020b), o uso de sargaço na produção de carvão ativado para biofiltros que removem poluentes (corantes, íons, metais pesados, nitrogênio, fósforo, fenóis, cloro, etc.) do ar, terra e água.

Em outro aspecto, as algas podem ser administradas de forma eficaz a fim de reduzir o impacto ambiental. O sargaço misturado com produtos economicamente viáveis podem ser utilizados na área de construção (concreto e tijolos), para produção de fibras têxteis, para produção de bioplásticos (DESROCHERS et al., 2020).

3.6 Uso de algas em compósitos de matrizes cimentícias e argamassas

A preocupação voltada para projetos que impactam o meio ambiente e para proteção ambiental necessitam dos engenheiros civis utilizarem matérias-primas não aproveitáveis (resíduos ou subprodutos). A fim de alcançar uma contribuição

fundamental do desenvolvimento de um material sustentável ecologicamente. A demanda por materiais de construção estão aumentando constantemente, o que torna a procura de mais materiais como cimento e agregados (MILLEDGE et al., 2014). A indústria do cimento enfrenta uma série de desafios, desde o uso de recursos de matérias-primas naturais até o consumo energético da produção de clínquer de cimento Portland (LÓPEZ-SOSA et al., 2020). Além disso, um fator impactante é a preocupações ambientais em relação às emissões de gases de efeito estufa, mudanças climáticas e a geração de materiais com economia circular (MILLEDGE et al., 2014).

As algas marinhas são consideradas muito promissoras na aplicação de um material de construção verde para argamassa sustentável. A abordagem de pesquisas científicas, para que ocorra um nível máximo de substituição de agregados naturais miúdos em argamassas é necessário para obter uma proporção. Sem diminuir significativamente a resistência à compressão e trabalhabilidade das argamassas.

Na pesquisa de Susilorini et al. (2014), foram analisadas a resistência à compressão e a resistência à tração de argamassas modificadas com polímero natural, com gel de algas (*Eucheuma Cottonii*) e pó de algas marinhas (*Gracilaria Sp.*). Nessa pesquisa, a argamassa que apresentou um aumento do valor de resistência à compressão (29,28 MPa em 7 dias à 30,36 MPa aos 28 dias) e resistência à tração (5,63 MPa) foi a argamassa modificada com polímero natural com pó de algas marinhas em comparação com os corpos de prova controle (18,85 MPa em 7 dias à 25,33 MPa aos 28 dias). Já a pesquisa de Siddique e Wahid (2017), abordaram no trabalho o efeito com diferentes proporções de argamassa modificada por algas marinhas, para produção de um concreto sustentável. Avaliaram as diferentes proporções de mistura de algas marinhas com cimento, areia e água. Além de realizarem resistência à compressão e à flexão. Os valores de resistência à compressão e flexão de 30 MPa e 5MPa por 28 dias, respectivamente. Como resultado, as algas marinhas de proporção de mistura 0,6 foram boas para obter melhor resistência à compressão.

Revathi, Suganya e Haamidh (2022), deu ênfase em um material de construção verde (com o intuito de reduzir a emissão de CO₂) com algas marinhas e cascas de batatas para usos no concreto para pavimentação. O bloco de pavimentação contendo combinação de algas marinhas e cascas de batata (5% em relação ao peso de cimento) absorve mais CO₂ em comparação com outros tipos de blocos de

pavimentação fundidos. A resistência à compressão desse bloco de pavimentação foi aproximadamente à do bloco convencional (27 a 37 MPa).

Na pesquisa de Rossignolo et al. (2022), realizou-se uma avaliação sistêmica de aplicações e desafios relacionados a utilizações da biomassa das espécies pelágicas de sargaço (*S. natans* e *S. fluitans*). Além de fazer uma triagem de publicações referentes a estudos sobre a aplicação de algas no setor da construção civil. Algumas lacunas de estudos específicos sobre a composição e comportamento das algas e os processos envolvidos em cada tipo de aplicação. Relatou os impactos dos materiais relacionados com cada aplicação.

Com referência à pesquisa de Hernández, Cano-Barrita e Torres-Acosta (2016), foram analisados o desempenho mecânico e durabilidade de concretos com relações água/cimento (a/c) de 0,30 e 0,60. Além dos componentes de soluções de mucilagem de cactos e extrato de algas marinhas marrons (*Macrocystis pyrifera*). Seus resultados mostraram que apenas uma mistura de concreto com aditivos aumentou a resistência em relação ao controle. Verificaram que as propriedades mecânicas e durabilidade dependem da relação água/cimento. No caso de uma relação a/c baixa, a porosidade permeável diminuiu devido à capacidade de retenção de água das algas, que ofereceu um aumento da umidade para hidratação adicional do cimento. Em concretos com alta relação a/c, a adição de água não melhorou a hidratação, pois já havia água suficiente para hidratação. Porém, a porosidade aumentou como resultado do efeito da hidratação do cimento e da secagem subsequente.

Os autores Ramasubramani, Praveen e Sathyanarayanan (2016), realizaram a pesquisa com algas marinhas marrons como material aditivo ao concreto. Com uma proporção fixa de água para cimento (a/c =0,5) e as algas marinhas marrons foram adicionadas a 2%, 5%, 8% e 10% do teor de cimento na produção de concreto. Os resultados mostraram que as várias propriedades de resistência do concreto aumentaram ou diminuíram com a adição de algas marinhas. A resistência à compressão diminuiu com o aumento da adição de algas marinhas. Entretanto, a resistência de deflexão das vigas aumentou comparado a amostra controle. O estudo descobriu que a adição de 8% de algas marinhas ao concreto obteve um aumento nas propriedades de resistência. Quando a adição aumentou para 10%, as propriedades começaram a diminuir.

No trabalho de Alengaram et al. (2021), teve como objetivo de utilizarem as microalgas em argamassas de cimento para induzir a formação de carbonato de cálcio e selar às fissuras, como agente na cicatrização. Duas espécies de algas, *Synechococcus elongatus* (*Syn. elongatus*) e *Spirulina platensis* (*S. platensis*), foram avaliadas quanto às suas características na inclusão das argamassas com substituição do cimento por 4, 8 e 12%. Seus resultados mostram que as argamassas com *S. platensis* apresentaram melhor resistência e cicatrização de fissuras em comparação com as argamassas com *Syn. elongatus*. Além de verificar a integração de microalgas no cimento, obteve o efeito de auto cicatrização, o que podem prever futuras cicatrização na superfície da fissura.

De acordo com o conhecimento dos autores, a pesquisa presente abrange uma inovação experimental sobre o desenvolvimento de argamassas com proporções de uso de cinza de sargaço em substituição do agregado miúdo. Além de considerar os efeitos gerais desses aditivos nas propriedades do cimento e das argamassas (ou seja, densidade do cimento, superfície específica, composição química, e demanda de água e resistência à compressão). Essa situação demanda a atenção de pesquisadores, que passaram a desenvolver pesquisas visando a utilização de resíduos sustentáveis em materiais cimentícios.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais são apresentados nessa etapa da pesquisa. Primeiramente, os materiais utilizados para as pastas cimentícias e argamassas. Em seguida, os ensaios e análises dos materiais descritos nos métodos, conforme o fluxograma da Figura 9:

Figura 9 – Fluxograma da Análise dos Materiais



Fonte: Própria autoria.

4.1 Materiais

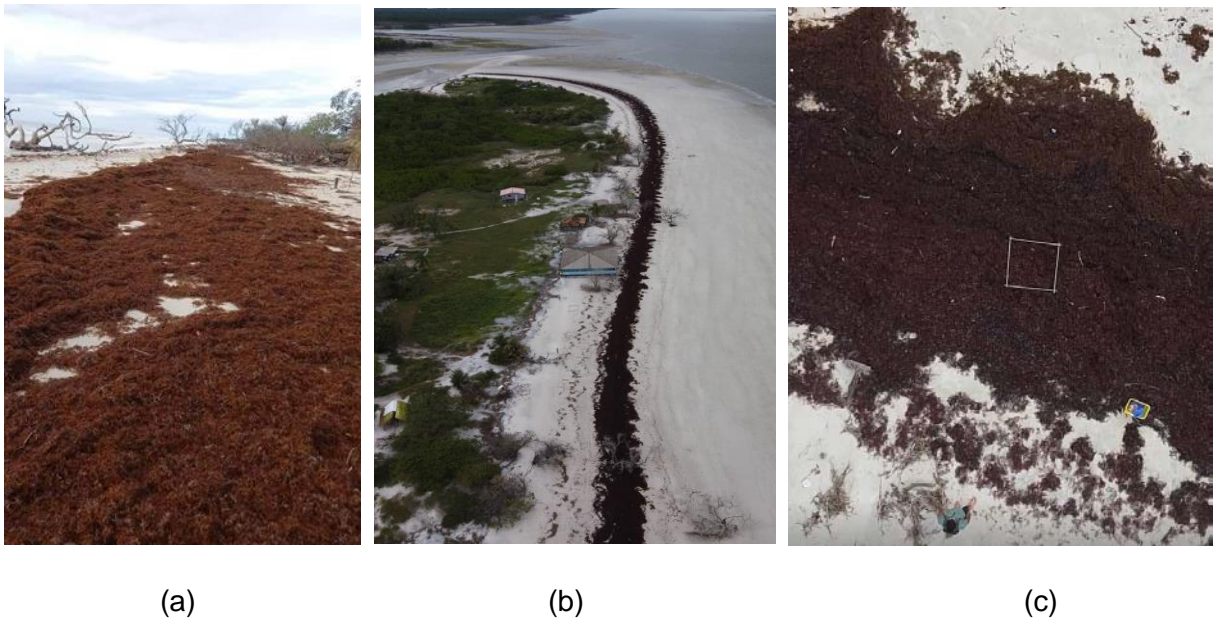
4.1.1 Cimento

O cimento utilizado na produção das pastas e argamassas foi o tipo CP II-F 40 (cimento Portland que oferece resistência mecânica à compressão de 40 MPa, 28 dias após moldado), sem adição de mineral. A marca do cimento estrutural é Cauê, que contém as exigências químicas, físicas e mecânicas conforme a NBR 16697 (Cimento Portland – Requisitos).

4.1.2 Obtenção das algas de sargaço

Para a coleta das algas de sargaço na região da praia, é fundamental que ela tenha sido coletada dentro de 72 horas após a chegada para evitar a degradação das algas e a areia seja removida o máximo possível (LÓPEZ-CONTRERAS et al., 2021). A coleta das algas de sargaço para desenvolvimento dessa pesquisa ocorreu em 12 de maio de 2021, na Praia de São Pedro (Reserva Extrativista de Arapiranga-Tromai), município de Carutapera no estado do Maranhão. Nessa arribada foi estimado o acúmulo de 200 toneladas em quatro quilômetros de costa (Figura 10).

