

RESÍDUOS NA AMAZÔNIA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

WASTE IN THE AMAZON: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR CIVIL CONSTRUCTION

RESIDUOS EN LA AMAZONIA: DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Gleice Maria de Araujo Ribeiro¹, Mariana da Penha Novaes², Nilson Santana de Amorim³, Ryan Carvalho Chagas de Araujo⁴, Moisés Ferreira Eleutério Silva⁵, Luara Batalha Vieira⁶, Josiane Dantas Viana Barbosa⁷

DOI: 10.54899/dcs.v23i93.6624

Recibido: 14/07/2026 | Aceptado: 07/08/2026 | Publicación en línea: 14/08/2026.

RESUMO

A região Norte brasileira se destaca pela sua exuberância natural e diversidade biológica, representando um ativo importante para o mundo. A Amazônia atrai a atenção de órgãos/instituições globais quanto à preservação do seu bioma. Nesse contexto, a transformação de resíduos em subprodutos se torna essencial para a sustentabilidade local, alinhando-se às diretrizes ambientais, sociais e de governança (ESG). Este artigo tem como objetivo levantar os resíduos gerados na região Amazônica, destacando-se aqueles com maior potencial de reaproveitamento na construção civil. Além disso, apresentou-se uma análise de dados da região Norte em comparação ao território nacional e a outros países. A pesquisa foi realizada utilizando-se as bases de dados Scopus e Derwent. Entre os materiais selecionados, destacaram-se o resíduo de caulim e o caroço de açaí como substitutos parciais em clínquer e em argamassa autonivelante, respectivamente. Observou-se ainda a existência de lacunas para inserção de resíduos como materiais de construção civil, que pode ser constatada pelo pequeno número de artigos científicos e documentos de proteção à propriedade intelectual.

Palavras-chave: Amazônia. Resíduo. Construção Civil. Região Norte.

¹ Mestra em Gestão em Tecnologia Industrial pela Universidade SENAI CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.
E-mail: gmariar@fieb.org.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-3883-2868>

² Mestra em Engenharia Civil pela Universidade SENAI CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.
E-mail: mariana.novaes@fieb.org.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2594-1395>

³ Doutor em Engenharia Civil pela Universidade SENAI CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.
E-mail: nilson.amorim@fieb.org.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0726-4645>

⁴ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade SENAI CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.
E-mail: ryan.araujo@fbter.org.br

⁵ Mestre em Engenharia Civil pela Universidade SENAI CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.
E-mail: moises.silva@fieb.org.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8691-6594>

⁶ Doutora em Gestão em Tecnologia Industrial pela Universidade SENAI CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.
E-mail: luara.batalha@fieb.org.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0456-6357>

⁷ Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade SENAI CIMATEC, Salvador, Bahia, Brasil.
E-mail: josianedantas@fieb.org.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7423-5326>

ABSTRACT

The northern region of Brazil stands out for its natural exuberance and biological diversity, representing an important heritage for the world. The Amazon attracts the attention of global agencies/institutions regarding the preservation of its biome. The transformation of waste into byproducts becomes essential for the sustainability of the Amazon, in line with the environmental guidelines established by the United Nations SDGs. This study carried out a literature review on waste generated in the Amazon region, highlighting those with the greatest potential for reuse in the construction sector. The Scopus and Derwent databases were used to collect information. The state of the art on the subject was presented, aligned with an analysis of data from the northern Amazon region. Among the waste collected, kaolin waste and seed stand out, used as partial substitutes in clinker and self-leveling mortars, respectively. There were also gaps in the inclusion of waste as construction materials, which can be seen in the small number of scientific articles and documents that protect intellectual property.

Keywords: Amazon. Waste. Construction. Northern Region.

RESUMEN

La región Norte de Brasil destaca por su exuberancia natural y diversidad biológica, lo que representa un activo mundial de gran importancia. La Amazonia atrae la atención de organismos e instituciones internacionales en lo referente a la preservación de su bioma. En este contexto, la transformación de residuos en subproductos resulta esencial para la sostenibilidad local, alineándose con los criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG). Este artículo tiene como objetivo identificar los residuos generados en la región amazónica, destacando aquellos materiales con mayor potencial de reutilización en la construcción civil. Asimismo, presenta un análisis de datos de la región Norte en comparación con el territorio nacional y otros países. La investigación se llevó a cabo utilizando las bases de datos Scopus y Derwent. Entre los materiales seleccionados, destacaron los residuos de caolín y los huesos de açaí como sustitutos parciales en el clínker y en morteros autonivelantes, respectivamente. También se observaron carencias en cuanto a la incorporación de residuos en la construcción civil, evidenciadas por el escaso número de artículos científicos y documentos de propiedad intelectual.

Palabras clave: Amazonas. Residuos. Construcción. Región Norte.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

Nos últimos trinta anos, observa-se uma mobilização mundial para melhor conduzir a exploração do meio ambiente. Em 1992, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, ou Rio-92, evento de grande repercussão mundial. A Rio-92 teve

como principal resultado a Agenda 21, definida como um “instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica” (Bayulken e Huisinigh, 2015). A Agenda 21 pretendia provocar na sociedade uma atitude ética em relação à conservação ambiental, alinhada ao desenvolvimento econômico, buscando o uso racional dos recursos naturais, uma sociedade justa e economicamente responsável. Na época, 179 países participaram desse evento e assinaram o documento.

Outros documentos foram produzidos, com destaque para: a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Declaração de Princípios sobre o Uso das Florestas, a Convenção das Nações Unidas sobre Diversidade Biológica e a Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (Bayulken e Huisinigh, 2015). Nota-se que esses instrumentos de compromisso internacional, voltados para o desenvolvimento sustentável, representaram esforços relevantes em prol da conservação da natureza e da sobrevivência das espécies.

Entretanto, após 33 anos, o tema ainda é um assunto relevante e que traz preocupações sobre as condições de vida das futuras gerações. Labaran *et al.* (2022) observaram a situação alarmante a respeito dos indicadores associados ao aquecimento global, elevação do nível do mar, redução da camada de ozônio e aumento de desastres naturais em todo o mundo. Esses indicadores estão inevitavelmente relacionados às atividades humanas, como o desmatamento, o uso de combustíveis fósseis e a geração de resíduos sólidos. Praticamente toda atividade humana gera resíduos, e quando são mal gerenciados, podem causar prejuízos ambientais com danos à saúde dos seres vivos (Alam e Ahmade, 2013; De e Debnath, 2016).

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) apresentou 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) cujas 169 metas estão relacionadas com questões ambientais, sociais e econômicas a serem implementadas até 2030 (Pereira *et al.*, 2024). Nesse contexto, a gestão de resíduos apresenta-se como um tema transversal, importante para o atendimento de diferentes ODS e suas respectivas metas. Destacam-se o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e o ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), que almejam uma industrialização inclusiva e sustentável, juntamente com o manejo ambientalmente correto dos produtos químicos em todo seu ciclo de vida e redução substancial da geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

No Brasil, as legislações foram criadas e implementadas para regular a gestão e o descarte dos resíduos, em consonância com os ODSs aludidos. A Lei nº 12.305 de 12 de agosto de 2010

(Brasil, 2010) estabeleceu que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e suas diretrizes seriam pautadas no princípio da não-geração dos resíduos, ou quando não for possível, optar pela redução da quantidade gerada. Para os resíduos que já foram gerados, as prioridades devem ser a reutilização, a reciclagem e o tratamento, respectivamente. A respeito dos resíduos oriundos da cadeia da construção civil, a Resolução nº 307 de janeiro de 2002, promulgada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), estabelece as diretrizes que promovem a segregação, a quantificação, a classificação e a destinação compromissada destes resíduos. Vale destacar que tal regulamentação pretende proteger o meio ambiente e incentivar a indústria da construção civil a adotar práticas mais sustentáveis (Burgos, 2024).

A Lei Estadual nº 4.457 (Amazonas, 2017) dispõe sobre a política estadual do estado do Amazonas sobre os princípios, objetivos e instrumentos de gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos pautados na não-geração. A lei reflete sobre a importância da realização de pesquisas científicas para o desenvolvimento de novas tecnologias de reaproveitamento de resíduos.

A United Nations Environment Programme (UNEP, 2021) publicou o documento intitulado *The Role of Business in Moving from Linear to Circular Economies*, em que destaca o impacto ambiental provocado pela indústria da Construção Civil. Estima-se que a construção de casas, escritórios, estradas e outras infraestruturas consome, anualmente, 38,3 bilhões de toneladas de recursos, incluindo materiais processados (aço) e minerais (areia, cascalho e calcário). Esta quantidade equivale a aproximadamente 40% dos recursos globais consumidos por ano, contribuindo com 17% das emissões globais de gases de efeito estufa.

