PROJETO SARGOOD: VALORIZAÇÃO DO *SARGASSUM* NA CONSTRUÇÃO CIVIL

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081156

ROSSIGNOLO, JOÃO ADRIANO[1]; BUENO, CRISTIANE[2]; DURAN, AFONSO JOSE FELICIO PERES[1]; LYRA, GABRIELA PITOLLI[1]; ASSUNÇÃO, CAMILA CASSOLA[1]; GAVIOLI, LETICIA MISSIATO[1]; MORAES, MARIA JULIA BASSAN[1]; NASCIMENTO, JOÃO LUCAS SILVA[1]

[1]FACULDADE DE ZOOTECNICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (FZEA/USP); [2]UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÂO CARLOS (UFSCAR).

E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: ROSSIGNOLO@USP.BR

RESUMO: Com o aumento do mar de *Sargassum* no oceano atlântico, tem sido frequente os deslocamentos de grandes massas dessas algas, ocasionando encalhes nas costas do Golfo do México, Caribe, África e Brasil, causando sérios problemas ambientais e econômicos. Uma forma de amenizar esses impactos é estudar alternativas para a valorização do *Sargassum* que chega até acosta. Assim, este artigo aborda a valorização do *Sargassum* em materiais de construção considerando que essa macroalga apresenta algumas aplicações potenciais, tais como fibras de reforço em compósitos e da cinza, obtida na queima para geração de energia, como adição mineral em compósitos cimentícios.

PALAVRAS-CHAVES: *Sargassum*; valorização; resíduos; materiais de construção.

ABSTRACT: With the increase in the *Sargassum* Sea in the Atlantic Ocean, displacements of large masses of algae have been frequent, causing strandings on the coasts of the Gulf of Mexico, the Caribbean, Africa and Brazil, causing serious environmental problems and reducing them. One way to mitigate these impacts is to study alternatives for the valorization of *Sargassum* that reaches the coast. Thus, the objective of this article is the valorization of *Sargassum* in construction materials considering that this macroalgae has some potential applications, such as reinforcement fibers in composites and ash, obtained from burning for energy generation, as mineral addition in cementitious composites.

KEYWORDS: *Sargassum*; valorization; waste; construction materials.

1 | INTRODUÇÃO

O *Sargassum* (*Sargassum C. Agardh*), uma alga marinha pertencente a classe *Phaeophyceae* (algas marrons), é comumente encontrado em regiões de clima temperado e subtropical, com 536 espécies reconhecidas e distribuídas em quase todas as bacias oceânicas (1,2). Especificamente na região noroeste do oceano atlântico, existe uma elevada concentração de *Sargassum* pelágico, que permanece flutuando livremente, não apresentando um órgão fixador no fundo do mar. Essa concentração de algas recebe o nome de Mar de *Sargassum*, devido às placas flutuantes da alga, já relatadas no século XV por Cristóvão Colombo (3).

O Mar de *Sargassum* é composto, principalmente, pelas massas flutuantes de

duas espécies pelágicas, *S. fluitans* (tipo III) *e S. natans* (tipos I e VIII), apresentadas na Figura 1, com expressiva importância no ecossistema, pois é produtor primário da cadeia alimentar aquática, servindo de substrato, abrigo e alimento para diversas espécies marinhas, como peixes, camarões, caranguejos, pássaros e tartarugas, atuando como foco de biodiversidade e produtividade marinha (4)floating Sargassum (Fucales, Phaeophyceae.



Figura 1 – Imagem comparativa entre o *S. natans* (esquerda) e o *S.fluitans* (direita) (Fonte: https://gcrl.usm.edu/*Sargassum*/*Sargassum*.identification.guide.php. Acesso em: 20 maio 2021)

O monitoramento por imagens de satélite tem indicado o aumento do Mar de *Sargassum*, especialmente a partir de 2011, com o surgimento recorrente de um "Great Atlantic *Sargassum* Belt (GASB)", estendendo-se da África Ocidental ao Golfo do México, passando pelo norte do Brasil (2,3,5–11). Em 2018 foi estimado que o GASB tinha cerca de 8.850 quilômetros, com mais de 20 milhões de toneladas de biomassa de *Sargassum* (12).