Figura 10 - Imagem da arribada de sargaço na Praia de São Pedro Carutapera-MA: (a) algas de sargaço depositada na praia e (b) e (c) vista aérea da ocorrência das algas

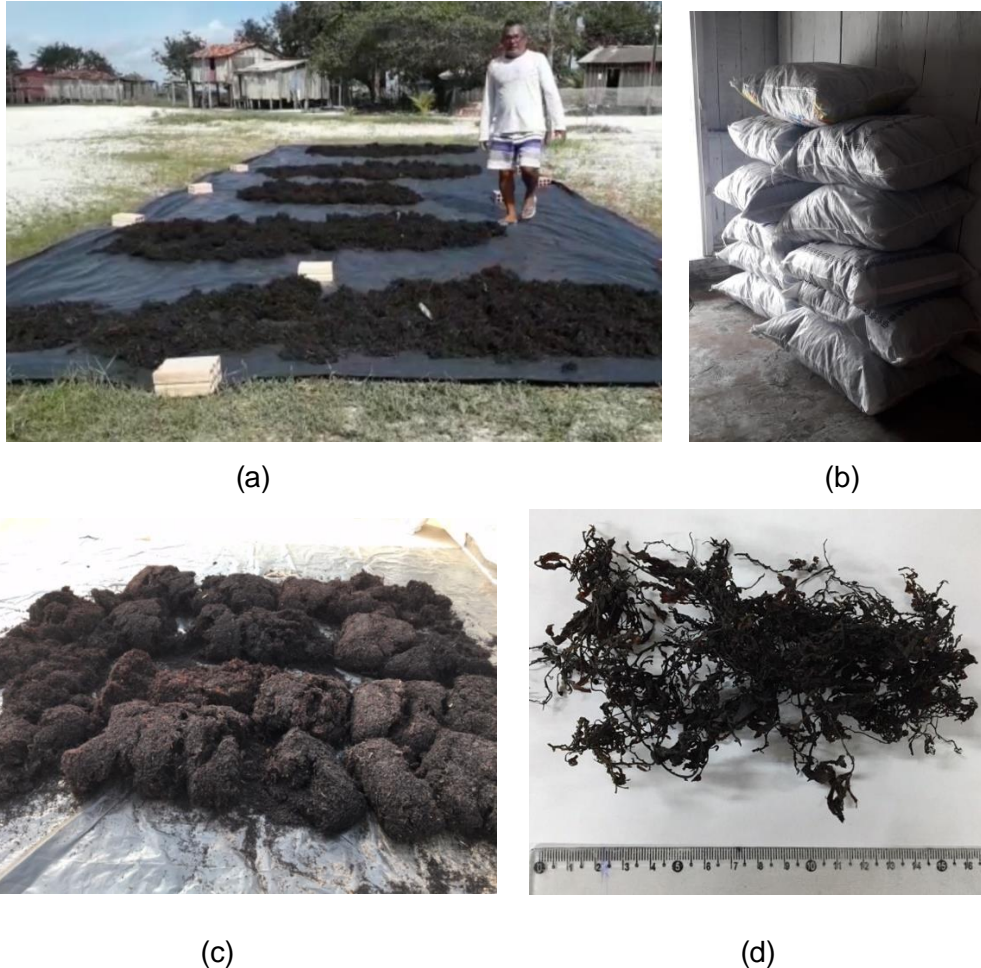


Fonte: Própria autoria.

Solicitou-se na coleta das algas a ajuda dos colaboradores Prof. José Eduardo Martinelli Filho (UFPA) e o Dr. Cícero Alves Lima Junior (morador de São Luis e pós-doutorando do IQ-USP), que praticaram e ensinaram dois pescadores da praia de São Pedro, no processo de coleta, lavagem (remover os restos de areia e sais marinhos) das algas. Além da secagem de 500 kg de algas, o que resultou no final do processo 75kg de algas secas. Após esse processo, as algas secas foram ensacada para o devido transporte até cidade de Carutapera (MA). Depois os lotes foram transportadas até a capital de São Luiz (MA), para ser encaminhada para destino final na Universidade de São Paulo (USP) em Pirassununga (SP). Em 28 de junho de 2021,

os lotes de algas de sargaço foram recibos em Pirassununga-SP, no Laboratório de Construções Rurais e Ambientância (CONSTRAMBI) (Figuras 11c e 11d).

Figura 11 – Processo da coleta e secagem do sargaço: (a) secagem; (b) armazenamento em saco após a secagem; (c) algas após transporte até Pirassununga; e (d) detalhe da alga seca



Fonte: Própria autoria.

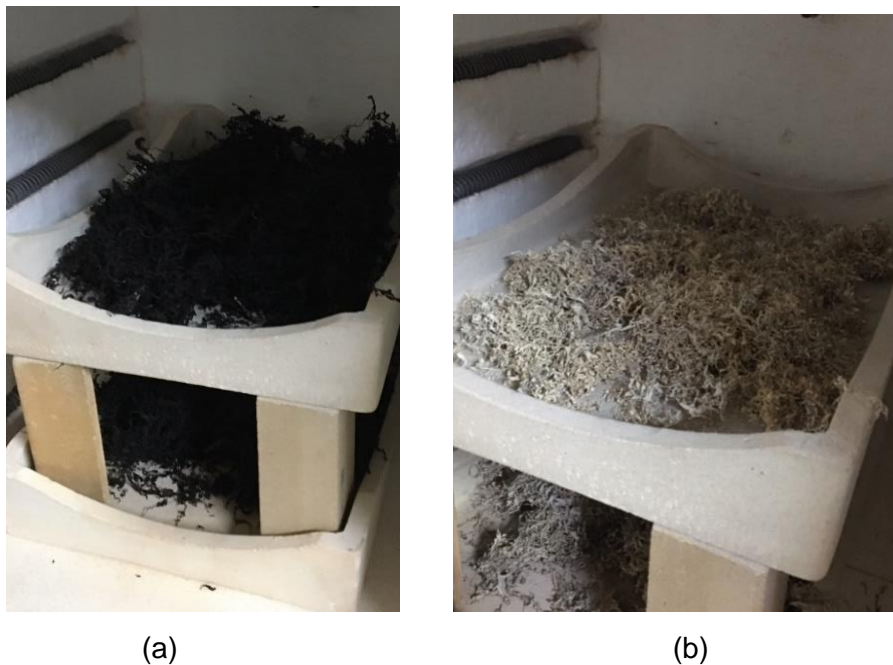
Após o armazenamento, foram analisadas a umidade das algas e verificou que o sargaço coletado continha 87,5% de umidade no estado fresco. As algas coletadas passaram por uma avaliação de composições morfológicas, realizado pelo Dr. Cícero Alves Lima Junior, o qual foram anotadas as proporção (em massa) de algas: 50% *S. fluitans*, 35% *S. natans VIII* e 15% *S. natans I*.

Portanto, o próximo passo após seu armazenamento das algas de sargaço, foi realizar a produção das cinzas, para avaliação desse material como adição em compósitos cimentícios.

4.1.3 Produção da cinza de sargaço

A alga de sargaço na forma seca (umidade abaixo de 10%), foi calcinada em um forno resistivo da marca Jung, modelo 10013, com potência de 7.000W, na temperatura de 500°C, por duas horas, com rampa de aquecimento de 10°C/min. Após a retira do material do forno, a cinza resfriou-se até temperatura ambiente. Por fim, a cinza de sargaço passou pelo peneira de 300 µm para retirada de fuligem proveniente da queima e uniformizar o material. Na Figura 12, ilustra-se o sargaço antes (a) e após a queima (b):

Figura 12 – Imagem do sargaço na parte interna do forno (a) antes e (b) após a queima



Fonte: Própria autoria.

4.1.4 Agregado miúdo

O agregado miúdo natural utilizado na produção das argamassas é proveniente do leito do Rio Mogi Guaçu. Sua granulometria, segundo a norma NBR 7211 (2005), é classificada como fina, devido a porcentagem retida acumulada ser de 1,32. Na Figura 13, o ensaio de distribuição granulométrica por peneiramento da areia (Figura 13- a) e a areia retida no fundo das peneiras (Figura 13 – b).

Figura 13 – Distribuição granulométrica da areia



Fonte: Própria autoria.

4.1.5 Água

A água manuseada para produção das pastas e argamassas foi proveniente da rede de abastecimento público local, fornecida pela SAEP (Serviço de água e esgoto de Pirassununga).

4.2 Métodos

Os métodos utilizados na pesquisa para analisar os materiais foram de acordo com o fluxograma da Figura 9.

4.2.1 Fluorescência de raios X

Para a determinação da composição química do cimento e da cinza de sargaço utilizou-se o espectrômetro de fluorescência de raios X com a determinação dos valores dos óxidos presentes nesses materiais (% em peso). Essa técnica de FRX

apresenta vantagem pela rapidez e a preparação não destrutiva das amostras. O equipamento de espectro de fluorescência de raios X, da marca PANalytical e modelo MiniPal4. Para a realização do ensaio, utilizou-se o método de pastilha de pó prensado (PPP) nas mostras de cimento e cinza de sargaço.

Para o ensaio de perda ao fogo (PF), foi realizada de acordo com procedimentos prescritos na NBR NM 18 (2012), para identificar a quantidade de perda de massa até a temperatura de 1000°C.

4.2.2 Distribuição granulométrica

A granulometria dos materiais (cimento e cinza sargaço) foi realizada através de Granulômetro a laser-Laser P Size Analyzer, marca Horiba. Dessa forma, as curvas de distribuição do tamanho das partículas e os valores do diâmetro médio da partícula (D_{med} , D10, D50 e D90) foram analisados.

4.2.3 Picnometria de gás hélio

O Picnômetro tem a função de fornecer o valor da densidade real do material. Primeiramente, volume da amostra é medido através da mudança de pressão observada no gás hélio, quando este se expande de uma câmara contendo a amostra para outra câmara sem amostra. O gás hélio é inerte, possui moléculas de pequeno tamanho, e por isso penetra facilmente nos poros das amostras. A densidade do cimento, da cinza de sargaço e areia foram determinados por esse método, no qual, apresentam maior precisão nos resultados.

4.2.4 Área superficial específica da cinza de sargaço

O método BET (Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett e Edward Teller) baseia-se na adsorção física (fisissorção) ou química (quimissorção) em mono e multicamadas de moléculas de um gás inerte sobre uma superfície com poros abertos e interligados das partículas do sólido ensaiado. Além disso, não existe a interação entre cada camada adsorvida de acordo com a teoria. A técnica permite obter resultados no equipamento como área superficial específica, volume de poros e tamanho médio dos poros dos materiais analisados (NASCIMENTO et al., 2014). O

equipamento de análise determina isotermas são expressas pelo volume de gás adsorvido/dessorvido em relação à pressão relativa do sistema. A amostra a ser ensaiada deve passar por pré processo de desgaseificação sob alta temperatura e vácuo, para a completa remoção de água e outros contaminantes adsorvidos na amostra (NASCIMENTO et al., 2014). A análise é realizada adicionando, em etapas, quantidades conhecidas de nitrogênio (gás elevada pureza, sendo ele o adsorbato) ao recipiente da amostra até alcançar a pressão de saturação e a absorção de gás é interrompida. No final, a amostra é removida da atmosfera de nitrogênio, ocorrendo o processo de dessorção e a quantificação das moléculas de nitrogênio adsorvidas no material.

No Laboratório de Microestrutura e Ecoeficiência de Materiais (LME), Departamento de Engenharia de Construção Civil da Politécnica - USP (São Paulo), foi determinada a área de superfície específica (ASE) da cinza de sargaço. Utilizou-se um equipamento de adsortômetro de gases, modelo Belsorp Max e da marca MicrotracBEL. Com a amostra de cinza de sargaço, cerca de 10 gramas, realizou-se a retirada de umidade em um dessecador, na temperatura de 110°C por 24 horas e resfriou-se até a temperatura ambiente (em torno de duas horas). No dessecador, para evitar a umidade e a presença de outros gases adsorvidos colocou sílica gel e usou pressão a vácuo. Após esse processo, com a amostra no equipamento BELPREP-vacII, um pré-tratamento da amostra foi submetida a pressão de vácuo de 10^{-2} kPa.

Com o uso de uma espátula foi coletado, aproximadamente, 0,500g de amostra e submeteu-se a pressão de vácuo de 10^{-2} kPa, sob temperatura de 40°C por 16 horas. Assim, o resultado da área superficial específica (ASE) foi obtida a partir isoterma de adsorção de gás nitrogênio (N_2) gasoso a 77 K, segundo o método Brunauer-Emmet-Teller (BET), em valores de pressão relativa (p/p_0) variando na faixa entre 0,05 e 0,25), onde “ p_0 ” é a pressão de condensação do nitrogênio. O equipamento utilizado foi Belsorp Max, Bel Japan.

4.2.5 Difração de raios X

A composição mineralógica da cinza de sargaço e das pastas cimentícias foram determinadas por meio de difração de raios X. O equipamento da marca Rigaku Rotaflex Miniflex 600 com radiação $CuK\alpha$, tensão de 40kV e corrente de 15mA foram

usados na análise das amostras depositadas em lâminas de vidro. O modo de escaneamento ocorreu por passos, com passo de 0,02 e com ângulo de varredura de 2θ percorrido de 0° a 90° . Com os resultados gerados pelo difratômetro, as amostras foram examinadas na faixa angular 2θ e a intensidade dos picos de difração estão diretamente relacionados com os respectivos ângulos de difração dos sólidos cristalinos presentes nas amostras de cinza de sargaço e das pastas cimentícias.