A construção civil é uma grande consumidora de recursos, além de ser responsável pela geração de um considerável volume de resíduos, classificado como Resíduo da Construção e Demolição (CDW), composto por materiais como solo, concreto, tijolos, argamassa, madeira, metal e gesso. De acordo com o Banco Mundial, em 2018, o índice que indica a geração média global de resíduos da construção e demolição foi igual 1,68 kg/dia per capita (Kaza, Yao e Bhada-Tata, 2018). A Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (Abrema, 2019) apresentou o índice brasileiro sobre a coleta de resíduos da construção, com o valor igual a 0,58 kg/dia por habitante. No ano de 2021, o índice brasileiro alcançou o valor de 0,62 kg/dia/hab., retornando à 0,58 kg/dia/hab. em 2023 (Abrema, 2022, Abrema 2024). Ressalta-se que o índice brasileiro advém das informações dispostas pelas autoridades municipais. Segundo a Abrema, boa parte dos CDWs coletados equivale àqueles abandonados em ruas e logradouros públicos, não sendo capaz de englobar os resíduos manejados por grupos empresariais.

A indústria da construção civil é reconhecida pela sua capacidade de desempenhar um papel impactante no desenvolvimento econômico sustentável dos países, com destaque para o potencial de incorporação de diferentes resíduos em matrizes cimentícias (Lima *et al.*, 2024; Batalha-Veira, 2022; Burgos, 2024; Andrade Neto *et al.*, 2021; Amorim Jr. *et al.*, 2018; Batalha-Veira *et al.*, 2023). A reinserção de resíduos sólidos em produtos como concretos e argamassas atende a demanda em escala da indústria e reduz a utilização dos recursos naturais.

A UNEP *et al.* (2018), aponta em seu relatório sobre a sustentabilidade dos materiais cimentícios, duas rotas economicamente viáveis que podem nortear o setor da construção civil em direção a um futuro mais sustentável. A primeira rota recomenda o uso de materiais cimentícios suplementares (SCMs), capazes de substituir uma parte da matéria prima calcinada do cimento Portland, o clínquer. A segunda rota recomenda buscar todas as formas possíveis de aumentar o uso eficiente do cimento Portland em concretos e argamassas. Neste artigo, entende-se que a adição de resíduos em matrizes cimentícios pode contribuir com o desempenho ambiental dos produtos em consonância com a segunda rota.

Sendo assim, acredita-se que a construção civil possui uma capacidade única de contribuir com a sustentabilidade ambiental, sobretudo no que diz respeito à região Norte brasileira. Com o avanço das explorações em regiões intocadas e principalmente com a descoberta de grandes bacias de petróleo na região da costa Norte da América do Sul, próximas à foz do Rio Amazonas, é necessário cuidado ao adotar incentivos para o crescimento econômico da Região Amazônica, sem considerar mecanismos que busquem reduzir, ao mínimo possível, os impactos ambientais (Dias, 2023). A floresta amazônica é um dos biomas responsáveis pela regulação climática do planeta e possui uma enorme biodiversidade com fauna e flora ainda não totalmente identificadas (Fearnside, 2022; Engels e Smidt, 2023).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a região Norte brasileira possui como principais atividades econômicas o extrativismo vegetal e mineral, a agropecuária, a indústria de transformação e de serviços. Tais atividades podem gerar resíduos de diferentes tipos e quantidades. Nota-se também que, devido às características da geografia local e a possibilidade de impactos ambientais graves, existe um grande desafio no acondicionamento de resíduos, sobretudo para empresas privadas que necessitam encontrar alternativas viáveis para a destinação ambientalmente adequada desses materiais e que sejam técnica e economicamente viáveis (Andrade, 2016).

Um dos principais resíduos sólidos gerados na região Norte é o agroindustrial, mais

especificamente o caroço do açaí, gerado após a extração da polpa e que apresenta um volume de 80-90% da fruta (Lima *et al.*, 2021). Destaca-se também que nesta região existem resíduos da exploração mineral e animal, além de uma elevada quantidade de sedimento que o rio Amazonas vem depositando ao longo de sua foz, prejudicando a navegabilidade local.

Assim, este artigo visa auxiliar o setor da construção civil, frente aos principais resíduos gerados na região Amazônica com possibilidades de aproveitamento em sua cadeia produtiva, principalmente ao que diz respeito a produção de materiais cimentícios, como argamassas e concretos. Para tal, realizou-se uma busca sobre os principais resíduos encontrados na região Amazônica, testados e publicados em artigos, juntamente com as principais tecnologias desenvolvidas e protegidas por patentes.

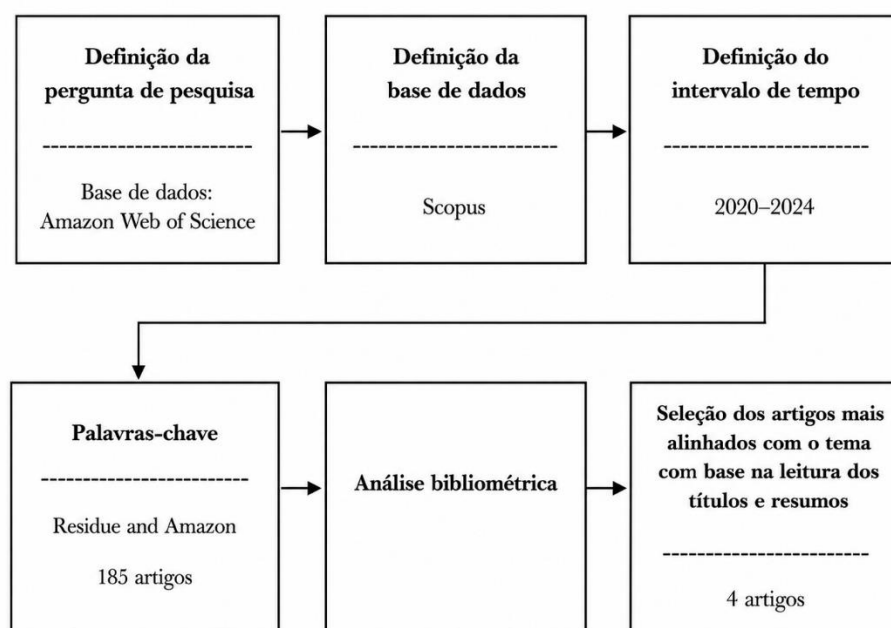
METODOLOGIA

Neste estudo realizou-se uma revisão de literatura buscando publicações científicas e técnicas sobre resíduos da região Amazônica, com potencial de utilização na cadeia de valor da construção civil. A metodologia de pesquisa para a orientação dos procedimentos de filtragem dos artigos encontrados foi a partir do ProKnow- C - Knowledge Development Process, (Ensslin *et al.*, 2010), metodologia desenvolvida pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Afonso *et al.*, (2011) afirmam que a metodologia do ProKnow-C de intervenção apresenta simplicidade e sistematização da atividade para a construção do conhecimento para início de uma pesquisa e está estruturada em quatro etapas: 1) seleção do portfólio bibliográfico que proporcionará a revisão de literatura; 2) análise bibliométrica do portfólio bibliográfico; 3) análise sistêmica do portfólio bibliográfico; 4) elaboração dos objetivos de pesquisa. Para início do processo de filtragem seguiu-se o esquema apresentado na Figura 1.

Figura 1

Fluxograma das etapas de busca, filtragem e seleção dos artigos.



Desta forma, o primeiro critério determinado foi o eixo de estudo da pesquisa, utilizando as palavras-chave “Residue” e “Amazon”, na base de dados de publicações científicas internacional Scopus. Essa escolha se deu devido à capacidade de acervo, da base em questão, de resumos e citações, além de ferramentas para auxílio nas análises e geração de gráficos. Foi escolhido o intervalo temporal das publicações (2020 – 2024), de modo a se fazer uma análise dos problemas, a partir dos resíduos gerados na atualidade. A busca na base de dados eletrônica Scopus gerou um total de 185 documentos.

A análise bibliométrica foi a etapa seguinte, proporcionando a organização em gráficos, com os dados obtidos através dos anos de publicações, revistas publicadas, instituições e produção por país. Para tal, utilizou-se o pacote de software Bibliometrix por meio do programa RStudio (versão 4.4.2), específico para linguagem de programação R (Aria e Cuccurullo, 2017). Em seguida, por meio da leitura dos títulos e resumos, realizou-se a seleção dos artigos mais alinhados ao tema proposto, ou seja, resíduos com potencial de aplicação na construção civil (Tabela 1).

Tabela 1

Artigos selecionados para leitura e análise completa.

ITEM	ARTIGOS RELEVANTES	AUTORES
1	The influence of river-derived particles on estuarine and marine elemental cycles: Evidence from lithium isotopes	Liu <i>et al.</i> , 2023
2	Life cycle assessment to produce LC ³ cements with kaolinitic waste from the Amazon region, Brazil	Arruda <i>et al.</i> , 2023
3	Circular Bioeconomy in the Amazon Rainforest: Evaluation of Açaí Seed Ash as a Regional Solution for Partial Cement Replacement	Rocha <i>et al.</i> , 2022
4	Assessment of compatibility between historic mortars and lime-METAKAOLIN restoration mortars made from Amazon industrial waste	Loureiro <i>et al.</i> , 2020

De maneira complementar à busca da produção científica, foi realizada uma pesquisa de patentes no banco de dados Derwent Innovation, utilizando-se as mesmas palavras-chave empregadas na base de dados da Scopus: Residue” e “Amazon”.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados obtidos da análise bibliométrica, realizada a partir dos 185 documentos acadêmicos oriundos do Scopus. Os artigos apresentados na Tabela 1, relacionados especificamente a construção civil, serão discutidos nos tópicos posteriores.