Com o aumento do Mar de *Sargassum*, desde 2011 tem sido frequentes os deslocamentos de grandes massas de algas, ocasionando encalhes dessa biomassa nas costas do Golfo do México, Caribe, Oeste da África (entre Serra Leoa e Gana) e norte e nordeste do Brasil, causando sérios problemas ambientais, ecológicos e econômicos (4,13)Caribbean, and Gulf of Mexico, using image data from the OLCI (Ocean and Land Colour Instrument.

Esses deslocamentos de *Sargassum* para as costas pode afetar diretamente a população da região atingida, uma vez que a decomposição da biomassa tem efeitos nocivos na saúde da população local (pela geração de gases tóxicos), nas atividades turísticas, na pesca local, bem como demanda elevados gastos com sua retirada das praias. Além disso, o *Sargassum* pelágico carrega consigo espécies associadas que são exóticas para diferentes ecossistemas, o que pode comprometer o equilíbrio ecológico local costeiro (3,14). A principal hipótese para essas ocorrências está relacionada à mudança de regime nas condições climáticas, como aquecimento das temperaturas, e no

enriquecimento de nutrientes dos oceanos. Essas alterações podem estar favorecendo o aumento populacional das espécies de *Sargassum* e provocando mudanças nos padrões das correntes de superfície marítima, deslocando essas algas à deriva para as áreas costeiras do Golfo do México, Caribe, Oeste da África e norte do Brasil (4,13,15). No Brasil, desde 2011 há registros de ocorrência de Sargassum nas praias do norte e nordeste (5), com destaque para a ocorrida entre os anos de 2014 e 2015, que chegou até a ilha de Fernando de Noranha (4)floating Sargassum (Fucales, Phaeophyceae.

Uma forma de amenizar esses impactos é estudar alternativas para a valorização da biomassa de *Sargassum* que chega até a costa (16). Nesse sentido, vários estudos estão sendo desenvolvidos sobre a aplicação da biomassa de *Sargassum* nas áreas de alimentos, agricultura, saúde, biocombustíveis e biorremediação (6,16,17). No entanto, são poucos os trabalhos sobre a aplicação dessa biomassa na construção (18), apesar da composição do *Sargassum*, basicamente de celulose e polissacarídeos (6,12), indicar que esse material pode apresentar algumas aplicações potenciais nesse setor, tais como fibras (19,20), que podem ser usadas como reforço para compósitos. Além disso, os subprodutos do processamento do *Sargassum*, como a queima para geração de energia (6,21), podem gerar cinzas com potencial de utilização como adição mineral em compósitos cimentícios.

Nesse sentido, ampliando a visão sobre a valorização da biomassa de *Sargassum* que tem chegado a costa, o objetivo deste artigo é realizar uma avaliação sobre a valorização do *Sargassum,* considerando sua aplicação em materiais de construção.

2 | COMPOSIÇÃO E POTENCIAL DO USO DO *SARGASSUM* NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O processo de compreensão dos desafios e potenciais aplicações do *Sargassum* na construção civil requer ume etapa de identificação dos componentes presentes nessa alga. No entanto, mesmo havendo vários estudos que analisaram a composição do *Sargassum*, poucos referem-se, especialmente, às espécies *fluitans* e *natans*, e existem alguns desafios nessa análise, uma vez que a localização geográfica da coleta e a época do ano podem influenciar significativamente nos resultados. Considerando esses desafios, a seguir serão apresentados os resultados da composição aproximada de *S. fluitans* e *S. natans*.

O teor de umidade do *Sargassum*, especificamente das espécies *natans* e *fluitans*, varia entre 80 e 95% da composição total antes da secagem (Tabela 1)(22). Essa informação é importante especialmente para aplicações que podem necessitar da secagem da matéria-prima antes de seu uso, como por exemplo o uso como fibras de reforço em compótos.