4.2.6 Microscopia eletrônica de varredura da cinza de sargaço

Nesse método de microscopia eletrônica de varredura, quando uma pequena região da amostra é atingida por um feixe de elétrons, são originados diferentes sinais, como elétrons secundários e elétrons retroespalhados, dentre outros. Dessa forma, as micrografias eletrônicas de varredura da cinza de sargaço foram obtidas pelo microscópio eletrônico de varredura da marca HITACHI, modelo TM 3000. As imagens retroespalhados foram obtidas e mostradas no programa de imagem do equipamento. Como o equipamento não exige recobrimento e muitos preparos prévios para análise, a amostra de cinza de sargaço foi dispersada em fita carbono dupla face condutora. Com a análise da amostra pelo MEV permite-se observar características intrínsecas do material, como a heterogeneidade de formas e a estrutura porosa indesejável nos pontos analisados. Além disso, com analisador de raios X por dispersão de energia (EDS), a fotomicrografia foi obtida por elétrons secundários, da superfície interna da cinza de sargaço, sendo a amostra colocada sobre o fita de carbono. Como resultado do EDS a análise composicional e a posição dos picos no espectro identificaram os elementos presentes na cinza de sargaço. A voltagem utilizada foi de 15 kV para análise de EDS, as contagens foram acumuladas ao longo de 30 segundos.

4.2.7 Termogravimetria das pastas cimentícias

Na análise de termogravimetria foram realizadas em pastas cimentícias após 28 dias de cura a 23°C (temperatura ambiente) com umidade relativa de 100%. As amostras foram preparadas com teores adicionados de cinza de 0, 10, 20 e 30% em massa e a relação de água/aglomerante usada foi 0,5. Antes de realizar as análise, as pastas foram trituradas com acetona, com o auxílio de um almofariz e pistilo, filtradas e colocadas numa estufa a 60°C durante 30 min. Utilizou-se o equipamento

da marca NETZSCH STA 449 F3 Júpiter, modelo STA409C, com taxa de aquecimento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, em uma atmosfera N_2 com fluxo contínuo de gás de $20\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ e pressão ambiente. O cadinho utilizado é de alumina, a amostra na temperatura ambiente foi aquecida até atingir a temperatura de 1000°C . Assim, foi possível identificar a perda de massa dos compostos hidratados das pastas através da derivada da curva de termogravimetria (DTG). Os seus picos com mudanças de fases foram identificados nos resultados e analisados.

4.2.8 Moldagem de corpos de provas de argamassas

Com o intuito de estudar as argamassas de cimento Portland, com traço representativo de uma argamassa de concreto convencional, a formulação escolhida como referência é a dosagem de cimento de um concreto convencional ($300\text{ kg}/\text{m}^3$) com uma relação água/aglomerante de 0,5 (em massa) (TEIXEIRA et al., 2019). A relação aglomerante/agregado foi definida em 1:2,5 em massa. Essas proporções para a produção de argamassa foram escolhidas levando em consideração estudos publicados que mostram que os resultados obtidos para as propriedades do concreto convencional são correspondentes com os resultados obtidos nas argamassas (TEIXEIRA et al., 2019).

Foram confeccionadas argamassas com teores de 0%, 5%, 10% e 20% de cinza de algas de sargaço, em relação a massa, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Dosagem das argamassas e suas respectivas massas (%)

Argamassas	Cimento	Areia	Água	Cinza de sargaço
0%	25	62,5	12,5	-
5%	25	57,5	12,5	5
10%	25	52,5	12,5	10
20%	25	42,5	12,5	20

Fonte: Própria autoria.

A preparação das argamassas foram feitas em um misturador, modelo RV02E, fabricante Eirich. Primeiro, o cimento foi adicionada e ligou-se o misturador por 1 minuto em velocidade lenta, em seguida, foram adicionados areia e água misturados por 2 minuto em velocidade lenta, e após desligado esperou-se 30 segundos parar

abrir o misturador. Após isso, o misturador foi ligado em velocidade alta por 2 minutos (Figura 14):

Figura 14 – Ilustração da preparação da argamassa (a) misturador em utilização, (b) massa da argamassa após o processo de mistura



(a)

(b)

Fonte: Própria autoria.

Foram moldados 18 corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura para cada teores de argamassas (0%, 5%, 10% e 20%). A colocação da massa da argamassa no molde cilíndrico foi realizada em duas camadas, preencheu-se o molde e foram dados golpes para assentar a massa e depois complementado com mais massa até o total preenchimento do molde. Em seguida, a superfície foi nivelada com a espátula, e levadas a uma mesa vibratória por 30 segundos para dispersão de bolhas de ar (Figura 15).

Figura 15 – Ilustração da produção das argamassas: (a) moldes cilíndricos (50mmx100mm), (b) preenchimento dos moldes e (c) moldes na mesa vibratória



(a)

(b)



(c)

Fonte: Própria autoria.

Com os moldes prontos com as argamassas, eles foram envolvidos em saco plástico por 24 horas para sua saturação. Após esse tempo, as argamassas foram retiradas do molde cilíndrico e colocados em recipiente submerso em água para sua cura, respectivamente de 7, 28 e 63 dias (Figura 16).

Figura 16 – Ilustração das argamassas (a) moldes de argamassas para saturação e (b) corpos-de-prova colocas submersos em água

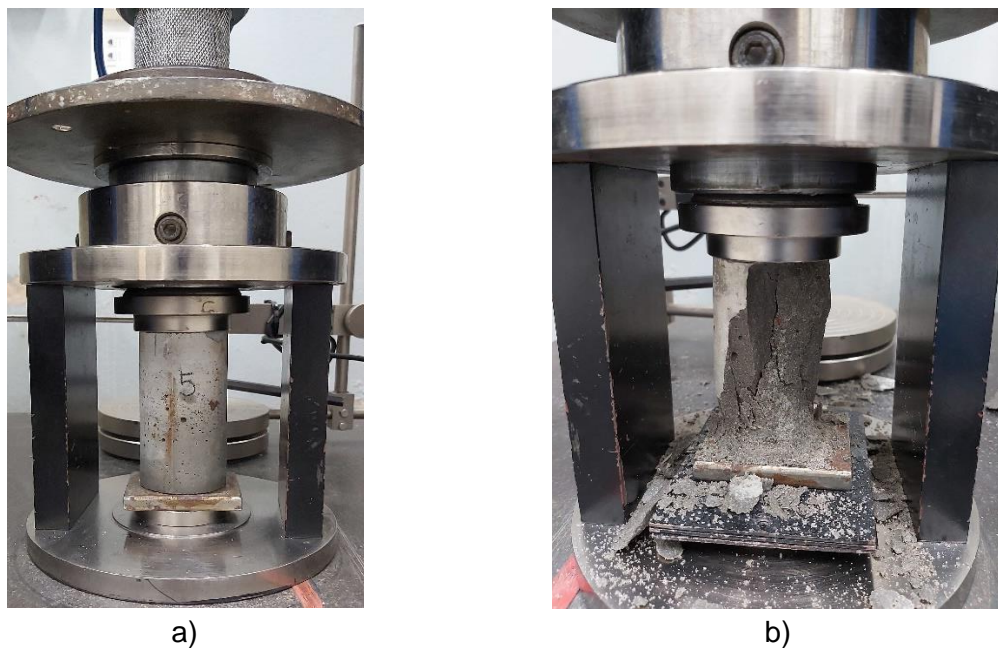


Fonte: Própria autoria.

4.2.9 Resistência à compressão das argamassas

Para medição da resistência à compressão das argamassas foram utilizados 15 corpos de prova cilíndricos, com diâmetro interno de $(50\text{mm} \pm 0,1)$ mm e altura de $(100\text{mm} \pm 0,1)$ mm, e realizados após o tempo de 7, 28 e 63 dias. Os corpos de provas cilíndricos foram curados submersos em água antes da realização do ensaio de compressão. Posteriormente, as argamassas foram compactadas por meio de uma prensa eletromecânica, marca EMIC, com célula de carga de 100kN (Figura 17).

Figura 17 – Ilustração do corpo de prova de argamassa cilíndrico a) antes do ensaio de compressão e b) após o ensaio de compressão



Fonte: Própria autoria.

Este ensaio de compressão das argamassas seguiu as prescrições da norma NBR 13279 (ABNT,2005). Assim, com os resultados dos ensaios de compressão, a resistência final é obtida pela média aritmética entre eles.

4.2.10 Caracterização física das argamassas

Para absorção de água por imersão total, a norma utilizada foi a NBR 9778 (2005), referente as argamassas com 28 dias de cura. No processo de absorção de água, utilizou-se 3 corpos de prova cilíndricos, no qual a água é conduzida para os poros permeáveis com o intuito de preenchê-los. Assim, os corpos de provas ficaram na estufa de 105°C por cerca de 72 horas, para registrar as massas secas. Posteriormente, os corpos de provas foram imersos em água na temperatura ambiente em torno de 23 °C, e mantidas durante 72 horas. Após esse período, as massas saturadas e submersas corpos de provas foram determinados com auxílio de balança hidrostática. Com os resultados das massas obtidas das amostras de argamassa, foram calculados a absorção de água e o índice de vazios das argamassas após 72 horas, e as massas específicas das argamassas das diferentes composições de argamassas (0%,5%, 10% e 20%).

5 RESULTADOS

5.1 Composição química do cimento e cinza de sargaço

De acordo com CHEN, X. et al. (2015), a composição química da cinza de sargaço pode intervir na modificação dos minerais durante o processo de fusão da cinza. A Tabela 3 apresenta as composições químicas dos materiais de cinza de sargaço e o cimento CP II-F-40 obtidos a partir da fluorescência de raios X.

Tabela 3 – Composição química referente a cinza de sargaço e o cimento CP II-F-40

Óxidos	Cinza de sargaço (%)	CP II-F-40 (%)
MgO	11,86	2,38
SiO ₂	7,13	14,26
P ₂ O ₅	0,29	-
SO ₃	18,02	3,79
K ₂ O	1,15	0,63
CaO	22,16	65,27
TiO ₂	0,43	0,30
Fe ₂ O ₃	1,91	3,86
SrO	1,10	-
Cl	1,63	-
Br	0,52	-
Al ₂ O ₃	2,58	2,28
In ₂ O ₃	0,40	1,22
Na ₂ O	17,72	-
PF*	13,00	6,00

*PF = perda ao fogo

Fonte: Própria autoria.

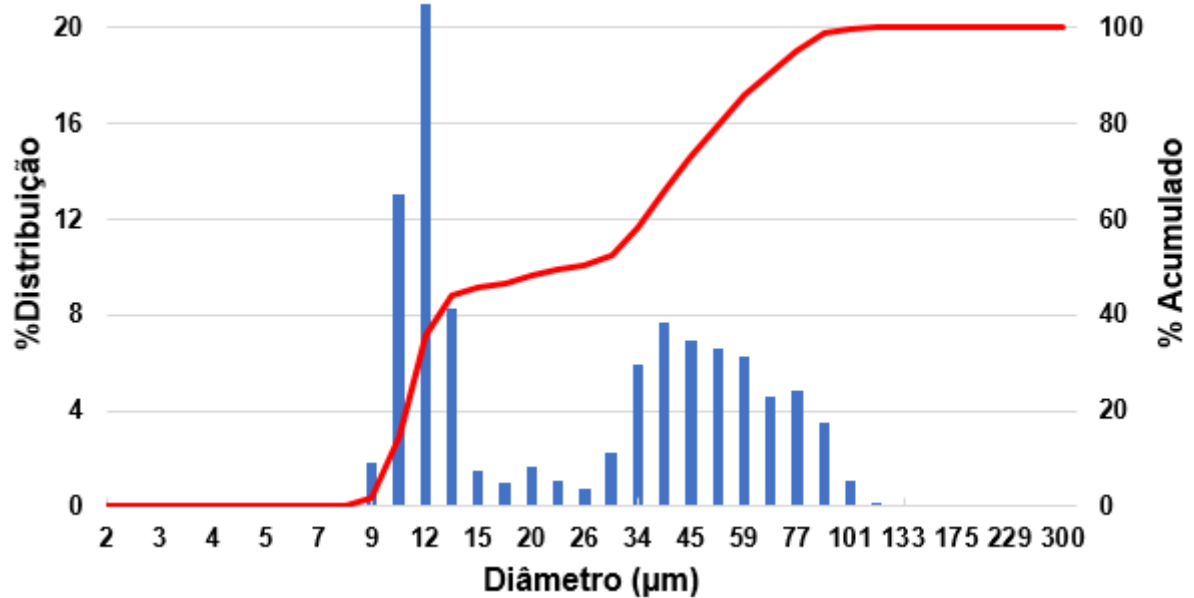
Os teores de óxidos de CaO, SO₃ e Na₂O são os principais constituintes da cinza de sargaço, e seus teores somados são superiores a 58% na composição total. A composição da cinza de sargaço tem valores próximos da cinza de *Sargassum natans* de Chen et al. (2015). Como valores de CaO (28,11%), porém menores valores de SO₃ (4,07%) e maiores valores de Cl (28,16%).