Revisão Bibliométrica de Artigos Científicos

Nos períodos de 2020 a 2024 foram identificados 184 artigos por meio das palavras-chaves. Para cada ano, dentro do intervalo (2020 a 2024) de forma crescente, houve 23, 35, 32, 48, 46 artigos publicados.

As revistas científicas, juntamente com anais de conferências internacionais, são as principais fontes de informações relacionadas ao tema. Quanto ao número absoluto de publicações, o periódico Sustainability (5 publicações) apresenta-se como a principal fonte de informações. Esta é uma revista Suíça que tem como escopo a sustentabilidade ambiental, cultural, econômica e social dos seres humanos. Por ser uma revista indexada há uma maior distribuição e visibilidade dos trabalhos acadêmicos.

Em sequência, os periódicos indexados com maior número de publicações são Waste and Biomass Valorization e Water, Air and Soil Pollution (4 publicações). Ambos possuem como objetivo principal a publicação de trabalhos acadêmicos voltados para a valorização e utilização

de biorecursos. Os estudos avaliados relacionam-se, sobretudo, com a utilização da biomassa como fonte renovável para geração de energia elétrica. Este tema é entendido como relevante para a região Amazônica pois, segundo o relatório emitido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024), a Biomassa representava mais de 8% da matriz energética nacional. O relatório destaca que a biomassa contém energia armazenada sob a forma de energia química, podendo ser utilizados produtos, subprodutos ou resíduos da agropecuária e demais atividades agroindustriais ou rejeitos urbanos.

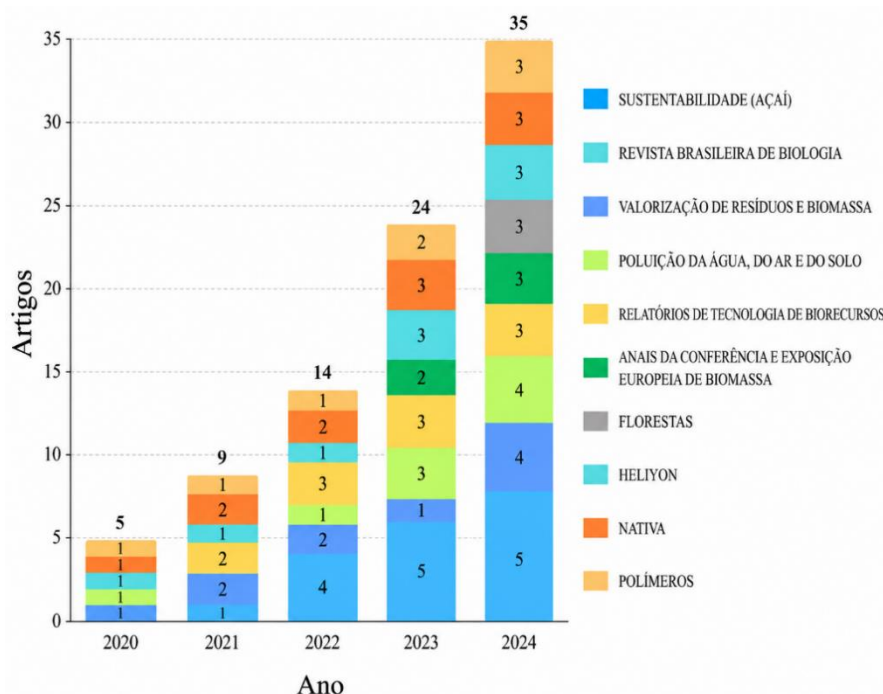
É necessário destacar que o Software Bibliometrix permite a classificação das fontes mais relevantes, não apenas a partir do volume de publicações, no qual consideram os parâmetros:

- Número de citações locais que os trabalhos acadêmicos receberam;
- Quantidade de artigos publicados em uma fonte específica por autores vinculados ao contexto local, como uma mesma instituição ou país;
- O índice H calculado com base nas citações recebidas pelos artigos publicados na fonte, considerando apenas as citações provenientes do contexto local;
- Influência da fonte na rede de colaboração local entre os principais autores;
- Impacto da fonte no contexto global a partir do número de citações.

Sendo assim, foi possível analisar as fontes de acordo com sua relevância (Figura 2), segundo os parâmetros aludidos.

Figura 2

Periódicos associados ao tema, de acordo com o número de documentos relevantes acumulados nos últimos quatro anos.

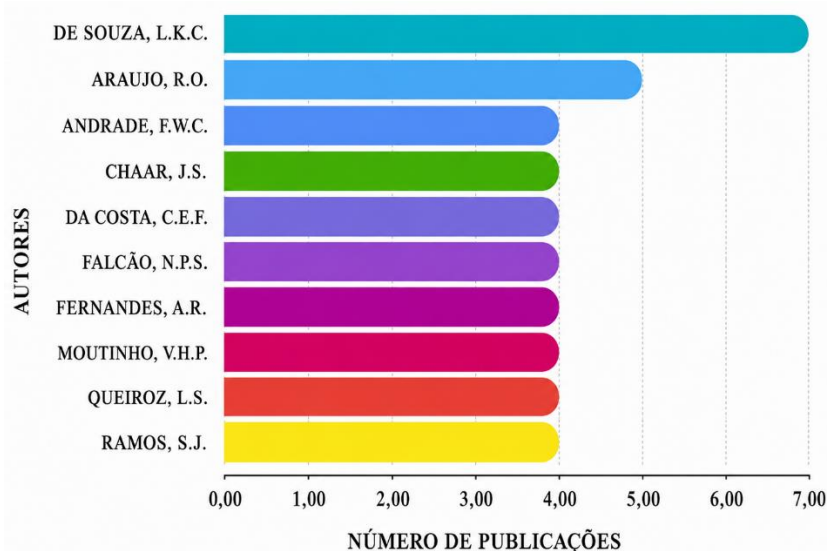


A revista Sustainability possui 5 documentos científicos que o classificam como o mais relevante. Em sequência, percebe-se a presença de revistas já citadas anteriormente, a exemplo do Waste and Biomass Valorization e Bioresource Technology Reports, uma vez que possuem um importante volume de publicações. Contudo, destaca-se a revista Brazilian Journal of Biology, que apesar do baixo volume de trabalhos publicados, estes aparecem como relevantes. Esta é uma revista conceituada e tradicional da produção científica brasileira, criada no ano de 1941 e destinada a publicação de trabalhos originais que envolvam as ciências biológicas. Os artigos avaliados nessa revista exploraram as propriedades medicinais do extrato da casca da castanha-do-brasil e a produção de mudas nativas com técnicas sustentáveis e inovadoras.

A respeito dos autores mais relevantes, consideram-se os mesmos critérios mencionados anteriormente somado a análise de produtividade baseada na Lei de Lotka (Figura 3).

Figura 3

Autores associados ao tema, de acordo com o número de documentos relevantes.



Especificamente a respeito do impacto global, a Tabela 2 apresenta os artigos com maior número de citações e os respectivos primeiros autores.

Tabela 2

Documentos acadêmicos com o maior número de citações em nível mundial.

AUTORES	DOI	TOTAL CITAÇÕES
QUEIROZ, L.S.	10.1016/j.jenvman.2020.110868	130
SERAFIN J.	10.1016/j.wasman.2021.10.025	80
LEHMANN J.	10.4324/9781003297673	79
SANTOS V.O.	10.1016/j.biteb.2020.100553	73
MELO P.S.	10.1016/j.indcrop.2020.113204	61
RICO A.	10.1016/j.chemosphere.2021.132821	50
LIMA, D.R.M.	10.1016/j.biombioe.2020.105660	42
ARAUJO, R.O.	10.1016/j.enconman.2020.113636	40
SOARES, M.B.	10.1016/j.catena.2019.104279	38
DUARTE E.D.V.	10.1016/j.susmat.2022.e00391	32