Amostras	Teor de Umidade*	Cinzas	Fibras	Alginato
Sn I	87,41 ± 0,23	35,71 ± 1,27	37,00 ± 0,42	11,13 ± 2,02
Sn VIII	86,45 ± 0,10	34,26 ± 0,59	37,41 ± 0,43	12,18 ± 2,10
Sf	86,32 ± 0,02	33,63 ± 4,14	31,15 ± 0,35	9,36 ± 2,51

Tabela 1. Média dos valores, em porcentagem (%), dos teores de umidade, cinzas, fibras e alginato das diferentes morfologias de *Sargassum* pelágico *antes da secagem).

O conteúdo de cinzas nas algas pelágicas pode variar muito, com valores relatados variando de 18 a 55% do peso seco (23), No caso de *S. fluitans* e *S. natans*, Milledge (20) relataram que o conteúdo de cinzas variou entre 34 e 47% do peso seco (Tabela 1). O elevado teor de cinzas do *Sargassum* indica um potencial de utilização desse material, que pode ser um subproduto da queima para geração de energia (6,21), em compósitos cimentícios, como adição mineral, e também em compósitos com aglomerantes alcáli-ativados, considerando a composição química dessas cinzas (Tabela 2).

A Tabela 1 apresenta também um resumo dos teores de fibras e alginato do *Sargassum* pelágico (12,20) as diferentes morfologias do *Sargassum* pelágico apresentam um rico conteúdo de fibras, superior a 31%, em relação ao peso seco. A composição lignocelulósica das espécies pelágicas de *Sargassum* ainda necessita de estudos específicos. Porém, em pesquisa realizada por Alzate-Gaviria (24) foi caracterizado o teor lignocelulósico de algas coletadas em Puerto Morelos, Quinta Roo, no México, foram obtidos valores de tecidos semelhantes a lignina variando entre 25,40% e 29,5%, em relação à massa seca e o teor médio de holocelulose (celulose e hemicelulose) dessa pesquisa foi de 45.39% para o *S. natans* e 34.43% para o *S.fluitans*, ambos em massa seca (24,25). O elevado teor de fibras observado pode habilitar esse materiais para possiveis aplicações como reforço em compósitos, assim como o alginato, que apresenta caracteristicas adesivas, pode apresentar aplicações na área de ligantes inorgânicos.

Especificamente sobre a caracterização da concentração dos elementos químicos nas espécies *S. natans I*, *S. natans VIII* e *S. Fluitans*, se destaca o estudo por Davis (26), que analisou a composição de amostras de *Sargassum* coletadas na região de Porto Real, Jamaica. Os resultados desse estudo, apresentado na Tabela 2, indicam que essas algas marinhas apresentam uma grande quantidade de minerais, pois possuem polissacarídeos como o alginato, que lhes permite capturar certos compostos de seu ambiente circundante. Nos resultados observou-se que os elementos químicos preponderantes foram Ca, K, Na, S, Cl e Mg. A presença da elevada quantidade de cálcio, caso resulte na formação de uma cinza rica em CaO reativo, pode indicar um comportamento hidráulico, semelhante a escória de alto forno utilizada amplamente na indústria cimentícia e como o precursor mais utilizados em sistemas com alto teor de cálcio de aglomerantes ativados alcalinamente (27).

Elementos	Sn I	Sn VIII	Sf
Na	11441,00	14436,18	11310,71
Mg	8456,26	6193,47	8684,03
Al	335,69	187,70	427,57
K	28701,30	32865,84	30503,78
Ca	56138,23	36435,64	57726,79
Mn	39,62	13,03	22,92
Fe	634,79	237,07	832,97
Zn	14,71	6,35	7,2
As	64,91	60,30	58,32
Ba	22,17	19,21	23,21

Tabela 2. Concentração de elementos químicos em µg/g de peso seco da biomassa das morfologias do *S. natans I* (Sn I), *S.natans VIII* (Sn VIII) e *S. fluitans* (Sf).