No cimento CP II-F-40, cada elemento químico interfere de alguma forma na sua composição. Os teores de CaO (65,27%) está dentro do limites usuais da composição do cimento Portland (60-67%) e o teor de SiO₂ (14,26%) está inferior ao limite usual (17–25%), segundo Rojas e Cincotto (2013).

5.2 Distribuição granulométrica

Na Figura 18, o resultado do tamanho das partículas da cinza de sargaço obtido pelo granulômetro a laser.

Figura 18 – Gráfico de distribuição granulométrica da cinza do sargaço



Fonte: Própria autoria.

Tabela 4 – Resultados da distribuição granulometria da cinza de sargaço e o Cimento CP II-F-40

Material	D10(µm)	D50(µm)	D90(µm)	Diâmetro médio (µm)
Cinza de sargaço	9,58766	25,06859	66,77858	31,13552
Cimento CP II-F-40	1,4101	1,9319	3,9466	2,44080

Fonte: Própria autoria.

Verificou-se que o diâmetro médio das cinzas de sargaço foi de 31,13552 µm, enquanto a do cimento apresentaram um diâmetro médio de 2,44080 µm. O cimento utilizado nas pastas cimentícias e na moldagem das argamassas situando-se os diâmetros entre 0,1 µm a 100 µm (CIRINO; CABRAL, 2018). A determinação da distribuição das partículas influenciam nas propriedades das pastas e argamassas no estado fresco, como a consistência e reatividade e, no estado endurecido, a fluidez, a resistência mecânica e durabilidade (CIRINO; CABRAL, 2018). Além de ser importante para determinação da área superficial, implicando na maior ou menor quantidade de água necessária no processo de moldagem.

5.3 Determinação da densidade real por picnometria de gás hélio

Para a análise da densidade dos materiais, foi realizado colocando uma quantidade do material (cimento CP II-F-40, cinza de sargaço e areia) suficiente para preencher 2/3 da célula grande do equipamento. Foi inserido gás hélio na célula do porta amostra, e esvaziado após a anotação dos valores das pressões em cada célula. O procedimento foi realizado 8 vezes para cada tipo de amostra. Os resultados foram analisados em um programa de computador e as densidade real foram calculadas pela média e o desvio padrão (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores da densidade real obtidos por picnometria à gás hélio

Material	Densidade (g/cm³)	Desvio Padrão
Cimento CP II-F-40	3,046048	0,008030
Cinza de sargaço	2,549730	0,012856
Areia	2,639690	0,004170

Fonte: Própria autoria.

Os valores obtidos na Tabela 5, são referentes a densidade real calculada pelo picnômetro. O que levou em consideração a relação entre a massa de sólido e seu volume real (volume do sólido menos o volume de poros vazios). O resultado da densidade do cimento CP II-F-40 foi 3,05 g/cm³, o que está próximo aos valores encontrados pela pesquisa da tese de Fonseca et al. (2019), que foi 3,17 g/cm³. Outro dado de densidade por picnometria de gás hélio foi 2,965 g/cm³ do cimento CP II-F-40, analisado por Ribeiro et al. (2021).

O resultado da densidade da cinza de sargaço comparado na literatura, segundo os resultados da pesquisa de Brooks, Coles e Coles (2019), o sargaço obtido da região do mar do Sargaço tem densidade variando de 0,45 até 2,50 g/cm³. Assim, o resultado da densidade ou massa específica real obtido está dentro dessa relação abordada, o que pode variar de acordo com o local coletado do sargaço pelágico.

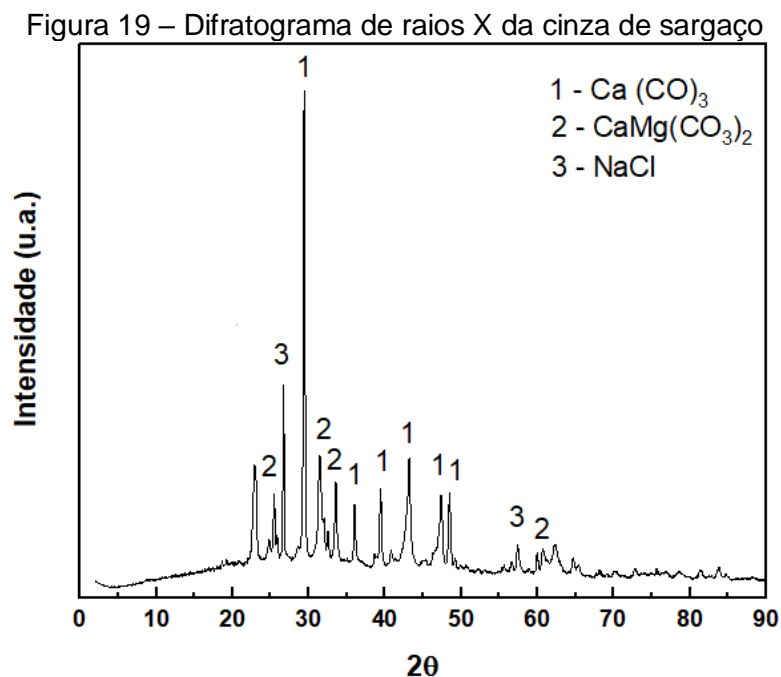
A areia, agregado muído de granulometria fina, obteve valor de densidade de 2,64 g/cm³. O que tem a densidade próxima da cinza do sargaço, permitindo assim sua substituição nas argamassas. A densidade real da areia foi 2,65 g/cm³, segundo a revisão da literatura (ALCANTRA, 2016).

5.4 Área superficial específica da cinza de sargaço

A área superficial reportada pelo BET foi de 45,292 m²/g. A porosidade presente na cinza de sargaço deve aumentar o processo de adsorção, que está diretamente relacionada com a área superficial e associada a capacidade de adsorção dos diferentes adsorventes. Um outro aspecto envolvendo a característica da capacidade de adsorção dos resíduos pela cinza de sargaço, pode estar ligada a área de superfície específica disponível para a interação superfície/soluto (local onde ocorre as reações físicas ou químicas).

5.5 Difração de raios X da cinza de sargaço

Na análise de difração de raios X da cinza do sargaço (Figura 19) foram identificados compostos já encontrados em outros estudos na literatura, como dolomita (CaMg(CO₃)₂) e calcita (CaCO₃) (PARAGUAI-DELGADO et al., 2020).



Legenda: 1 - Calcita (CaCO₃); 2- Dolomita (CaMg(CO₃)₂); 3 – Halita (NaCl)

Fonte: Própria autoria.

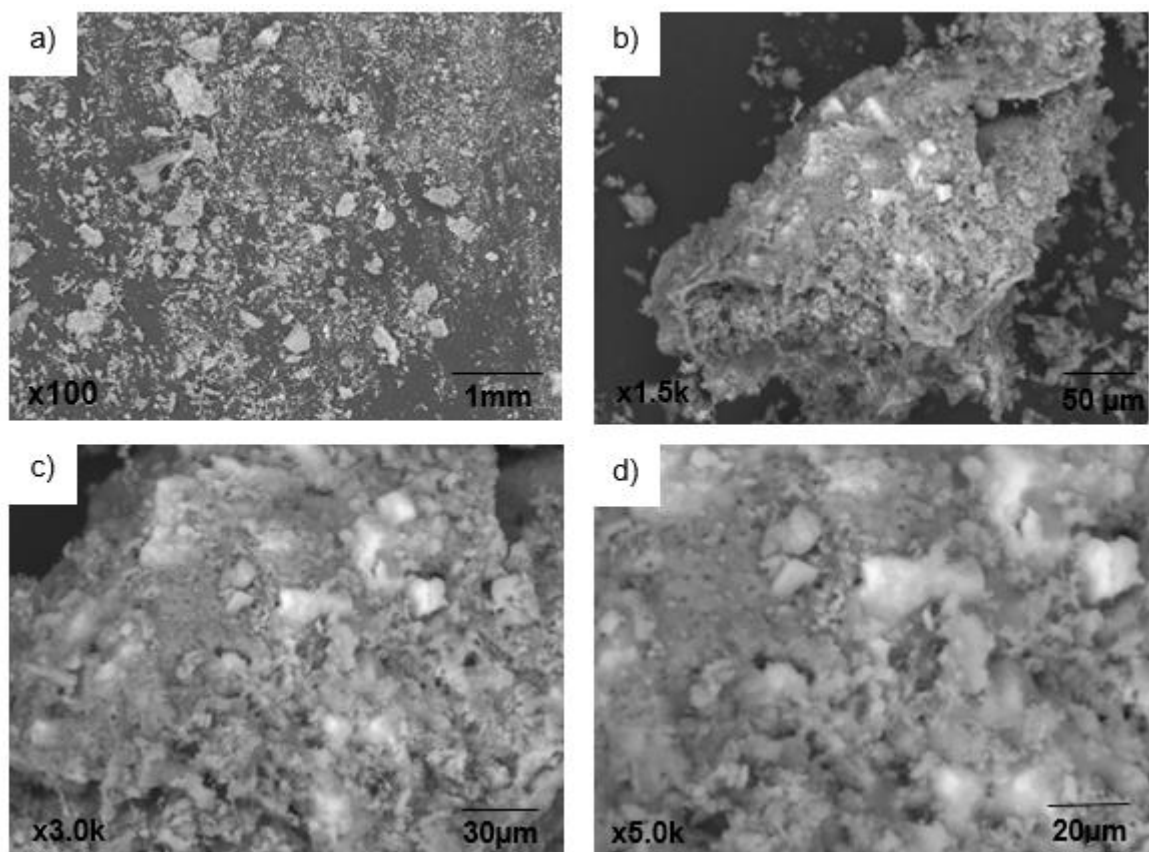
Segundo a análise do Paraguai-Delgado et al., (2020) a calcita está presente em todas as estruturas do sargaço, tanto nas folhas como nos caules. Na pesquisa de Zhao et al. (2016), observou-se que os metais alcalinos na forma de fósforo e sódio orgânicos em baixas temperaturas. No entanto, verificou que os cloretos de metais alcalinos mesmo em altas temperaturas de combustão não foram eliminados (ZHAO

et al., 2016). Observa-se a presença de halita (NaCl) e algumas impurezas não identificadas. A fase cristalina halita está presente na cinza de sargaço, pois a sua intensidade é reduzida quando aumento a temperatura de queima (SONG, M. Y. et al., 2014).

5.6 Microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de raios X da cinza de sargaço

A presença dos poros na morfologia da cinza de sargaço foram verificados pelas análises com o microscópio eletrônico de varredura (MEV). As microfotografias das partículas da cinza de sargaço em diferentes aumentos estão na Figura 20.

Figura 20 – Microfotografias de partículas de cinza de sargaço



Fonte: Própria autoria.