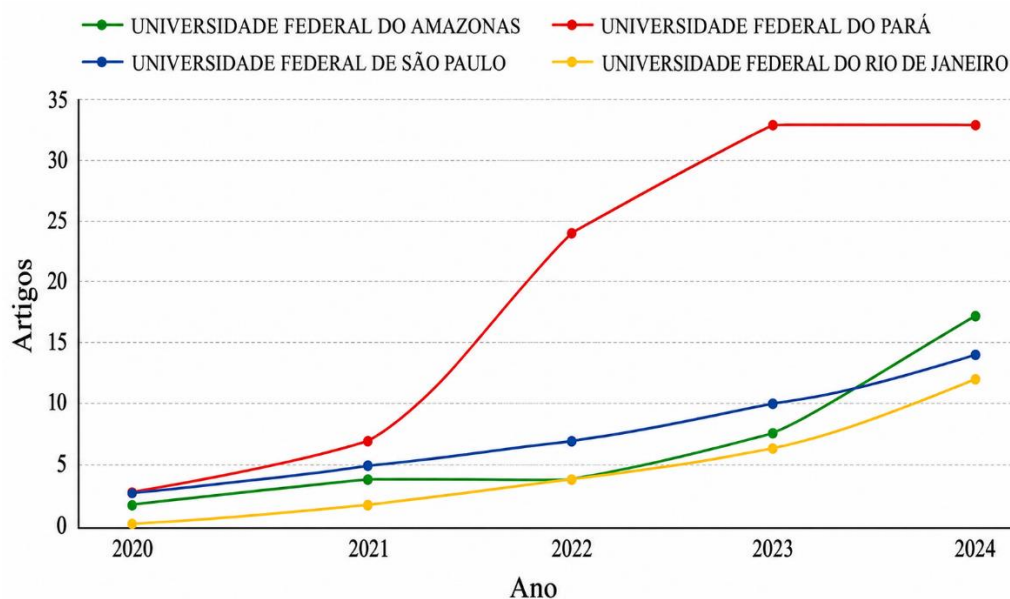
Os dois artigos principais (maior impacto), possui como primeiro autor pesquisadores especialistas em análises térmicas, biocarvão e conversão de biomassas em combustíveis ou insumos químicos, designadamente o Dr. Leandro Santos Queiroz, ligado à Universidade Federal do Amazonas e Dr. Jarosław Serafin, vinculado a University of Barcelona. Quanto ao terceiro trabalho de maior impacto, o representante do artigo Dr. Johannes Lehmann, oriundo da Cornell

University, possui pesquisas de relevância na área de biogeoquímica do solo e manejo da fertilidade do solo.

Os dados indicaram as quatro principais instituições com publicações sobre o tema (Figura 4), todas localizadas no Brasil, país de origem da maior parte da Floresta Amazônica.

Figura 4

Principais instituições segundo o número de documentos relevantes ao longo dos anos.



Nota-se que as Instituições Públicas de Ensino Superior do Brasil são as principais produtoras do conhecimento científico sobre o tema. A Universidade Federal do Pará (UFPA) liderou em número de documentos, justificando-se por possuir diferentes grupos/projetos de pesquisa e inovação que almejam o desenvolvimento econômico da região, alinhado à sustentabilidade ambiental, a exemplo do Grupo denominado Negócios Públicos e Privados na Amazônia: Direito ao Desenvolvimento, Gestão Pública e Solução de Conflitos (CAPES, 2025). Certamente, por fazer parte da região Amazônica, há um interesse natural na busca pela preservação da biodiversidade, além da vivência dos problemas locais (UFPA, 2025).

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM), também localizada na região Norte, no estado do Amazonas, aponta como uma das instituições com maior número de publicações sobre o tema. A estrutura acadêmica da UFAM conta com 9 Institutos, de diferentes áreas de conhecimento, com atribuições voltadas para o ensino, pesquisa, inovação e atividades de extensão direcionadas para a sociedade local. Dispõe ainda de 13 faculdades e 1 escola

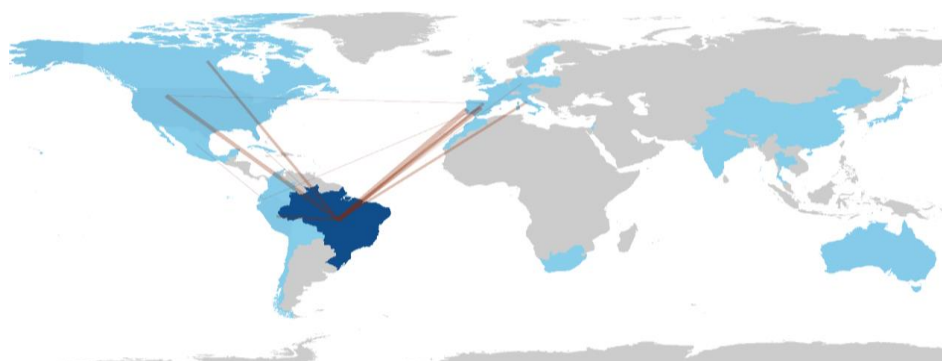
responsáveis pela formação de profissionais capacitados nas áreas temáticas relacionadas (UFAM, 2025).

A Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) estão localizadas nas maiores cidades brasileiras, com maior polo industrial e comercial do país, com renomada história em pesquisas científicas. A UFRJ desponta na quinta posição entre as melhores Universidades da América Latina, segundo a QS World University Rankings, em parceria com a Elsevier (UFRJ, 2025). A USP é classificada como a melhor universidade da América Latina, estando entre as 100 universidades mais importantes do mundo pelo mesmo ranking (JORNAL USP, 2024).

A Figura 5 confirma o Brasil como o país com maior número de estudos publicados, conforme esperado, pois este é o país onde se encontra a região de objeto de estudo. Destacam-se também publicações vinculadas à Colômbia, Equador, Peru e Bolívia, países que fazem parte do bioma amazônico.

Figura 5

Países com maior produção de documentos científicos, com ênfase na colaboração entre eles.



O Brasil apresenta uma grande rede de colaboração, com destaque para os países: Portugal, EUA, Peru, Itália, Canadá, França e Espanha. Estes países possuem parcerias importantes com as Universidades Públicas brasileiras. Quanto a países como Austrália, África do Sul, Polônia, Suécia, Índia e China, embora publiquem trabalhos científicos relacionados às palavras-chave "Resíduos" e "Amazônia", possuem poucas parcerias com os países amazônicos.

Impactos Ambientais Associados aos Resíduos Encontrados na Região Amazônica

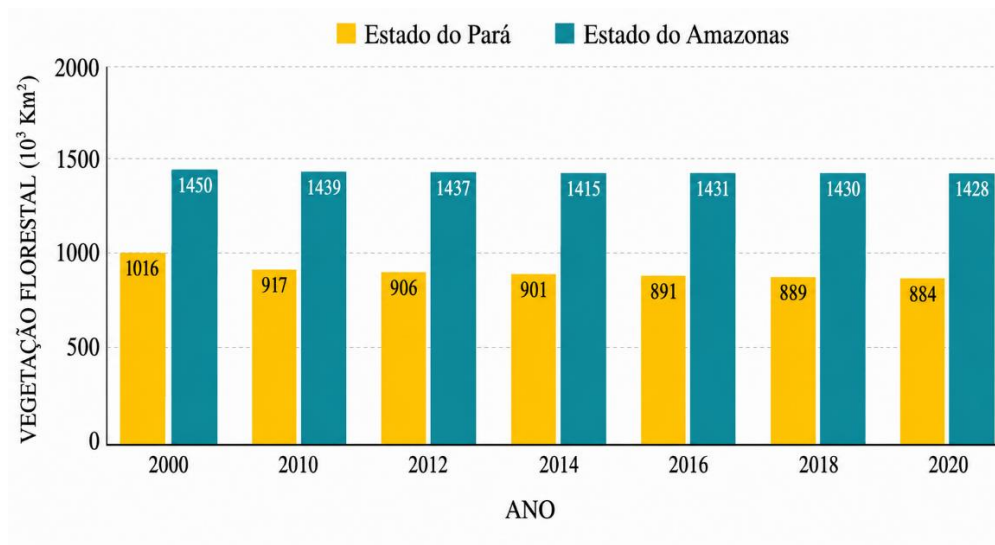
Os 04 artigos considerados mais alinhados com a temática são apresentados individualmente na Tabela 1. Os artigos tratam sobre os resíduos gerados a partir da cinza do caroço do açaí, resíduos do caulim e sedimentos provenientes da bacia Amazônica. Há enorme preocupação em relação aos resíduos que são gerados na região do Amazonas e o impacto ambiental oriundo deles.

Inicialmente, deve-se destacar que sedimentos são materiais naturalmente carreados pelos rios, sendo eles oriundos de fragmentos de rocha que compõem o solo. No entanto, nos últimos anos, mudanças no padrão das águas de alguns rios que compõem a bacia Amazônica deixaram em alerta a comunidade científica. Segundo nota publicada pelo Grupo de Pesquisa MapBiomias, a exploração garimpeira na Bacia do Tapajó (trecho Jacareacanga a Santarém) provocou um aumento descontrolado do transporte de sedimentos pelos rios e lagos da Amazônia (Diniz *et al.*, 2022). A atividade garimpeira desmata e escava o solo amazônico ou draga o fundo dos rios. Os sedimentos desta atividade são descartados diretamente das plantas de extração (ou lixiviados pelas chuvas, já que perderam a proteção florestal) para os rios. Esta adição de sedimentos altera as características físico-químicas da água (Diniz *et al.*, 2022).