3 | APLICAÇÕES DO *SARGASSUM*

Uma forma de amenizar os impactos do *Sargassum*, considerando sua composição quimica, é o estudo de alternativas para a sua valorização na construção civil. Nesse contexto, em busca de trabalhos nesse tema foram encontrados poucos relatos sobre pesquisas do uso do *Sargassum*, concentrados em pavimentação asfáltica e na produção de blocos de terra crua (adobe).

Salazar-Cruz (28) avaliou a viabilidade de utilizar o *Sargassum*, coletado na cidade Madero, México, como agente modificador do aglomerante asfáltico. Os autores identificaram a possibilidade do uso do *Sargassum* como agente modificador de betume, com possibilidade de atuação similar aos elastômeros sintéticos, como o SBS (estireno-butadieno-estireno), sendo um material alternativo para melhorar o desempenho de estradas pavimentadas, reduzindo as falhas ao longo de sua vida, como sulcos, deformações excessivas e rachaduras térmicas e por fadiga. O *Sargassum* foi processado em partículas em torno de 850 µm de comprimento e adicionado em diferentes proporções (0,5 e 4% em massa de betume) por meio de procedimento de mistura termomecânico (180°C e 1500 rpm). Os resultados da pesquisa demonstraram que o ponto de amolecimento, viscosidade dinâmica, índice de penetração e resistência a deformações permanentes apresentaram melhorias nas amostras onde utilizou-se *Sargassum* em proporções até 2,5%.

Também foram encontradas algumas pesquisas que avaliam o uso de *Sargassum* na confecção de blocos de terra crua (adobe) para construção, com o intuito de minimizar o impacto dos encalhes de algas nas praias (29). As pesquisas abordam a aplicação das macroalgas na confecção dos blocos na forma de adesivo (estabilizante de solo) e de fibras (reforço). O alginato presente nas algas, que apresenta características aglomerantes, pode contribuir com a estabilização do solo na confecção dos blocos (30).

Foram identificados dois trabalhos utilizando alginato extraído de algas da região da Grã-Bretanha, com melhoria significativa no desempenho mecânico dos blocos

(31,32). O trabalho desenvolvido por Galán-Marín (31) avaliou blocos de adobe com adição de 0,5% de alginato em relação ao peso de solo. Os resultados indicaram que a adição de alginato aumentou a resistência à compressão em 70%. Nesse mesmo sentido, no trabalho desenvolvido por Dove (32) foi observado que o uso de 0,5% de alginato (em relação ao peso de solo) elevou os valores de resistência à compressão dos blocos em cerca de 100% e os valores de resistência à flexão em cerca de 190%.

Com relação ao uso do *Sargassum* como reforço de adobe, foi identificado um relato dessa aplicação no texto de Desrochers (29), que elaboraram um "*Sargassum* uses guide" sobre as aplicações das algas que estão chegando na região do Caribe. Nesse trabalho há menção a uma iniciativa de produção de adobe usando *Sargassum* in natura (S*. natans* e *S. fluitans*), coletado na costa de Quintana Roo, no México. Os blocos foram produzidos com cerca de 40% de *Sargassum* em relação ao peso de solo, e os valores de resistência à compressão variaram entre 7,5MPa e 11MPa (considerados elevados para esse tipo de bloco não queimado).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como objetivo identificar algumas das potenciais aplicações e desafios relacionados ao uso de biomassa de *Sargassum* no setor da construção civil. Nesse sentido, foram encontrados estudos de aplicação do *Sargassum* como fibras em sistemas construtivos de adobe e como aditivo em compostos para pavimentação.

Considerando a composição química do *Sargassum*, pode-se considerar que há um grande potencial de aplicação dessas macroalgas, seja em sua forma natural ou como aditivos, fibras e cinzas, em diferentes subprodutos do setor da construção civil.