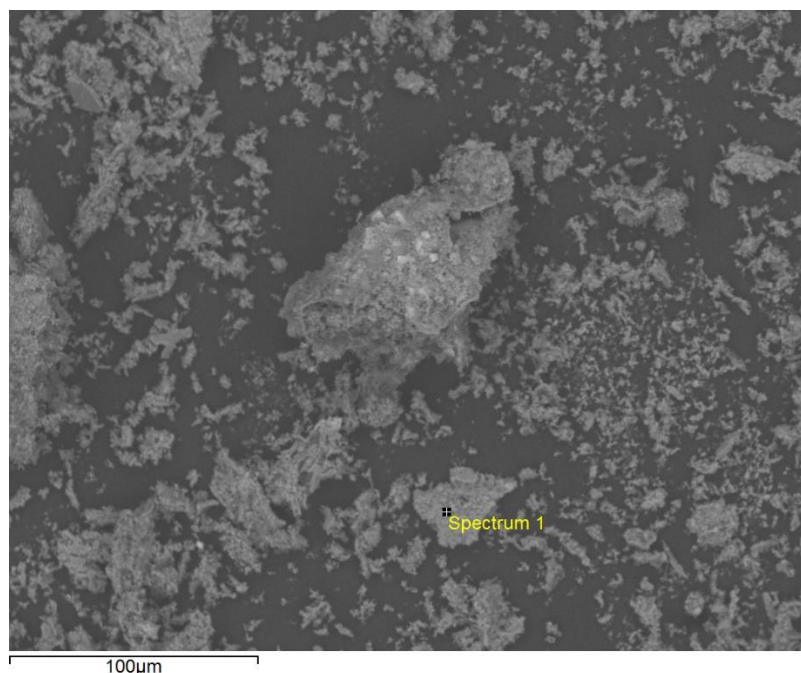
As distribuições de partículas de cinza de sargaço na fita de carbono para análise de suas microestruturas apresentou uma variedade nos tamanhos de poros, presença de rugosidade, formação de várias estruturas, pois suas morfologias não

são homogênea. Quanto mais aumenta sua amplificação (Figura 19 – a) até d)), mais se perde a nitidez das imagens e sombras são formadas devido a presença de aglomerados muito pequenos em sua superfície. Segundo SONG, M. Y. et al. (2014), o aumento da rugosidade e a formação de uma estrutura semelhante a poros são atribuídos à alta porosidade criada após a remoção das impurezas inorgânicas (principalmente sódio, magnésio e cloro).

No entanto, na pesquisa de Zhao et al. (2016), ele mostrou as imagens obtidas pelo MEV para amostras de cinzas de algas de sargaço calcinadas em diferente temperaturas (700°C–900°C). Porém, a medida que aumenta a temperatura, ocorre um aumento significativo das estruturas porosas nas cinzas.

Na análise de energia dispersiva (EDS), a microfotografia foi realizada em uma granulometria de 322,2 µm das partículas da cinza de sargaço (Figura 21), porém não foram feitas a análise em porcentagem das concentrações dos elementos presentes.

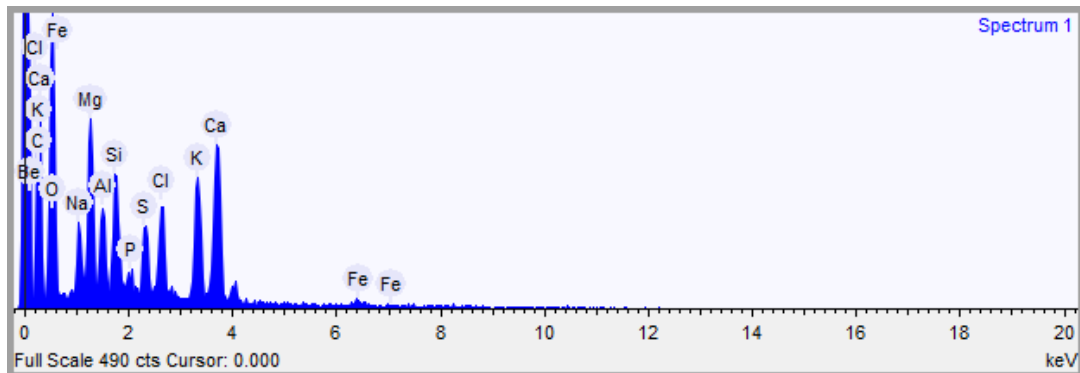
Figura 21 – Microfotografia da cinza de sargaço



Fonte: Própria autoria.

A análise EDS da cinza de sargaço confirmou a presença dos elementos: carbono (C), oxigênio (O), enxofre (S), sódio (Na), magnésio (Mg), alumínio (Al), silício (Si), cloro (Cl), potássio (K), cálcio (Ca), berílio (Be) e ferro (Fe) na amostra, conforme a Figura 22.

Figura 22 - Espectroscopia de raios X de energia dispersiva da cinza de sargaço



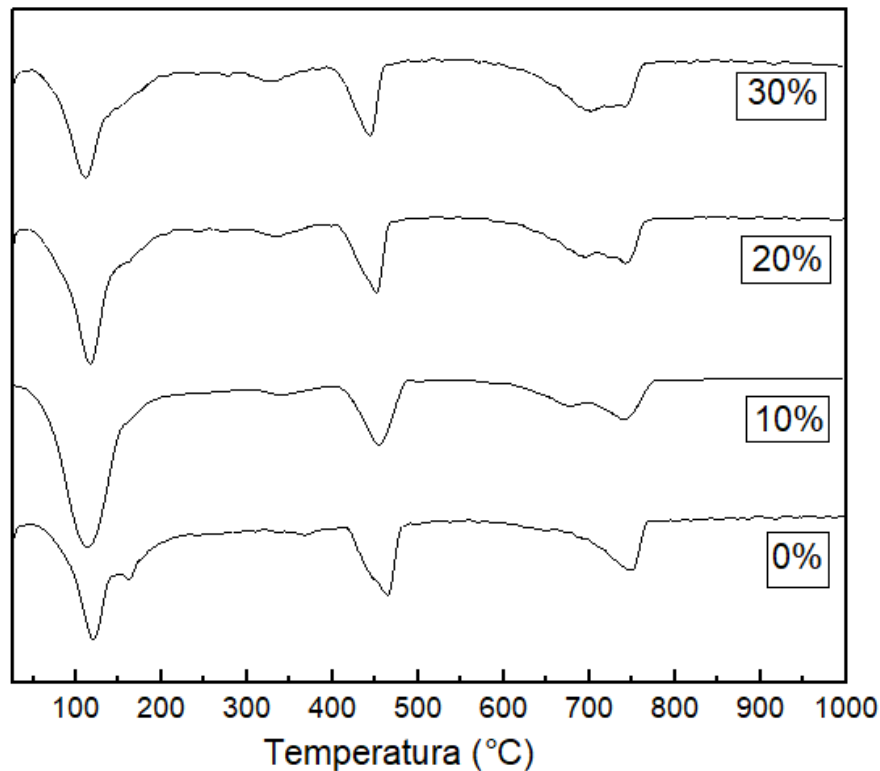
Fonte: Própria autoria.

A composição química elementar da cinza de sargaço (Figura 22), se assemelha as fases dos compostos identificados por difração de raios X e corresponde com os elementos químicos presentes no resultado de FRX. Com exceção do componente metálico de berílio (Be), o que pode ter relação com a característica da adsorção dos metais pelas algas de sargaço. Além disso, o resultado de EDS se assemelha ao resultado encontrado na pesquisa de López-Sosa et al. (2020), pela presença dos mesmos elementos químicos feitos na região do caule e folhas do sargaço localizado na região do México. A grande quantidade de elementos de carbono, cálcio e oxigênio pode estar relacionada com a fase de calcita, muito utilizado na produção de cimento Portland, além de colaborar com pesquisas científicas com o uso em outros materiais cimentícios (PARAGUAI-DELGADO et al., 2020).

5.7 Análise termogravimétrica das pastas cimentícias

As curvas da derivada da termogravimétrica (DTG) das pastas cimentícias com adição de 0%, 10%, 20% e 30% de cinza de sargaço são mostradas na Figura 23, indicando as temperaturas correspondentes ao início e ao instante em que a velocidade de reação é máxima. Os picos endotérmicos de redução percentual de massa em pelo menos três regiões destacadas, em 120°C, 450°C e 750 °C, respectivamente.

Figura 23 - Gráficos da derivada da termogravimetria das pastas cimentícias



Fonte: Própria autoria.

Três regiões importantes da análise termogravimétrica foram definidas, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados das regiões principais da análise termogravimétrica

	1° Intervalo	2° Intervalo	3° Intervalo
Pastas cimentícias	(65°C – 200°C)	(420°C – 485°C)	(630°C – 770°C)
0%	10,23%	4,08%	5,57%
10%	11,57%	3,54%	4,90%
20%	11,56%	3,22%	5,61%
30%	9,08%	3,25%	7,07%

Fonte: Própria autoria.

Com os dados da análise termogravimétrica das pastas cimentícias, todas os gráficos apresentaram redução da massa da amostra, conforme visto na Tabela 6. Com o aumento da porcentagem de adição de cinza de sargaço, observa-se maiores perdas de massas nas pastas cimentícias de 20% de adição de cinza de sargaço. Os picos endotérmicos, localizados inferiores de 200°C, são atribuídos à remoção de

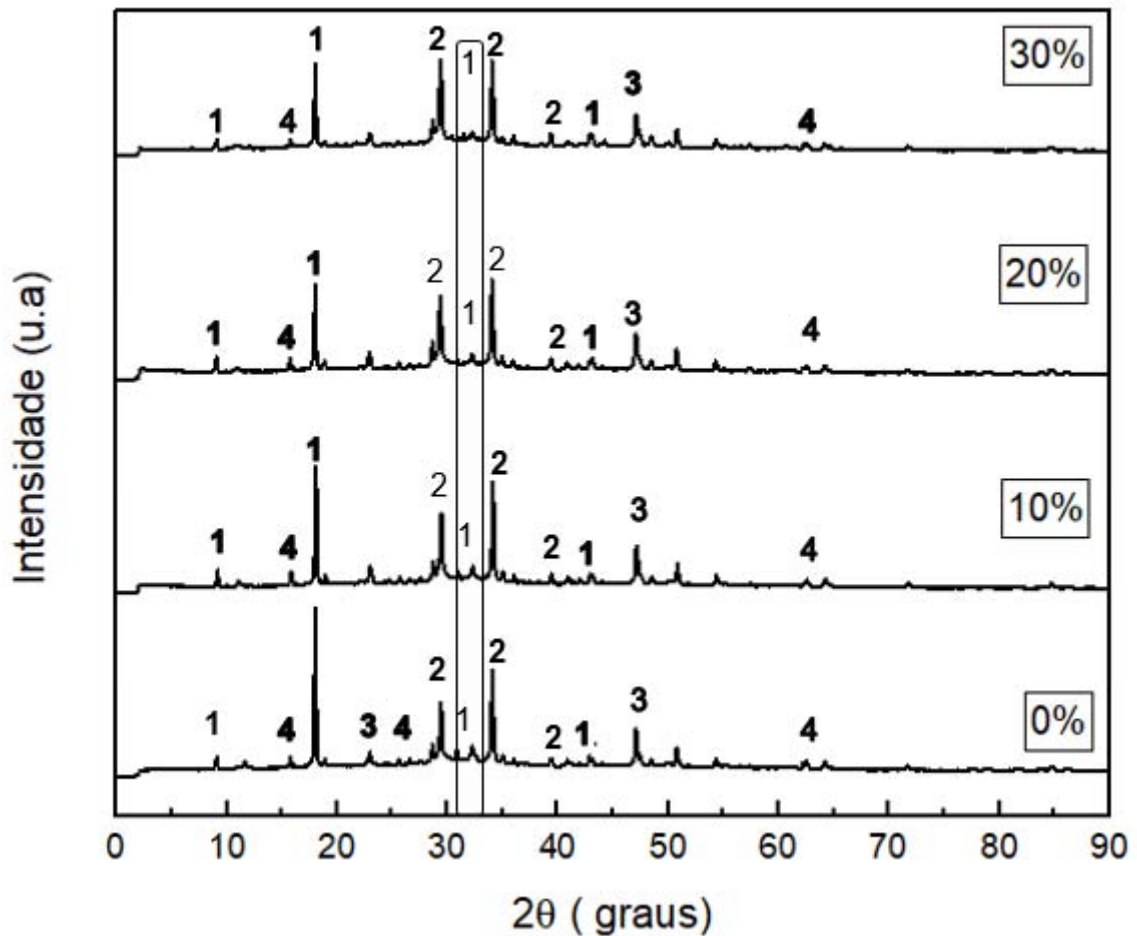
água livre (evaporação incompleta da água livre nos compósitos de cimento) próximo a temperatura de 75°C (ROSTAMI et al., 2012). Com a adição de cinzas nas pastas cimentícias, observa-se um aumento da perda de água, pois as cinzas da alga de sargaço podem reter partículas de água em seus poros capilares. Além disso, pode ocorrer a desidratação de gel C–S–H e a decomposição de C-S-H sobrepostos com hidratos de sulfoaluminato de cálcio (hidratos de etringita e monossulfato), desidroxilação de CH, bem como produtos de hidratação, os hidratos de aluminossilicato de cálcio (CHU et al., 2019). Dessa forma, observa-se maior decomposição de produtos de hidratação da pastas cimentícias com 10% de cinzas de sargaço.