Segundo dados do IBGE (2024), a respeito do Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra, nos últimos 20 anos, o estado do Pará reduziu em 12,04% a sua vegetação florestal, totalizando uma perda de 120,9 mil km². O estado do Amazonas perdeu 1,47%, representando um valor de 21,3 mil km² (Figura 6). Considera-se áreas florestais as formações arbóreas com porte superior a 5 m de altura, incluindo-se aí as áreas de Florestas Ombrófilas, Estacionais e Mistas, além de Savanas e Campinaranas Florestadas, Manguezais e Buritizais.

Figura 6

Área ocupada por florestas entre 2000 e 2020 nos estados do Pará e do Amazonas.



Entre 2000 e 2020, no Estado do Pará houve um acréscimo de 236,44% em áreas de Silvicultura, correspondendo a 1421 km². Estas áreas são caracterizadas por plantios florestais de espécies exóticas ou nativas como monocultura (IBGE, 2024). Dentre as principais produções do estado associados a este tipo de cultivo, destaca-se a plantação de açaí. Dados do IBGE apontam que em 2023 foram produzidos no Brasil 1.696.485 toneladas de açaí, sendo que o estado do Pará foi responsável por 1.576.302 toneladas, quase 93% da produção brasileira (IBGE, 2023).

Contudo, Cunha-Silva *et al.* (2024), relatam que muitas espécies de árvores foram derrubadas para o cultivo do açaí, afetando a biodiversidade local, desde o esgotamento de água, uso de terra, além de todo o ecossistema florestal. Freitas *et al.* (2021), questionam as regulamentações legais atuais e os limites adotados para o manejo do açaí, ao mesmo tempo em que alertam para potenciais desastres causados por extrações mal regulamentadas de produtos florestais não madeireiros (PFNM). Em consonância, Cunha-Silva *et al.* (2024) apontam o dever das pesquisas futuras, em avaliar os impactos sociais e ambientais do cultivo do açaí na região Amazônica.

Outros fatores impactantes na região Norte estão relacionados à mineração, com destaque para a retirada do caulim, usado principalmente pela indústria de papel. O beneficiamento do caulim gera uma grande quantidade de resíduos, que se não bem destinados, podem causar impactos ambientais, como o assoreamento dos rios. Lemos e Pimentel (2020) analisaram

desastres ambientais significativos em Barcarena, no estado do Pará (Brasil), com foco específico nas atividades de mineração relacionadas à bauxita e caulim de 2003 a 2018. Eles destacaram como essas atividades levaram à degradação ambiental severa, afetando particularmente corpos d'água e comunidades locais.

Cinzas da Semente do Açaí

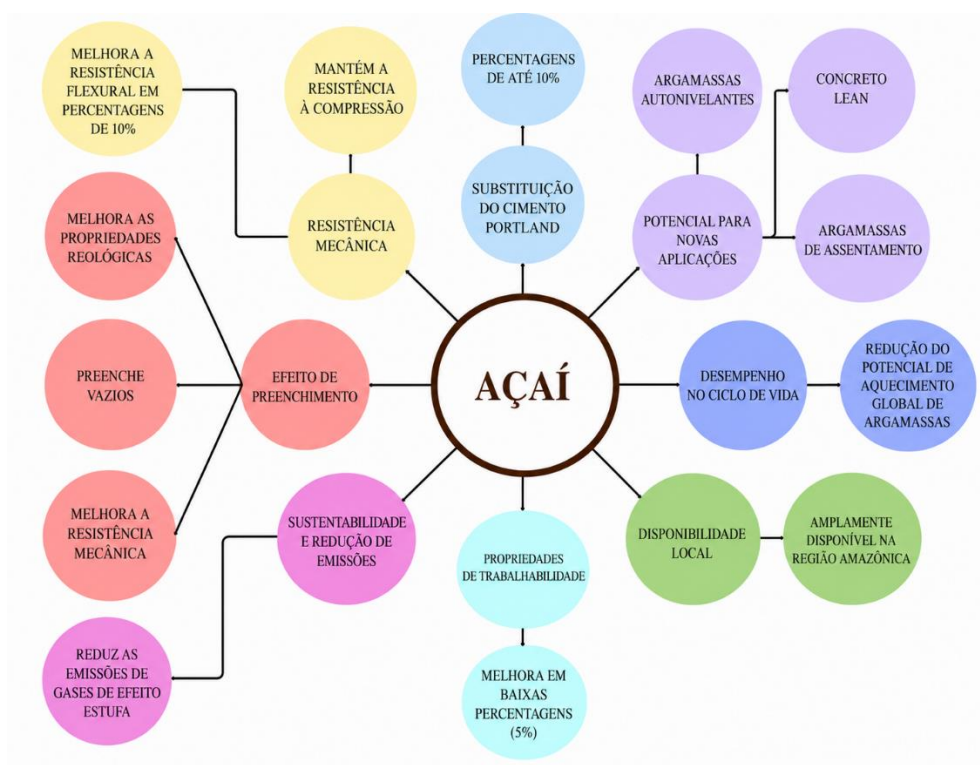
O Brasil é o principal produtor mundial do açaí, com grande concentração de sua produção na região Amazônica. Muitos produtos são comercializados advindos da cadeia de produção do açaí, como bebidas energéticas, iogurtes, nutracêuticos, cosméticos e perfumes (Cunha *et al.*, 2024). Neste estudo, foi observado que 24% dos artigos estavam voltados para o estudo do açaí, em sua maioria para a utilização dos resíduos orgânicos, conhecido como “biochar”, para correção do solo.

O rendimento obtido com o açaí é muito baixo. A polpa e a casca fazem parte do lado aproveitável da fruta e representam apenas 17% do fruto, a semente corresponde aos outros 83%. Com isso, devido à elevada produção e exploração, há uma geração de grande quantidade de caroços, parte não aproveitável, que geralmente não é descartada de forma adequada. Dessa maneira, o não reaproveitamento do caroço do açaí representa um passivo ambiental resultante da cadeia industrial desse produto.

Assim, pesquisas buscam utilizar a semente do açaí na construção civil. A Figura 7 lista um resumo das propriedades e resultados alcançados com o uso da cinza do caroço e de suas variáveis em matrizes cimentícias.

Figura 7

Propriedades e resultados obtidos com o uso de sementes de açaí em matrizes de cimento.



Cunha *et al.* (2024) fizeram o uso de cinza da semente do açaí como substituição parcial ao cimento Portland em argamassas autonivelantes. Nesta pesquisa foram analisadas as propriedades da argamassa com utilização do resíduo nos estados fresco e endurecido. Foi realizada também a avaliação sobre o ciclo de vida, etapa importante para analisar as emissões de gases de efeito estufa.

Os resultados obtidos evidenciaram que substituir 10% do cimento por cinza de semente do açaí é tecnicamente viável, contanto que seja utilizada a dosagem do plastificante de forma correta. Além disso, a análise do ciclo de vida indicou que o uso do resíduo é benéfico em relação à sustentabilidade quando utilizado como material de construção regional. Isso se deu porque a cinza do caroço do açaí apresentou propriedades que indicam efeito *filler*, ou seja, por ser um material fino, possui o papel de preencher vazios nas matrizes cimentícias, permitindo assim, o refinamento dos poros, a redução de permeabilidade e o aumento da resistência mecânica (De Sales Braga *et al.*, 2023).

Sabe-se que o cimento é responsável por até 7% das emissões de CO₂ na atmosfera (Junior *et al.*, 2023), sobretudo devido ao seu processo produtivo no qual ocorre a queima e

descarbonização do carbonato de cálcio a uma temperatura de 1400 °C. Assim, a diminuição do uso desse material com o incremento da cinza do caroço do açaí representa um esforço para redução da pegada de carbono na construção civil. Além disso, a região Norte é deficiente com relação à presença de fábricas de cimento, o que torna o produto muito caro na região. Apesar de ser a maior região do Brasil, o Norte do país possui o menor número de plantas para fabricação do insumo, contando com apenas seis plantas (SNIC, 2023).

Nota-se que a participação da agroindústria neste estudo traz duas contribuições importantes, desde o alerta para as questões ambientais da produção do açaí, em relação ao desflorestamento, até a utilização dos resíduos na aplicação de produtos da construção civil, visando potencializar a mitigação dos impactos ambientais.

A Tabela 3 traz um resumo de trabalhos que utilizaram o caroço do açaí e sua cinza como matéria-prima, em diferentes locais no mundo, para produção de elementos da construção civil.

Tabela 3

Resíduo de cinzas de açaí.

Autores	Possibilidades para construção civil	Resultados
De Cordeiro <i>et al.</i> , 2019	Adição para Concreto	As cinzas possuem características físicas que permitem sua utilização como adição ou carga inerte.
Do Nascimento and Oliveira, 2018	Concreto Sustentável	A adição de cinzas trouxe benefícios à durabilidade do composto, tornando-o menos suscetível à carbonatação.
Marinas <i>et al.</i> , 2014	Cerâmicas Estruturais	Os resultados mostraram que a incorporação de 15% de cinzas a 1050°C à massa argilosa para a produção de cerâmica estrutural melhora as propriedades físicas e mecânicas das amostras.
Barbosa <i>et al.</i> , 2019	Materiais Compósitos	Características como teor de umidade, densidade e temperatura de degradação indicam seu potencial para a produção de materiais compósitos aplicados na construção civil.
Ferreira <i>et al.</i> , 2018.	Concreto Permeável	Os resultados dos ensaios de caracterização, permeabilidade e resistência mecânica à compressão axial de corpos de prova cilíndricos produzidos, substituindo-se seixos rolados por percentuais de sementes de açaí, enquadram-se nos parâmetros normativos da ACI 522R, a qual sugere que os valores de resistência à compressão do concreto poroso devem situar-se entre 2,8 MPa e 28 MPa.