Nesse sentido, o NAP BIOSMAT (Núcleo de Apoio a Pesquisa em Materiais para Biossistemas), da Universidade de São Paulo (USP – Pirassununga), está iniciando um estudo em cooperação com algumas universidades do Caribe e França, por meio do projeto "SARGOOD: Abordagem holística da valorização do *Sargassum*", financiado pela FAPESP e ANR (França), para avaliar o potencial de aplicação dessa macroalga na construção, mais especificamente, como reforço em painéis particulados e compósitos cimentícios (fibrocimento) e das cinzas (obtidas na queima do *Sargassum* para obtenção de energia) como adição mineral em materiais cimentícios e em cerâmicas. Também será realizado a Análise de Ciclo de Vida (ACV) da alga e das possiveis aplicações, de modo a caracterizar os beneficios ambientais das potenciais aplicações do *Sargassum* em materiais de construção.

AGRADECIMENTOS

Os autores dessa trabalho gostariam de agradecer o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), que financia essa pesquisa por meio dos processos nº 2019/21007-0 e nº 2019/11949-8, e ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

REFERÊNCIAS

1. Rosado-Espinosa LA, Freile-Pelegrín Y, Hernández-Nuñez E, Robledo D. A comparative study of Sargassum species from the Yucatan Peninsula coast: morphological and chemical characterisation. Phycologia. 2020;59(3):261–71.

2. Fidai YA, Dash J, Tompkins EL, Tonon T. A systematic review of floating and beach landing records of Sargassum beyond the Sargasso Sea . Environ Res Commun. 2020;2(12):122001.

3. Wang M, Hu C, Barnes BB, Mitchum G, Lapointe B, Montoya JP. The great Atlantic Sargassum belt. Science (80-). 2019;364(6448):83–7.

4. Sissini MN, De Barros Barreto MBB, Szećhy MTM, De Lucena MB, Oliveira MC, Gower J, et al. The floating Sargassum (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean - Likely scenarios. Phycologia. 2017;56(3):321–8.

5. Martinelli Filho JE. First record of golden seaweed tides at the Brazilian amazon coast. 2015;1–2.

6. López-Sosa LB, Alvarado-Flores JJ, Corral-Huacuz JC, Aguilera-Mandujano A, Rodríguez-Martínez RE, Guevara-Martínez SJ, et al. A prospective study of the exploitation of pelagic sargassum spp. As a solid biofuel energy source. Appl Sci. 2020;10(23):1–17.

7. Witherington B, Hirama S, Hardy R, Wang M, Hu C, Maurer AS, et al. Young sea turtles of the pelagic Sargassum-dominated drift community: Habitat use, population density, and threats. Mar Ecol Prog Ser. 2016;13(7):394–5.

8. Gower JFR, King SA. Distribution of floating Sargassum in the Gulf of Mexico and the Atlantic ocean mapped using MERIS. Int J Remote Sens. 2011;32(7):1917–29.

9. Smetacek V, Zingone A. Green and golden seaweed tides on the rise. Nature. 2013; 504 (7478): 84–8.

10. Wang M, Hu C. Predicting Sargassum blooms in the Caribbean Sea from MODIS observations. Geophys Res Lett. 2017;44(7):3265–73.

11. Langin K. Seaweed masses assault Caribbean islands. Science (80-). 2018;360(6394):1157–8.

12. Davis D, Simister R, Campbell S, Marston M, Bose S, McQueen-Mason SJ, et al. Biomass composition of the golden tide pelagic seaweeds Sargassum fluitans and S. natans (morphotypes I and VIII) to inform valorisation pathways. Sci Total Environ. 2021;762(xxxx):143134.

13. Gower J, King S. The distribution of pelagic Sargassum observed with OLCI. Int J Remote Sens. 2020;41(15):5669–79.

14. Rodríguez-Martínez RE, Roy PD, Torrescano-Valle N, Cabanillas-Terán N, Carrillo-Domínguez S, Collado-Vides L, et al. Severe impacts of brown tides caused by Sargassum spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. Am J Environ Sci. 2017;13(1):19–30.

15. Arencibia-Carballo G, Irañeta Batallán JM, Morell J, Moreira González AR. Massive beaching Sargassum on the north coast of Cuba. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático. 2020;2(1):19–30.