Após a vaporização de toda umidade, o segundo pico endotérmico localizado em torno de 420°C à 485 °C são característica da decomposição da portlandita (desidroxilação de hidróxido de cálcio) e outros componentes instáveis, pode ocorrer com o carbonato de cálcio instável precipitado da carbonatação de C–S–H. Observou-se menor variação de perda de massa nesse intervalo, porém as pastas com 10% de adição de cinzas de sargaço apresentou uma decomposição da portlandita de 3,54%. Porém, o terceiro pico endotérmico (630°C - 770 °C) está relacionada à calcinação de calcita amorfa e cristalina (CaCO_3) e a decomposição térmica (descarbonatação) foi realizada até 800 °C (SHORT; PURNELL; PAGE, 2001). Por fim, observa-se maior teor de CO_2 na pasta 30% no terceiro pico endotérmico, conforme a Figura 23 e a Tabela 6, em comparação com outras pastas, o que podem sugerir a presença de mais fases cristalinas nesse material (ROSTAMI et al., 2012).

5.8 Difração de raio X das pastas cimentícias

As amostras das pastas apresentaram comportamentos semelhantes nas análises de difração de raios X, na Figura 24.

Figura 24 – Gráficos de difração de raios X das argamassas



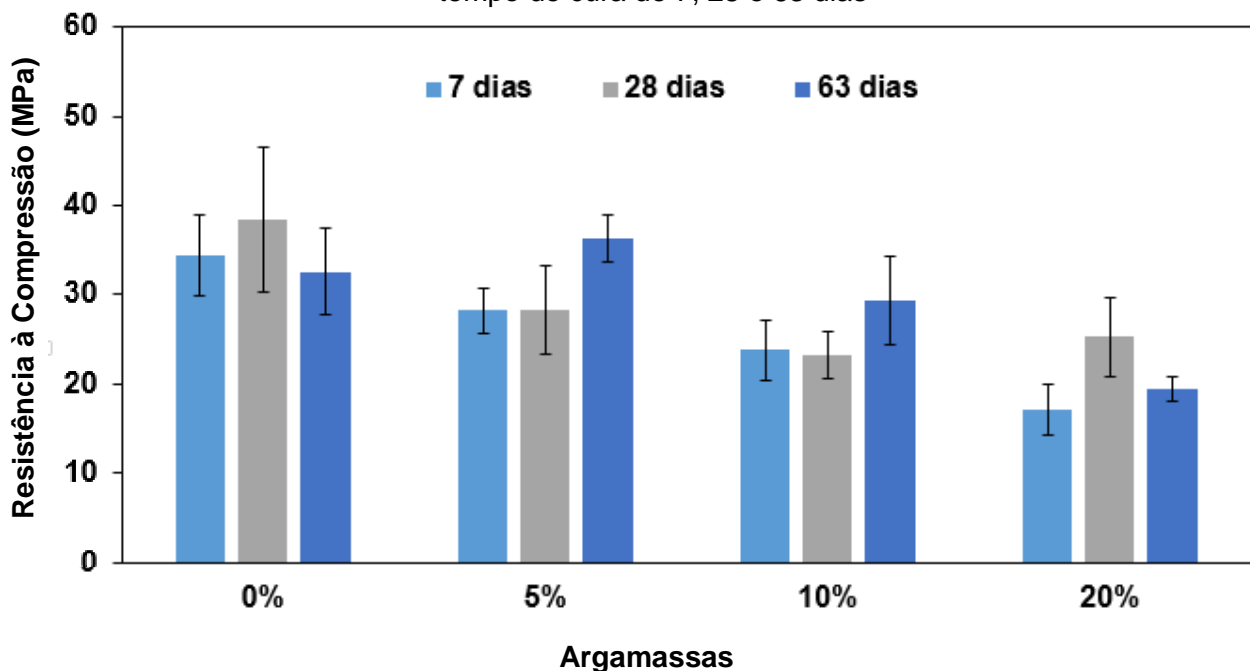
Legenda: 1 – Portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); 2 - Calcita (CaCO_3); 3 – Quartzo (SiO_2); 4 – C- S- H.
 Fonte: Própria autoria.

Observa-se, na Figura 24, na faixa demarcada (30° - 35°), as pastas cimentícias com a adição de cinzas de sargaço, o pico de portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$ diminui em intensidade à medida que o nível de acréscimo das cinzas e o aumento da hidratação devido a cinza de sargaço absorver umidade (CHU et al., 2019). A formação de portlandita, produto importante na hidratação do cimento, contribui na resistência das pastas. Dessa forma, a resistência das pastas cimentícia com 30%, será menor comparada as outras pastas cimentícias. O pico de calcita (CaCO_3) foram observados em $29,4^\circ$, $35,9^\circ$, $39,4^\circ$, $43,3^\circ$ (VU et al., 2020). Com o pico mais alto observado na pasta cimentícias com 30% de cinza de sargaço, devido ao acréscimo maior de cinza de sargaço. Além disso, a intensidade do pico de hidrato de silicato de cálcio (C-S-H) se sobrepôs ao pico da calcita com o aumento dos teores de cinzas de sargaço. Picos cristalinos de quartzo (Q) também foram detectados (CHEN et al., 2015). Assim, a intensidade dos picos do hidróxido de cálcio diminuiu com o aumento da interação pozolânica com cal livre liberado pela hidratação das argamassas.

5.9 Resistência à compressão das argamassas

O efeito das argamassas com substituição de 0%, 5%, 10% e 20% ao agregado miúdo com o tempo de cura de 7, 28 e 63 dias é mostrado na Figura 25. No tempo de cura de 7 dias, a resistência da argamassa de 5% é próxima da argamassa de 0%, chamada de argamassa de controle. Já os valores menores de resistência foram da argamassa de 20%, o que explica que o aumento da substituição do agregado miúdo por cinzas de sargaço, diminui sua resistência à compressão, observando desde os 7 dias até os 63 dias. Esse resultado das argamassas com 20% de substituição podem correlacionar com as características físicas, os dados de absorção de água por imersão e o índice de vazios após 72 horas, sendo os maiores valores o que pode ter ocasionado o aumento da porosidade dessas argamassas.

Figura 25 – Gráfico com os resultados de compressão das respectivas argamassas no tempo de cura de 7, 28 e 63 dias

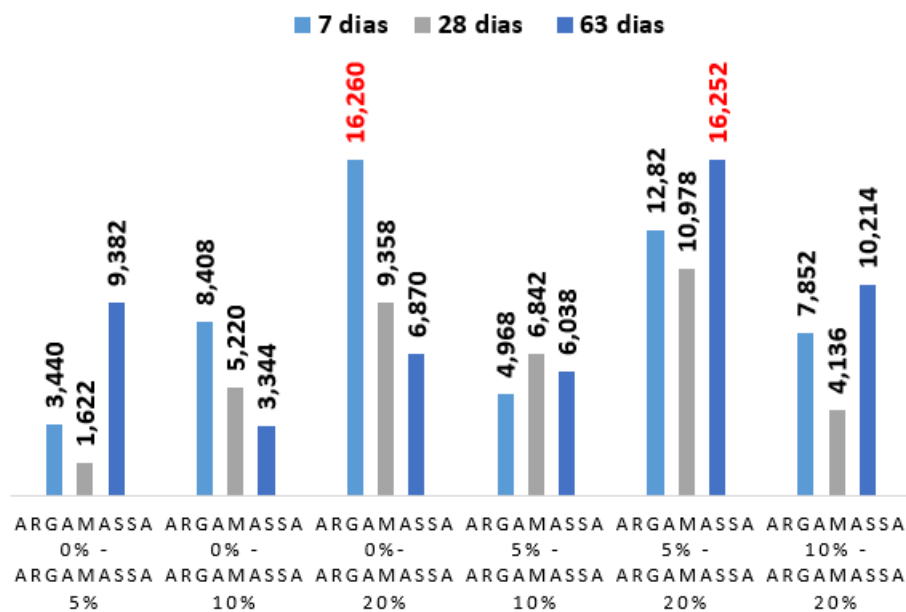


Fonte: Própria autoria.

Com os dados das resistências à compressão das argamassas, calculou-se a média de cada porcentagem de substituição, conforme observado os valores e seus respectivos desvio padrão no gráfico da Figura 25. Com a análise dos resultados das médias das amostras, calculou-se a análise da variância (ANOVA). Na análise de

variância aplica-se um teste estatístico para verificar se existe uma diferença significativa entre as médias de resistência à compressão (DEVORE, 2006). Após essa avaliação entre as médias, seus valores passou pelo teste de comparação múltipla executado pelo Teste de Tukey, adotando um nível de significância de 5% em todos os testes realizados (DEVORE, 2006). Esse teste, na Figura 26, compara todos os resultados em pares de médias, desde que exista uma diferença significativa entre as médias, pois complementa os resultados das variâncias.

Figura 26 – Ilustração dos resultados do Teste de Tukey a 5% de significância



Fonte: Própria autoria.

Observa-se na Figura 26, os resultados da comparação entre duas médias. Esses valores foram comparados com o valor calculado da diferença mínima significativa (d.m.s). O valor de d.m.s foi de 15,5947. Após a comparação das médias com mesma letra, os resultados que podemos chamar de médias iguais (as médias não diferem significativamente entre elas) foram da argamassa 0% - argamassa 5% e argamassa 0% - argamassa 10%. Assim, com valores superiores ao d.m.s foram das médias de argamassa 0% - 20% e argamassa 5% - 20%. Portanto, conclui-se com esses resultados do gráfico de resistência à compressão e do Teste de Tukey (Figura 25 e 26), que as argamassas de 5% e 10% são as mais próximas do controle e,

pode utilizar na argamassa a substituição de até 10% de cinza de sargaço do agregado miúdo.

5.10 Caracterização física das argamassas

Na Tabela 7, estão apresentados os valores médios dos resultados de absorção de água por imersão e o índice de vazios das argamassas, de acordo com a norma NBR 9778 (2005).

Tabela 7 – Resultados por absorção de água e o índice de vazios das argamassas

Argamassas	Absorção de água por imersão total (72 horas)	Índice de vazios (72 horas)
0%	10,09	20,16
5%	11,96	23,24
10%	12,83	24,64
20%	12,79	24,73

Fonte: Autoria própria.

Os resultados de absorção de água das argamassas aumenta com a substituição das cinzas de sargaço (5%, 10% e 20%), o que pode relacionar com o aumento dos índices de vazios. Quanto maior teor de cinzas (20%), maior será a porosidade encontrada nas argamassas. Conforme visto, as algas de sargaço podem gerar porosidade capilar e armazenar água nessas regiões. Além disso, a absorção de água por imersão total indica o momento em que a massa se torna constante e não aumentará mais de volume e estão correlacionados com a porosidade total da argamassa endurecida (HERRMANN et al., 2019). Em comparação com a argamassa de referência (0%), percebe-se que a argamassa de 20% teve um aumento de 4,57 % do índice de vazios e absorveu 2,70% a mais de água. A variação dos valores de absorção de água podem interferir na consistência e trabalhabilidade das argamassas, além da quantidade de índice de vazios estar relacionado com microestrutura e a sua permeabilidade das amostras (PCZIECZEK, 2017).

Na Tabela 8, os resultados apresentados são as médias dos valores das massas específicas das argamassas. Para o cálculo, utilizou-se a relação entre a massa do material saturado e o volume total da amostra, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis.