Uso de Resíduo Caulinítico para Produção de Cimento LC3

A floresta amazônica possui 90% das reservas totais de caulim do Brasil, e sua mineração é de grande interesse econômico. No entanto, a intensa atividade de caulim, sobretudo para produção de papel, produz grandes quantidades de rejeitos depositados, gerando um tremendo passivo ambiental e econômico local. Tais rejeitos não têm valor econômico, mas sua alta composição de caulinita pode ser interessante para a indústria de cimento (Da Silva *et al.*, 2021; Junior *et al.*, 2023).

O caulim calcinado, com teor de caulinita superior a 85% encontrados em depositados na região Amazônica, tem sido uma das possibilidades alternativas ao uso do clínquer Portland, podendo alcançar um valor de substituição de até 60%, para a produção do cimento Limestone Calcined Clay Cement (LC3) (Parashar e Bishnoi, 2021).

Junior *et al.* (2023) fabricaram cimentos LC³ contendo caulim calcinado, proveniente de depósitos do vale médio do Rio Capim. Um total de seis cimentos foram preparados, considerando uma substituição de 45% e 60% de substituição de clínquer Portland. Segundo os autores, em todas as relações, os cimentos LC³ apresentaram valores de resistência à compressão aos 7 dias maiores que 15 MPa, e valores acima de 40 MPa após 90 dias. Os resultados positivos foram, em geral, associados à alta reatividade do resíduo calcinado. Esses resultados demonstram o potencial ambiental dos cimentos ternários produzidos a partir de resíduos cauliníticos da Amazônia brasileira.

Os autores também realizaram a Análise de Ciclo de Vida, comparando a emissão de CO₂ entre diferentes tipos de cimentos, sendo estes o cimento Portland comum (type CEM I) e o cimento Portland composto (type CEM II), como referência, e o LC³. Os resultados para as emissões de dióxido de carbono dos cimentos de referência variaram de 657 a 810 kg CO₂/ton. de cimento produzido, enquanto o LC³ alcançou valores médios de 433 kg CO₂/ton. de cimento para cenários hipotéticos de resistência mecânica e demanda energética.

Da Silva *et al.* (2021) avaliaram a viabilidade do uso de argilas cauliníticas para a fabricação de cimento. Foram utilizados argila de alta pureza e um resíduo de caulim, gerado pelo processo de purificação de caulim puro, ambos obtidos no estado do Pará, região amazônica brasileira. Os cimentos LC³ foram produzidos a partir da mistura de materiais em pó nas proporções de 50% clínquer, 30% argila calcinada, 15% calcário e 5% gesso. Os cimentos contendo os resíduos de caulim demandaram menos de água para atingir a consistência normal,

com aumento da fluidez e aumento no tempo de pega total em comparação ao cimento LC³ preparado com caulim puro calcinado. O menor teor de caulinita do resíduo desempenhou um papel significativo nessas variações das propriedades da pasta fresca.

Os autores concluíram ainda que os desempenhos microestruturais e mecânicos dos cimentos LC³ com resíduos de caulim puro foram semelhantes. Apesar de um menor teor de caulinita no resíduo de caulim, a resistência à compressão aos 28 dias (41,8 MPa) foi comparável ao LC³ com caulim puro (42,3 MPa).

Visando reforçar as pesquisas sobre o tema, a Tabela 4 apresenta diferentes trabalhos que utilizaram argilas cauliníticas para a produção do cimento, não apenas àquelas oriundas da região amazônica.

Tabela 4

Trabalhos de referência que utilizaram argila caulinítica para produzir cimento LC3.
(continuação)

Autores	Possibilidades para construção civil	Resultados
Scrivener <i>et al.</i> , 2018	Cimento - LC ³ (calcined clay limestone cement)-cimento com calcário e argila caulinítica calcinada	A argila calcinada foi utilizada como pozolana em teores de cerca de 65% a 70% na produção de clínquer. Isso permitiu níveis mais elevados de substituição, reduzindo a produção de clínquer para cerca de 50%, com propriedades mecânicas semelhantes e durabilidade aprimorada. Há potencial para aumentos significativos na resistência à compressão e na durabilidade.
De Matos <i>et al.</i> , 2022 e Díaz <i>et al.</i> , 2017	Cimento - LC ³ (calcined clay limestone cement) -cimento com calcário e argila caulinítica calcinada	Boa proteção à armadura, excelente resistência à penetração de cloretos, boa mitigação da reação álcali-agregado com agregados reativos e bom desempenho na presença de sulfatos, comparável ao de outros cimentos com adições minerais.
Parashar and Bishnoi, 2021	Cimento - LC ³ (calcined clay limestone cement)-cimento com calcário e argila caulinítica calcinada	Destacam-se proporções idênticas (30%, 15% e 5%) de filler de argila calcinada, filler de calcário e gesso ou filler de escória de alto-forno, substituindo o clínquer. A composição LC3 apresenta desempenho mecânico aos 90 dias em comparação com as demais.
Lothenbach <i>et al.</i> , 2008	Cimento - LC ³ (calcined clay limestone cement) -cimento com calcário e argila caulinítica calcinada	A argila caulinítica contribuiu para aumentar a durabilidade e as resistências inicial e final do concreto. O carbonato de cálcio reage com os aluminatos do metacaulim, formando monocarboaluminatos (Mc) e hemicarboaluminatos (Hc) em vez de monossulfatos, estabilizando a etringita e preenchendo os vazios.
Arruda Junior, Braga, Barata, 2023	Cimento - LC ³ (calcined clay limestone cement) -cimento com calcário e argila caulinítica calcinada	Observou-se que a substituição de 60% do clínquer por argilas cauliníticas e calcário (na proporção de 1:1) resultou em cimentos com potencial de uso em segmentos do mercado de autoconstrução. Verificou-se que os cimentos LC3 apresentaram desempenho mecânico satisfatório com substituição de até 50% do clínquer.

Uso de Resíduo Caulínítico em Substituição Parcial a Cal em Argamassa de Restauo

No estudo desenvolvido por Loureiro *et al.* (2020) foi avaliada a compatibilidade mineralógica, física e mecânica entre argamassas históricas e argamassas de restauração de cal, utilizando-se metacaulim produzido a partir do resíduo industrial da região amazônica.

Os autores relatam que o uso de argamassa produzida com cimento Portland para restauros de edificações históricas não tem apresentado resultados satisfatórios, pois apresenta baixa permeabilidade, módulo de elasticidade alto e contribui para a introdução de sais solúveis nas estruturas. Dessa maneira, não há uma compatibilidade entre o material antigo com o de restauro. Considerando que na região Norte, em particular no estado do Pará, existem patrimônios históricos datados do século XVIII e XIX, percebe-se a oportunidade da utilização da argamassa de cal com resíduos do caulim, para melhorar o desempenho da argamassa de restauração.

Resultados apresentados no estudo de Loureiro *et al.* (2020) apontam que o uso do metacaulim proveniente de resíduo industrial melhorou a trabalhabilidade e diminuiu a retração por secagem das argamassas de restauro. Já no estado endurecido, a argamassa desenvolvida apresentou uma boa durabilidade e pigmentação natural. Foi observado também que a argamassa não tende a apresentar danos futuros aos materiais históricos, sobretudo pela boa compatibilidade entre as matrizes. A boa compatibilidade foi verificada pela comparação da mineralogia, resistência mecânica, porosidade aberta, coeficiente de capilaridade e taxa de secagem, contribuindo assim, nas trocas gasosas e redução da umidade característica, importantes para o seu desempenho.

Além disso, a argamassa de restauro com o metacaulim, segundo os autores, apresentou maior resistência às intempéries, atendendo particularidades da região Norte, em que há estações com chuvas prolongadas, características dos trópicos úmidos. Em concordância, Faria (2018) observou ganhos no desempenho mecânico ao se substituir uma porcentagem de cal por argila caulinítica em argamassas de restauro.

Nota-se então que o resíduo gerado do beneficiamento do caulim possibilita vantagens quando utilizados para fabricação de produtos da construção civil, e há possibilidades para outros estudos devido as suas características pozolânicas e redução de emissões carbônicas, conforme levantamento feito e descrito na Tabela 5.

Tabela 5

Trabalhos de referência sobre argamassas produzidas com resíduos caulíníticos.