16. Amador-Castro F, García-Cayuela T, Alper HS, Rodriguez-Martinez V, Carrillo-Nieves D. Valorization of pelagic sargassum biomass into sustainable applications: Current trends and challenges. J Environ Manage. 2021;283(November 2020).

17. Milledge JJ, Harvey PJ. Golden Tides: Problem or golden opportunity? The valorisation of Sargassum from beach inundations. J Mar Sci Eng. 2016;4(3).

18. Desrochers A, Cox S-A, Oxenford HA, van Tussenbroek BI. Sargassum Uses Guide: A resource for Caribbean researchers, entrepreneurs and policy makers (CERMES Technical Report No. 97 Special Edition). 2020.

19. Thompson TM, Young BR, Baroutian S. Pelagic Sargassum for energy and fertiliser production in the Caribbean: A case study on Barbados. Renew Sustain Energy Rev. 2020;118(April 2019).

20. Milledge JJ, Maneein S, López EA, Bartlett D. Sargassum inundations in Turks and Caicos: Methane potential and proximate, ultimate, lipid, amino acid, metal and metalloid analyses. Energies. 2020;13(6).

21. Milledge JJ, Nielsen B V., Bailey D. High-value products from macroalgae: the potential uses of the invasive brown seaweed, Sargassum muticum. Rev Environ Sci Biotechnol. 2016;15(1):67–88.

22. Milledge JJ, Smith B, Dyer PW, Harvey P. Macroalgae-derived biofuel: A review of methods of energy extraction from seaweed biomass. Energies. 2014;7(11):7194–222.

23. Jard G, Marfaing H, Carrère H, Delgenes JP, Steyer JP, Dumas C. French Brittany macroalgae screening: Composition and methane potential for potential alternative sources of energy and products. Bioresour Technol [Internet]. 2013;144:492–8. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.114

24. Alzate-Gaviria L, Domínguez-Maldonado J, Chablé-Villacís R, Olguin-Maciel E, Leal-Bautista RM, Canché-Escamilla G, et al. Presence of polyphenols complex aromatic "Lignin" in Sargassum Spp. From Mexican Caribbean. J Mar Sci Eng. 2021;9(1):1–10.

25. Doh H, Dunno KD, Whiteside WS. Preparation of novel seaweed nanocomposite film from brown seaweeds Laminaria japonica and Sargassum natans. Food Hydrocoll [Internet]. 2020;105:105744. Available from: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105744

26. Davis D, Simister R, Campbell S, Marston M, Bose S, McQueen-Mason SJ, et al. Biomass composition of the golden tide pelagic seaweeds Sargassum fluitans and S. natans (morphotypes I and VIII) to inform valorisation pathways. Sci Total Environ. 2021;762:143134.

27. Cheah CB, Tan LE, Ramli M. Recent advances in slag-based binder and chemical activators derived from industrial by-products – A review. Constr Build Mater [Internet]. 2021;272:121657. Available from: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121657

28. Salazar-Cruz BA, Zapien-Castillo S, Hernández-Zamora G, Rivera-Armenta JL. Investigation of the performance of asphalt binder modified by sargassum. Constr Build Mater [Internet]. 2021;271:121876. Available from: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121876

29. Desrochers A, Cox S, Oxenford H, Van Tussenbroek B. Sargassum Uses Guide: A resource for Caribbean researchers, entrepreneurs and policy makers Lead. Food Agric Organ United Nations Prod. 2020;(97):100.

30. Kantar C, Cetin Z, Demiray H. In situ stabilization of chromium(VI) in polluted soils using organic ligands: The role of galacturonic, glucuronic and alginic acids. J Hazard Mater. 2008;159(2–3):287–93.

31. Galán-Marín C, Rivera-Gómez C, Petric J. Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. Constr Build Mater [Internet]. 2010;24(8):1462–8. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.01.008

32. Dove C. The development of unfired earth bricks using seaweed biopolymers. WIT Trans Built Environ. 2014;142:219–30.