Tabela 8 – Resultados das massas específicas das argamassas

Argamassas	Massa específica da amostra seca	Massa específica da amostra saturada	Massa específica real
0%	2,00	2,20	2,50
5%	1,94	2,18	2,53
10%	1,92	2,17	2,55
20%	1,93	2,18	2,57

Fonte: Própria autoria.

Os valores de massa específica das argamassas com substituição por cinza de sargaço aumentaram devido à presença maior de porosidade, o que foi constatado com os valores do índice de vazios na Tabela 7. Assim, a argamassa de 20% teve maiores resultados de absorção de água, índices de vazios e massa específica real. Além disso, uma outra abordagem analisada, verificou-se que os valores de massa específica real serem próximos aos valores de densidade da cinza de sargaço ($2,549730 \text{ g/cm}^3$) e areia ($2,639690 \text{ g/cm}^3$) calculados pelo ensaio de picnometria de gás hélio.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados experimentais obtidos nesse trabalho, com o MEV da cinza de sargaço, as análises termogravimétricas, as análises de difrações de raios X, ensaios mecânicos e físicos das argamassas, as seguintes conclusões foram atribuídas:

- Pela micrografia do MEV da cinza de sargaço observou-se uma variedade nos tamanhos de poros, presença de rugosidade, formação de várias estruturas, pois suas morfologias não são homogênea.

- Os resultados dos gráficos da análise da termogravimetria confirmaram a presença dos picos endotérmicos de redução percentual de massa em pelo menos três regiões destacadas, em 120°C, 450°C e 750 °C, respectivamente. Com o aumento da porcentagem de adição de cinza de sargaço, observa-se maiores perdas de massas com pastas cimentícias com 20% de adição de cinza de sargaço. Entretanto, ocorre maior decomposição de produtos de hidratação da pastas cimentícias com 10% de cinzas de sargaço e apresentou uma decomposição da portlandita de 3,54%. Por fim, observa-se maior teor de CO₂ na pasta cimentícia de 30% no terceiro pico endotérmico.

- Os resultados de difração de raios X das pastas cimentícias, mostram que o pico de portlandita Ca(OH)₂ diminui em intensidade à medida quando aumento os teores de cinza de sargaço. O pico de calcita (CaCO₃) observado na pasta cimentícias com 30% de cinza de sargaço, tem maior intensidade, devido ao acréscimo maior de cinza de sargaço. Além disso, a intensidade do pico de hidrato de silicato de cálcio (C-S-H) se sobrepôs à da calcita com o aumento da proporção de cinzas de sargaço.

- A resistência à compressão das argamassa com substituição do agregado miúdo diminuiu com o aumento de 20% da cinza de sargaço. Com os dados da ANOVA e o Teste de Tukey foi possível fazer a comparação entre as médias das resistências. Obteve médias iguais da argamassa 0% - argamassa 5% e argamassa 0% - argamassa 10%. Assim, comprova-se que a substituição de até 10% de cinzas de sargaço é aceitável nas argamassas.

- Comparando as caracterizações físicas, a argamassa de 20% teve maiores resultados de absorção de água, índices de vazios e massa específica real. Quanto maior teor de cinzas (20%), maior será a porosidade encontrada nas argamassas. Devido as algas de sargaço apresentarem porosidade capilar e armazenar água

nessas regiões. Além disso, verificou-se que os valores de massa específica real serem próximos aos valores de densidade da cinza de sargaço ($2,549730 \text{ g/cm}^3$) e areia ($2,639690 \text{ g/cm}^3$) calculados pelo ensaio de picnometria de gás hélio.

Assim, pode se concluir a viabilidade da utilização da cinza de sargaço na argamassas, conforme todos os resultados apresentados. A fim de gerar um menor consumo de matérias-primas com a utilização do subproduto das algas de sargaço e promover benefícios produtivos na economia circular.

7 TRABALHOS FUTUROS

Em pesquisas futuras, pode considerar a necessidade da aplicação da lavagem da cinza de sargaço, para a remoção de minerais solúveis através de uma filtragem para a retirada de contaminantes, como enxofre. Além disso, espera-se menor interferência desse elemento químico com o elemento ferro ou formação de sulfetos, podendo modificar a resistência das argamassas. Sugiro verificar a análise de alguns parâmetros:

- Avaliar a influência na moagem da cinza, no filler da cinza de sargaço;
- Avaliar se a cinza de sargaço está gerando o aumento de ar incorporado nas argamassas frescas;
- Avaliação ambiental (ACV) do uso da cinza de sargaço em argamassas com 10% de substituição de agregado miúdo.

REFERÊNCIAS

- ALCANTRA, M. A. M. **Agregados para concreto**: estudo de suas características e do comportamento associado. 15 fev. 2016. Blog: Ars Aedificativa. Disponível em: <https://www.arsaedificativa.com/2016/02/agregados-para-concreto-estudo-de-suas.html>. Acesso em: 05 out. 2022.
- ALENGARAM, U. J. *et al.* Evaluation of crack healing potential of cement mortar incorporated with blue-green microalgae. **Journal of Building Engineering**, Oxford, v. 44, art. 102958, 2021.
- AMADOR-CASTRO, F. *et al.* Valorization of pelagic sargassum biomass into sustainable applications: current trends and challenges. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 283, art. 112013, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto – especificação. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**. Cimentos Portland - Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas.2018
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 18**: cimento Portland: análise química - determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2012a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13259/05**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**. Cimento Portland – Análise química – Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778** - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- AVENDAÑO-ROMERO, G.; LOPEZ-MALO, A.; PAOLU, E. Alginate properties and food applications. **Selected Topics in Food Engineering**, [s.l.], v. 7, n. 1 p. 87-96, 2013.
- BAKER, P. *et al.* Potential contribution of surface Sargassum algae to deepwater ecosystems in the southern North Atlantic. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, Oxford, v. 148, p. 21-34, 2018.
- BROOKS, M. T.; COLES, V. J.; COLES, W. C. Inertia influences pelagic sargassum advection and distribution. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 46, n. 5, p. 2610-2618, 2019.

CASAS-BELTRÁN, D. A. *et al.* Algae invasion! temporary changes in beach conditions lead to increased use and contamination of cenotes in the Riviera Maya. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 6, p. 2474, 2020.

CHÁVEZ, V. *et al.* Massive influx of pelagic *Sargassum* spp. on the coasts of the Mexican Caribbean 2014–2020: challenges and opportunities. **Water**, Basel, v. 12, n. 10, p. 2908, 2020.

CHEN, X. *et al.* Influence of biomass addition on Jincheng coal ash fusion temperatures. **Fuel**, London, v. 160, p. 614-620, 2015.

CHU, T. X. H. *et al.* Utilization of industrial waste in cement in a marine environment with a tropical climate. **Journal of Marine Science and Engineering**, Basel, v. 7, n. 8, p. 245, 2019.

CIRINO, M. A. G.; CABRAL, A. E. B. Avaliação de pastas de cimento Portland formuladas com CP II F e cinza de carvão mineral visando a cimentação de poços de petróleo. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17. Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2018.

COLLINS, F. S. The Sargasso Sea. **Rhodora**, [s.l.], v. 19, n. 221, p. 77-84, 1917.

DAVIS, D. *et al.* Biomass composition of the golden tide pelagic seaweeds *Sargassum fluitans* and *S. natans* (morphotypes I and VIII) to inform valorisation pathways. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 762, p. 143134, 2021.

DESROCHERS, A. *et al.* **Sargassum uses guide**: a resource for Caribbean researchers, entrepreneurs and policy makers. Bridgetown: Barbaros, 2020. 159 p. (Report Prepared for the Climate Change Adaptation in the Eastern Caribbean Fisheries Sector (CC4FISH) Project of the Food and Agriculture Organization (FAO) and the Global Environment Facility (GEF)).

DE SZÉCHY, M. T. M. *et al.* Verification of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon (Heterokontophyta: Phaeophyceae) from the Sargasso Sea off the coast of Brazil, western Atlantic Ocean. **Check List**, Campinas, v. 8, n. 4, p. 638-641, 2012.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística**: para engenharia e ciências. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

DUFFY, J. E. *et al.* Towards a coordinated global observation system for seagrass and marine macroalgae. **Frontiers in Marine Science**, Lausanne, v. 6, art. 317, 2019.

ESCOBAR, B. *et al.* N-doped porous carbon from *Sargassum* spp. as metal-free electrocatalysts for oxygen reduction reaction in alkaline medium. **International Journal of Hydrogen Energy**, London, v. 42, n. 51, p. 30274-30283, 2017.

FERNÁNDEZ, F. *et al.* Análisis elemental prospectivo de la biomasa algal acumulada en las costas de la República Dominicana durante 2015. **Centro Azúcar**, Cuba, v. 44, n. 1, p. 11-22, 2017.

FLORES-VIDAL, X. Sistema de monitoreo en tiempo real de corrientes marinas y presencia de sargazo en el Caribe Mexicano. *In: Seminario-Taller Online Nacional Sobre Teledetección, Monitoreo, Pronóstico e Alerta Temporario do Sargazo Pelágico que Chega às Costas Mexicanas: Descubriendo Sinergias e Construyendo Puentes Hacia un Sistema Integral y Regional*. CONACYT.Cidade do México, 2021.

FONSECA, R. P. *et al.* **Influência de diferentes tipos de fibras vegetais amazônicas no desempenho de uma argamassa a base de cimento Portland e Metacaulim**. 2021. 119 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

GERRETSEN, I. **A proliferação recorde de algas no Atlântico que intriga os cientistas**. BBC Future.2020. Disponível em:<<https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-55263136>>. Acesso em: 23 jul. 2022.

GODÍNEZ-ORTEGA, J. L. *et al.* A Natural history of floating Sargassum species (Sargasso) from Mexico. **Natural History and Ecology of Mexico and Central America**, London, art. 35, 2021.

GOWER, J.; JOVEM, É.; REI, S. Satellite images suggest a new region of origin of Sargazo in 2011. **Remote Sensing Letters**, Abingdon, v. 4, n. 8, p. 764-773, 2013.

GOWER, J.; KING, S. Algae, algae everywhere. **Science**, New York, v. 365, n. 27, 2019.

GRAY, L. A. *et al.* Caribbean-wide, negative emissions solution to sargassum spp. low-cost collection device and sustainable disposal method. **Phycology**, Basel, v. 1, n. 1, p. 49-75, 2021.

GUPTA, S. *et al.* Carbonaceous inserts from lignocellulosic and non-lignocellulosic sources in cement mortar: preparation conditions and its effect on hydration kinetics and physical properties. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 264, art. 120214, 2020.

HERRMANN, T. D. *et al.* Avaliação do comportamento de estanqueidade à água de argamassas e hidrorrepelentes - Parte II. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 24, art. 12517, 2019.

HERNÁNDEZ, E. F.; CANO-BARRITA, P. F. J.; TORRES-ACOSTA, A. A. Influence of cactus mucilage and marine brown algae extract on the compressive strength and durability of concrete. **Materiales de Construcción**, Madrid, v. 66, n. 321, art. e074, 2016.

HU, C. *et al.* Spectral and spatial requirements of remote measurements of pelagic macroalgae Sargassum. **Remote Sensing of the Environment**, Basel, v. 167, p. 229-246, 2015.

JESUMANI, V. *et al.* Potential use of bioactive compost from marine algae in skin care - a review. **Marine Drugs**, Basel, v. 17, n. 12, p. 688, 2019.

JOHNS, E. M. *et al.* Water of the Amazon River in the northeast of the Caribbean Sea was effected on larval assemblages of reef fish during April 2009. **Fishies Oceanography**, [s.l.], v. 23, n. 6, p. 472-494, 2014.

LAFFOLEY, D. d'A. *et al.* To Protection and management of the sea of sargaços. **Sargasso Sea Alliance**, Washington, p. 44, 2011.

LAPOINTE, B. E. *et al.* Ryther revisited: nutrient excretions by fishes enhance productivity of pelagic Sargassum in the western North Atlantic Ocean. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, Amsterdam, v. 458, p. 46-56, 2014.

LAPOINTE, B. E. *et al.* Nutrient content and stoichiometry of pelagic Sargassum reflects increasing nitrogen availability in the Atlantic Basin. **Nature Communications**, London, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2021.