Autores	Possibilidades para construção civil	Resultados
Menezes <i>et al.</i> , 2009	Argamassas para alvenaria	Resíduos calcinados foram adicionados como substitutos parciais do cimento em revestimentos de argamassa. Eles aumentaram a resistência após 28 dias de cura em até 150%. Em sua condição natural, os resíduos apresentam baixa atividade pozolânica, enquanto, após a calcinação, indicam níveis de atividade superiores aos exigidos pelas normas.
Azerêdo, 2012	Pastas e argamassas de cal	O resíduo foi utilizado em seu estado natural como agregado miúdo em argamassas e como pozolana, após ser peneirado e calcinado. Ambos foram considerados satisfatórios.
Dias, 2010	Argamassas para assentamento e revestimento	Resíduos de caulim, quando calcinados a temperaturas superiores a 700 °C, apresentam elevada atividade pozolânica e são adequados para uso como adição em argamassas, no que diz respeito ao desempenho mecânico.

Sedimentos do Rio Amazonas

Os sedimentos são partículas sólidas que se desprendem das rochas e são levados pelos ventos e chuvas para os rios. Esses materiais, compostos geralmente por silte e argila, reciclam-se anualmente e percorrem desde Óbidos (PA) até Macapá, ao longo do rio Amazonas, conferindo-lhe a coloração marrom das águas. De acordo com Cárdenas (2015), a formação desses minerais é resultado do processo de sedimentação e erosão, principalmente originário da região dos Andes. Estimativas de Laraque *et al.* (2005) indicam que a quantidade de sedimentos pode variar entre 10 e 560 t. km⁻².ano⁻¹ entre as águas claras, negras, brancas e barrentas.

Adicionalmente, o desmatamento na região amazônica aumenta o volume de sedimentos que chega aos rios, intensificando o assoreamento. Nos últimos 30 anos, os deltas dos rios ao redor do mundo reduziram em média 54 quilômetros quadrados (km²) por ano devido ao assoreamento (Nienhuis *et al.*, 2020). O assoreamento da foz do Rio Amazonas é um problema que impacta a logística de produtos e de pessoas na região Norte, uma vez que o transporte fluvial é o principal meio de deslocamento.

Diante disso, Pimentel e Paes (2020) utilizaram sedimentos do Rio Amazonas na produção de argamassas de revestimento. Os autores obtiveram ganhos no desempenho mecânico (compressão e aderência à tração), além de redução na absorção de água capilar. Os resultados indicam que o sedimento é um agregado promissor para utilização em argamassas de revestimentos.

Prospecção Tecnológica

As patentes levantadas pela busca no banco de dados Derwent Innovation são apresentadas na Tabela 6. Observa-se que a pesquisa resultou em apenas sete (7) patentes, indicando que boa parte dos estudos realizados não avançam ao estágio de transferência de tecnologia para a sociedade. Além disso, nota-se que as patentes levantadas se enquadram nas áreas de cosméticos (2), alimentos (3), Engenharia (2) e biotecnologia (1). As duas patentes vinculadas à engenharia não são do escopo da subárea de construção civil.

Tabela 6

Patentes encontradas em pesquisa na base de dados Derwent Innovation.

Numeros de Patentes	Descrição
BR102021006608A2	Bala de goma: produto feito a partir de gelatina extraída de peles de peixe.
BR102017021835A2	Tintas à base de sedimento amazônico e seu processo de produção.
EP3995128A1	Obtenção de ingredientes bioativos para a preparação de composições cosméticas, mediante a extração de tais ingredientes a partir de espécies vegetais. Os referidos ingredientes bioativos são obtidos por meio de um processo de extração com água subcrítica, parametrizado para extrair compostos bioativos de diferentes espécies e partes de plantas.
BR102012029499A2	Extrato com atividade proteolítica para a produção de queijo, obtido a partir do basidioma do fungo <i>*Pleurotus florida*</i> cultivado em substrato orgânico da Amazônia.
BRPI0605843B1	Produção de farinha de pupunha a partir da desidratação do fruto com casca.
BR102015028831A2	Processo de produção de micro inseticidas à base de fungos amazônicos para o controle do <i>*Aedes aegypti*</i> .
BRPI0910088A2	Elemento filtrante à base de sementes de açaí, para filtros de decoloração destinados ao tratamento de água

Dentre os resíduos utilizados na elaboração das patentes pode-se citar: a pele de peixe, ingredientes bioativos extraídos da água com espécies de plantas, solos da Amazônia, casca da pupunha, fungos da Amazônia e o caroço de açaí, já destacado e discutido anteriormente. As patentes levantadas foram todas protegidas por grupos brasileiros, destacando-se o Instituto Nacional De Pesquisas Da Amazônia (Inpa) e a Universidade Federal do Pará (UFPA).

Diante do exposto, nota-se a lacuna existente no setor da construção civil, uma vez que, apesar de pesquisas científicas estarem em pleno desenvolvimento, não alcançam maiores níveis de maturidade. Acredita-se que a distância ainda presente entre a academia e a indústria

dificultam a consolidação de iniciativas promissoras, ainda que em escalas de prototipagem ou simulação.

Conforme visto no item 3.1, na Figura 4, a UFPA apresenta-se como a instituição com maior número de pesquisas a respeito do tema. Deste modo, entende-se que a aproximação entre a indústria local e a Universidade Federal do Pará seria de grande vantagem para o desenvolvimento sustentável da região.

CONCLUSÃO

Diante dos impactos ambientais inerentes às atividades do setor da construção civil, torna-se crucial a busca por alternativas sustentáveis que minimizem esses efeitos. Nesse contexto, a incorporação de resíduos em processos produtivos surge como uma estratégia promissora, viabilizando a criação de novos materiais e reduzindo significativamente os danos ao meio ambiente.

Entre os principais resíduos identificados neste trabalho, com potencial de aplicação na indústria da construção civil, destacam-se o caroço de açaí, os sedimentos gerados pelo aumento do assoreamento dos rios amazônicos e os resíduos da mineração do caulim. A reinserção desses materiais em ciclos produtivos não apenas confere uma destinação nobre a resíduos que seriam descartados, mas também traz benefícios ambientais e econômicos, especialmente em regiões onde esses recursos são abundantes.

No entanto, o levantamento bibliográfico e tecnológico realizado revelou um número ainda limitado de estudos e patentes relacionados ao tema, indicando um vasto campo de exploração e pesquisa. Essa lacuna ressalta a oportunidade de desenvolver soluções inovadoras que integrem resíduos amazônicos à construção civil, alinhando desenvolvimento tecnológico à sustentabilidade e à valorização dos recursos locais, no qual, acredita-se que as fibras vegetais possuem um alto potencial de utilização.

REFERÊNCIAS

Afonso, M. H. F., Souza, J. V., Ensslin, S. R., & Ensslin, L. (2011). Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo ProKnow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. *RGSA: Revista de Gestão Social e Ambiental*, 5(2), 47–62.

- Alam, P., & Ahmade, K. (2013). Impact of solid waste on health and the environment. *International Journal of Sustainable Development and Green Economics*, 2, 165–168.
- Amazonas. (2017). *Lei nº 4.457, de 12 de abril de 2017*. Governo do Estado do Amazonas.
- Andrade, C., Mynrine, V., Silva, D. A., Mayer, S. L. S., Simetti, R., & Marchiori, F. (2016). Compósito para a construção civil a partir de resíduos industriais. *Matéria*, 21(2), 321–329.
- Andrade Neto, J. S., França, M. J. S., Amorim Júnior, N. S., & Ribeiro, D. V. (2021). Effects of adding sugarcane bagasse ash on the properties and durability of concrete. *Construction and Building Materials*, 266, 120959.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
- Arruda Junior, E. S., Braga, N. T. S., & Barata, M. S. (2023). Life cycle assessment to produce LC³ cements with kaolinitic waste from the Amazon region, Brazil. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01729.
- Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA). (2019). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019*. São Paulo. <https://www.abrema.org.br/panorama/>
- Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA). (2022). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022*. São Paulo. <https://www.abrema.org.br/panorama/>
- Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA). (2024). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024*. São Paulo. <https://www.abrema.org.br/panorama/>
- Azerêdo, A. F. N. (2012). *Estudo do resíduo de caulim em argamassas a base de cal quanto às suas propriedades frescas, endurecidas e microestruturais* [Tese de doutorado em Engenharia Civil]. Universidade Federal de Pernambuco.
- Barbosa, A. D. M., Rebelo, V. S. M., Martorano, L. G., & Giacon, V. M. (2019). Caracterização de partículas de açaí visando seu potencial uso na construção civil. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 24, e12435.
- Batalha-Vieira, L., Francioso, V., Mariani, B. B., Moro, C., Barbosa, J. D. V., Cardoso, L. S. P., Dias, C. M. R., & Velay-Lizancos, M. (2023). Valorization of marble waste powder as a replacement for limestone in clinker production: Technical, environmental and economic evaluation. *Sustainability*, 15, 13902.
- Bayulken, B., & Huisingh, D. (2015). A literature review of historical trends and emerging theoretical approaches for developing sustainable cities (part 1). *Journal of Cleaner Production*, 109, 11–24.
- Brasil. (2002). *Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002*. Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- Brasil. (2010). *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília, DF.