LÓPEZ-AGUILAR, H. *et al.* Practical and theoretical modeling of anaerobic digestion of Sargassum spp. in the Mexican Caribbean. **Polish Journal of Environmental Studies**, [s.l.], v. 30, n. 4, 2021.

LÓPEZ-CONTRERAS, A. M. *et al.* **Opportunities for valorisation of pelagic Sargassum in the Dutch Caribbean**. Wageningen: Food & Biobased Research, 2021.

LÓPEZ-SOSA, L. B. *et al.* A prospective study of the exploitation of pelagic Sargassum spp. as a solid biofuel energy source. **Applied Sciences**, Basel, v. 10, n. 23, p. 8706, 2020.

MARTIN, L. M. *et al.* Pelagic Sargassum morphotypes support different rafting motile epifauna communities. **Marine Biology**, Amsterdam, v. 168, n. 7, p. 1-17, 2021.

MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, G. Sargazo: la irrupción atípica de un ecosistema milenario. **Salud pública de México**, Quintana Roo, v. 61, n. 5, p. 698-700, 2019.

MILLEDGE, J. J. *et al.* Macroalgae-derived biofuel: a review of methods for extracting energy from seaweed biomass. **Energies**, Basel, v. 7, n. 11, p. 7194-7222, 2014.

MILLEDGE, J. J.; HARVEY, P. J. Tides of gold: golden problem or opportunity? The valorization of sargassum from the flooding of beaches. **Journal of Marine Science and Engineering**, Basel, v. 4, n. 3, p. 60, 2016.

MILLEDGE, J. J. *et al.* Sargassum inundations in Turks and Caicos: methane potential and proximate, ultimate, lipid, amino acid, metal and metalloid analyses. **Energies**, Basel, v. 13, n. 6, p. 1523, 2020.

MISURCOVÁ, L.; MACHU, L.; ORSAVOVÁ, J. Seaweed minerals as nutraceuticals. **Advances in Food and Nutrition Research**, Burlington, v. 64, p. 371-390, 2011.

NASCIMENTO, R. F. *et al.* **Adsorção**: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 p.

OLIVIER, J. A. S. *et al.* Bioenergetic valorization of *Sargassum fluitans* in the Mexican Caribbean: Determination of calorific value and washing mechanism. **AIMS Energy**, Springfield, v. 10, n. 1, p. 45-63, 2022.

ORTEGA-FLORES, P. A. *et al.* Trace elements in pelagic *Sargassum* species in the Mexican Caribbean: Identification of key variables affecting arsenic accumulation in *S. fluitans*. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 806, art. 150657, 2022.

OXENFORD, H. A. *et al.* Challenges of turning the Sargasso crisis into gold: current constraints and implications for the Caribbean. **Phycology**, Basel, v. 1, n. 1, p. 27-48, 2021.

PARR, A. E. **Quantitative observations on the pelagic *Sargassum* vegetation of the western North Atlantic**. [S.l.: s.n.], 1939.

PARAGUAY-DELGADO, F. *et al.* Pelagic *Sargassum* spp. capture CO₂ and produce calcite. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 27, n. 20, p. 25794-25800, 2020.

PCZIECZEK, A. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2017.

PENDLETON, L. *et al.* **Assessment of the economic contribution of marine and coastal ecosystem services in the Sargasso Sea**. Durham: Duke University, 2014.

PÉREZ, M. J.; FALQUE, E.; DOMÍNGUEZ, H. Antimicrobial action of seaweed compounds. **Marine Drugs**, Basel, v. 14, n. 3, p. 52, 2016.

PÉREZ-SALCEDO, K. Y. *et al.* N-doped Porous Carbon from *Sargassum* spp. as efficient metal-free electrocatalysts for O₂ reduction in alkaline fuel cells. **Energies**, Basel, v. 12, n. 3, p. 346, 2019a.

PÉREZ-SALCEDO, K. Y. *et al.* Self-doped *Sargassum* spp. derived biocarbon as electrocatalysts for ORR in alkaline media. **International Journal of Hydrogen Energy**, London, v. 44, n. 24, p. 12399-12408, 2019b.

PONTIM, G. **Red de Monitoreo del Sargazo Cancún**. Disponível em: <https://viagemcaribe.com/onde-tem-sargaco/>. Acesso em: 21 set. 2022.

PONTIM G. **O que é sargaco?** Disponível em: <https://viagemcaribe.com/o-que-e-sargaco/>. Acesso em: 21 set. 2022.

- PUTMAN, N. F. *et al.* Simulating transport pathways of pelagic Sargassum from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. **Progress in Oceanography**, Oxford, v. 165, p. 205-214, 2018.
- QI, L. *et al.* On the capacity of Sentinel-1 synthetic aperture radar in detecting floating macroalgae and other floating matters. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 280, p. 113188, 2022.
- RAMASUBRAMANI, R.; PRAVEEN, R.; SATHYANARAYANAN, K. S. Study on the strength properties of marine algae concrete. **Rasayan Journal of Chemistry**, [s.l.], v. 4, p. 706-715, 2016.
- RESIERE, D. *et al.* Sargassum seaweed on Caribbean islands: an international public health concern. **The Lancet**, Amsterdam, v. 392, n. 10165, p. 2691, 2018.
- REVATHI, S.; SUGANYA, R.; HAAMIDH, A. Investigation on CO₂ absorption and compressive strength of paver blocks incorporating seaweeds and potato peels. **Materials Today Proceedings**, Cambridge, v. 64, part 1, p. 814-820, 2022.
- RIBEIRO, U. G. *et al.* Desempenho mecânico e durabilidade de argamassas contendo adições de resíduos de carvão vegetal amazônico. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, art. e13015, 2021.
- RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R. E.; VAN TUSSENBROEK, B.; JORDAN-DAHLGREN, E. Massive influx of pelagic sargassum to the Mexican Caribbean coast (2014-2015). **Harmful algae bloom in Mexico**, México, v. 2016, p. 352-365, 2016.
- RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R. E. *et al.* Mortality of fauna associated with massive silting and decomposition of pelagic sargassum. **Marine Pollution Newsletter**, [s.l.], v. 146, p. 201-205, 2019.
- RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R. E. *et al.* Element concentrations in pelagic Sargassum along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019. **PeerJ**, Corte Madera, v. 8, p. 8667, 2020.
- ROJAS, C. M.; CINCOTTO, M. A. Influence of polycarboxylate molecular structure on Portland cement hydration. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, p. 267-283, 2013.
- ROSAS-MEDELLÍN, D. *et al.* Synthesis of green Pt nanoparticles and their application in the oxygen depletion process. **Journal of Materials Research**, [s.l.], v. 36, n. 20, p. 4131-4140, 2021.
- ROSSIGNOLO, J. A. *et al.* Algae application in civil construction: A review with focus on the potential uses of the pelagic Sargassum spp. biomass. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 303, p. 114258, 2022.
- ROSTAMI, V. *et al.* Microstructure of cement paste subject to early carbonation curing. **Cement and Concrete Research**, Amsterdam, v. 42, n. 1, p. 186-193, 2012.

SALDARRIAGA-HERNANDEZ, S. *et al.* Bioremediation potential of *Sargassum* sp. biomass to combat pollution in coastal ecosystems: circular economy approach. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 715, p. 136978, 2020a.

SALDARRIAGA-HERNANDEZ, S. *et al.* *Sargassum*-based potential biosorbent to tackle pollution in aqueous ecosystems - An overview. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, [s.l.], v. 2, p. 100032, 2020b.

SECRETARÍA de Marina. MARINA informa acciones en el marco de la estrategia para atención al sargazo 2021. **Gobierno de México**, 13 Nov. 2021. Disponível em: <https://www.gob.mx/semar/prensa/marina-informa-acciones-en-el-marco-de-la-estrategia-para-atencion-al-sargazo-2021?idiom=es>. Acesso: 20 jul. 2022.

SEMAR. The Mexican Navy Secretariat Mantiene Actions to Containment of the Atypical *Sargassum* Phenomenon in the State of Quintana Roo. Government of Mexico. **Secretário da Marinha**. 2021. Disponível em: <<https://www.gob.mx/semar/prensa/la-secretaria-de-marina-armada-de-mexico-mantiene-acciones-para-la-contencion-del-fenomeno-atipico-del-sargazo-en-el-estado-de-quintana-roo>>. Acesso em: 6 jul. 2022.

SEMBERA, J. A.; MEIER, E. J.; WALICZEK, T. M. Composting as an alternative management strategy for coastal *sargassum* drift. **HortTechnology**, Alexandria, v. 28, n. 1, p. 80-84, 2018.

SEMARNAT. **Technical and Management Lineamientos for the Attention of the Contingency Caused by Sargasso in the Mexican Caribbean and in the Gulf of Mexico**. Governo mexicano. Cidade do México. México. p 50. 2021.

SHEINBAUM-PARDO, J. Sargazo em Movimento: Retos e Perspectivas para sua Modelação. Seminário-Taller Online Nacional Sobre Teledeteção, Monitoramento, Pronóstico e Alerta Temporário do Sargaço Pelágico que Chega às Costas Mexicanas: Descobrimo Sinergias e Construindo Puentes Hacia un Sistema Integral y Regional. **CONACY**. Cidade do México. México. 2021.

SHORT, N. R.; PURNELL, P.; PAGE, C. L. Preliminary investigations into the supercritical carbonation of cement pastes. **Journal of Materials Science**, Norwell, v. 36, n. 1, p. 35-41, 2001.

SIDDIQUE, M. N. I.; WAHID, Z. B. A. Effect of mixing proportion on the properties of seaweed modified sustainable concrete. *In*: AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, 2017, Kedah. **Proceedings** [...]. Melville: AIP Publishing LLC, 2017. p. 020132-1-020132-7.

SISSINI, M. N. *et al.* The floating *Sargassum* (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean – probable scenarios. **Phycologia**, London, v. 56, n. 3, p. 321-328, 2017.

SONG, M. Y. *et al.* Seaweed-derived heteroatom-doped highly porous carbon as an electrocatalyst for the oxygen reduction reaction. **ChemSusChem**, v. 7, n. 6, p. 1755-1763, 2014.

SUSILORINI, R. M. R. *et al.* The advantage of natural polymer modified mortar with seaweed: green construction material innovation for sustainable concrete. **Procedia Engineering**, Amsterdam, v. 95, p. 419-425, 2014.

TEIXEIRA, E. R. *et al.* Quality and durability properties and life-cycle assessment of high volume biomass fly ash mortar. **Construction and Building Materials**, v. 197, p. 195-207, 2019.

TORRALBA, M. G. *et al.* Effect of Macondo Prospect 252 oil on the microbiota associated with pelagic sargassum in the northern Gulf of Mexico. **Microbial Ecology**, Heidelberg, v. 73, n. 1, p. 91-100, 2017.

URIBE-MARTÍNEZ, A. *et al.* Sargassum in the Mexican Caribbean, a review of an unthinkable story. **Governance and Management of Coasts and Seas in the Face of Uncertainty**, [s.l.], v. 743, 2020.

VAN TUSSENBROEK, B. I. *et al.* Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. in coastal Caribbean seagrass communities. **Marine Pollution Bulletin**, Amsterdam, v. 122, n. 1-2, p. 272-281, 2017.

VU, H. H. T. *et al.* Use of calcite mud from paper factories in phosphorus treatment. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 15, p. 5982, 2020.

VÁZQUEZ-DELFÍN, E. *et al.* Species composition and chemical characterization of *Sargassum* influx at six different locations along the Mexican Caribbean coast. **Science of the total Environment**, Amsterdam, v. 795, p. 148852, 2021.

WANG, M. *et al.* The great Atlantic sargassum belt. **Science**, New York, v. 365, n. 6448, p. 83-87, 2019.

YANG, J. Y.; LIM, S. Y. Fucoidans and Intestinal Health. **Marine Drugs**, Basel, v. 19, n. 8, p. 436, 2021.

ZHAO, B. *et al.* SO₂/NO_x emissions and ash formation from algal biomass combustion: process characteristics and mechanisms. **Energy**, London, v. 113, p. 821-830, 2016.