- Braga, de Sales, N. T., Junior, E. S. A., & Barata, M. S. (2023). Produção de cimentos de baixo impacto ambiental: Perspectivas para a região amazônica. *Novos Cadernos NAEA*, 26(2).
- Cunha-Silva, Y., Dias, D., Pereira, L. F. R., Pereira, C. V. L., Lima, E. S., Yamaguchi, K. K. D. L., & Veiga-Junior, V. F. D. (2024). Enhancing the extraction of phenolic antioxidants from Amazonian assai (*Euterpe oleracea* Martius) fruit waste through response surface methodology optimization. *Biomass*, 4(2), 402–413.
- Da Silva, M. R. C., Malacarne, C. S., Longhi, M. A., & Kirchheim, A. P. (2021). Valorization of kaolin mining waste from the Amazon region (Brazil) for the low-carbon cement production. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00756.
- De Cordeiro, L. N. P., Paes, I. N. L., Souza, P. S. L., & Azevedo, C. M. (2019). Caracterização da cinza de caroço de açaí residual para adição ao concreto. *Ambiente Construído*, 19, 45–55.
- De Matos, P. R., Neto, J. S. A., Sakata, R. D., Campos, C. E. M., Kirchheim, A. P., & Rodriguez, E. D. (2022). Effect of superplasticizer addition time and metakaolin source on the early-age hydration of limestone calcined clay cement (LC3). *Materials and Structures*, 55(8), 218. <https://doi.org/10.1617/s11527-022-02049-w>
- De, S., & Debnath, B. (2016). Prevalence of health hazards associated with solid waste disposal – A case study of Kolkata, India. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 201–208.
- Díaz, Y. C., Berriel, S. S., Heierli, U., Favier, A. R., Machado, I. R. S., Scrivener, K. L., Hernandez, J. F. M., & Habert, G. (2017). Limestone calcined clay cement as a low-carbon solution to meet expanding cement demand in emerging economies. *Development Engineering*, 2, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.deveng.2017.06.001>
- Dias, S. L. (2010). *Incorporação de resíduos de caulim em argamassas de assentamento e revestimento para uso em construção civil: Avaliação da atividade pozolânica* [Dissertação de mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais]. Universidade Federal de Campina Grande.
- Diniz, C., Marinho, R., Cortinhas, L., Sadeck, L., Walfir, P., Shimbo, J., Rosa, M., & Azevedo, T. (2022). *Nota técnica sobre os sedimentos em suspensão na Bacia do Tapajós* (25 p.). MapBiomass.
- Do Nascimento, K. F. S., & Oliveira, T. M. C. (2018). Aproveitamento das cinzas de caroço de açaí na produção de concreto sustentável analisando sua durabilidade. In *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC), 2018, Maceió. Anais* (pp. 1–5). CONTECC.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2024). *Balanço Energético Nacional*. Ministério de Minas e Energia.
- Engels, M. E., & Smidt, E. C. (2023). *Maxillaria luizotavioi* (Orchidaceae: Maxillariinae): A new species from the Oriental Brazilian Amazon. *Nordic Journal of Botany*, 2023(4), e03815.

- Ensslin, L., Ensslin, S. R., Lacerda, R. T. O., & Tasca, J. E. (2010). *ProKnow-C, knowledge development process constructivist: Processo de análise sistêmica*. [S. n.].
- Ferreira, R. S., Silva, I. A., Silva, R. F., Viana, F. M. P. C., Pereira, M. S., & Rodrigues, E. C. (2018). Análise das propriedades mecânicas do concreto permeável com incorporação de sementes de açaí. In *Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 3., 2018. Anais*.
- Freitas, M. A. B., Magalhães, J. L. L., Carmona, C. P., Arroyo-Rodríguez, V., Vieira, I. C. G., & Tabarelli, M. (2021). A intensificação do manejo do açaí empobrece em grande parte as assembleias de árvores na floresta estuarina amazônica. *Biological Conservation*, 261, e109251.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2023). *Produção de açaí (cultivo)*. Brasília. <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/acai-cultivo/pa>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2024). *Monitoramento da cobertura e uso da terra*. Brasília. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html>
- Jornal da Universidade de São Paulo. (2024). USP é a 92ª melhor universidade do mundo no QS World University Ranking. *Jornal USP*. São Paulo. <https://jornal.usp.br/institucional/usp-e-a-92a-melhor-universidade-do-mundo-no-qs-world-university-ranking/>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications.
- Labaran, H. Y., Mathur, V. S., Muhammad, S. U., Shehu, U., & Musa, S. U. (2022). Carbon footprint management: A review of construction industry. *Cleaner Engineering and Technology*, 9, e100531.
- Laraque, A., Filizola, N., & Guyot, J. (2005). Variations spatio-temporelles des bilans sédimentaires dans le bassin amazonien brésilien, à partir d'un échantillonnage décadaire. In *IAHS Scientific Assembly, 7., 2005, Foz do Iguaçu. Proceedings*. IAHS.
- Lemos, M. A. Q., & Pimentel, M. A. S. (2020). Mineração e desastres ambientais com rejeitos de bauxita e caulim no município de Barcarena, Pará, Brasil e Amazônia. *Territorium*, 137–156. <https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/8501>
- Lima, E. C. S., Manhães, L. R. T., Santos, E. R., Feijó, M. B. S., & Oliveira, A. U. (2021). Optimization of the inulin aqueous extraction process from the açaí (*Euterpe oleracea*, Mart.) seed. *Food Science and Technology*, 41, 884–889.
- Lima, S. J. D., Silva, R. M. E., Cruz, T. C. S., Bezerra, R. R. R., Borges, Q. F., Lisboa, G. E., Pena, H. W. A., Souza, M. J. R., & Mourão, V. F. (2024). Práticas sustentáveis de logística reversa aplicadas na área de construção civil: Uma revisão sistemática da literatura. *GeSec: Revista de Gestão e Secretariado*, 15(2), e3514.

- Lothenbach, B., Le Saout, G., Gallucci, E., & Scrivener, K. (2008). Influence of limestone on the hydration of Portland cements. *Cement and Concrete Research*, 38(6), 848–860. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.01.002>
- Loureiro, A. M. S., Paz, S. P. A., Veiga, M. R., & Angélica, R. S. (2020). Assessment of compatibility between historic mortars and lime-metakaolin restoration mortars made from Amazon industrial waste. *Applied Clay Science*, 198, e105843.
- Marinas, L. F. B., Freitas, M. C., Vieira, J. H. A., Rabelo, A. A., & Neto, E. F. (2014). Incorporação da cinza do caroço de açaí em formulações de cerâmica estrutural. In *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT)*, 21., 2014, Cuiabá. *Anais*. Cuiabá.
- Menezes, R. R., Neves, G. A., Souza, J., Melo, W. A., Ferreira, H. S., & Ferreira, H. C. (2009). Atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13, 795–801.
- Nienhuis, J. H., Ashton, A. D., Edmonds, D. A., Hoitink, A. J. F., Kettner, A. J., Rowland, J. C., & Törnqvist, T. E. (2020). Global-scale human impact on delta morphology has led to net land area gain. *Nature*, 577, 514–518.
- Parashar, A., & Bishnoi, S. (2021). Hydration behavior of limestone-calcined clay and limestone-slag blends in ternary cement. *RILEM Technical Letters*, 6, 17–24.
- Pereira, A. B. M., Vimeiro, G. V., Castro, S. R., Camargos, B. H. L., & Galéry, R. (2024). A reciclagem de resíduos sólidos na construção civil. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, 18(1), 60–69.
- Pimentel, M. G., & Paes, I. N. L. (2020). Análise microestrutural de argamassa de revestimento com substituição parcial do agregado natural por sedimento do Rio Amazonas. *Ambiente Construído*, 20(3), 319–330.
- Rocha, J. H. A., Siqueira, A. A., Oliveira, M. A. B., Castro, L. S., Caldas, L. R., Monteiro, N. B. R., & Toledo Filho, R. D. (2022). Circular bioeconomy in the Amazon rainforest: Evaluation of açaí seed ash as a regional solution for partial cement replacement. *Sustainability*, 14(21), e14436.
- Scrivener, K., Martirena, F., Bishnoi, S., & Maity, S. (2018). Calcined clay limestone cements (LC3). *Cement and Concrete Research*, 114, 49–56.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). *The role of business in moving from linear to circular economies*. UNEP.
- UNEP, Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2–26.
- Universidade Federal do Pará (UFPA). (n.d.). *Site oficial*. Pará. <https://ufpa.br/>

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). (2024). UFRJ é eleita a quinta melhor universidade da América Latina e Caribe. <https://prefeitura.ufrj.br/2024/10/ufrj-e-eleita-a-quinta-melhor-universidade-da-america-latina-e-caribe/>

Vieira, L. B. (2022). *Avaliação do uso de resíduo de mármore Bege Bahia como substituto do calcário na produção de clínquer e como material carbonático para cimento Portland* [Tese de doutorado em Gestão e Tecnologia Industrial, Universidade SENAI CIMATEC]. Salvador.