


GESTÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: O POTENCIAL DA LAMA VERMELHA COMO ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL

WASTE MANAGEMENT IN CIVIL CONSTRUCTION: THE POTENTIAL OF RED MUD AS A SUSTAINABLE STRATEGY

GESTIÓN DE RESIDUOS EN LA CONSTRUCCIÓN CIVIL: EL POTENCIAL DEL LODO ROJO COMO ESTRATEGIA SOSTENIBLE

 <https://doi.org/10.56238/arev7n7-271>

Data de submissão: 22/06/2025

Data de publicação: 22/07/2025

Adonay Saráty de Carvalho

Instituição: Universidade Federal do Pará

E-mail: adonaysaraty@gmail.com

João Carlos Lisboa de Lima

Instituição: Universidade Federal do Pará

E-mail: joaocarloslisboadelima@hotmail.com

Willian Jorge Rodrigues Amaral

Instituição: Universidade Federal do Pará

E-mail: willian.amaral@itec.ufpa.br

Sabino Alves de Aguiar Neto

Instituição: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

E-mail: eng.sabinoneto@gmail.com

Wladimir Rafael de Matos Lamarão

Instituição: Universidade Federal do Pará

E-mail: wladimirlamarao@gmail.com

Marcelo Martins Farias

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

E-mail: marcelo.farias@ifpa.edu.br

Celestina Lima de Rezende Farias

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

E-mail: celestina.rezende@ifpa.edu.br

Aedjota Matos de Jesus

Instituição: Universidade Federal de Rondônia

E-mail: aedjota.jesus@unir.br

Danusa Mayara de Souza

Instituição: Universidade Federal do Pará

E-mail: danusa@ufpa.br

Elielson Oliveira de Sousa

Instituição: Universidade Federal do Pará

E-mail: elielsonsousa@yahoo.com.br

Robson da Silva Fernandes

Instituição: Universidade Federal do Pará

E-mail: robson.engcivil34@gmail.com

Williams Jorge da Cruz Macêdo

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

E-mail: williams.macedo@ufra.edu.br

Paulo Sérgio Mota dos Santos Junior

Instituição: Universidade Federal do Pará

E-mail: paulosergiomotta2@hotmail.com

Bianca Jefres Lima de Sousa

Instituição: Universidade Federal do Pará

E-mail: jefresbianca@gmail.com

Elsimar Souza Santos

Instituição: Universidade Federal do Pará

E-mail: elsimar.santos@itec.ufpa.br

Alcebiades Negrão Macêdo

Instituição: Universidade Federal do Pará

E-mail: anmacedo@ufpa.br

RESUMO

A construção civil é uma das atividades que mais consomem recursos naturais e geram resíduos sólidos, impactando negativamente o meio ambiente. Entre os mais desafiadores está a lama vermelha, subproduto do beneficiamento da bauxita na produção de alumina, que apresenta alta alcalinidade e grande volume de geração. Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre as práticas de gestão de resíduos na construção civil, com ênfase na sustentabilidade e no potencial de reaproveitamento da lama vermelha como matéria-prima alternativa. São discutidas as legislações vigentes, a classificação dos resíduos e as possibilidades de reutilização da lama vermelha na fabricação de materiais como tijolos, concretos e agregados sintéticos. Os resultados apontam que, apesar dos desafios técnicos, o uso da lama vermelha na construção civil representa uma estratégia promissora para a promoção da economia circular, redução do impacto ambiental da mineração e mitigação do uso de matérias-primas convencionais.

Palavras-chave: Construção Civil. Resíduos Sólidos. Lama Vermelha. Sustentabilidade. Reciclagem.

ABSTRACT

Civil construction is one of the activities that consumes the most natural resources and generates solid waste, negatively impacting the environment. Among the most challenging wastes is red mud, a byproduct of bauxite processing in alumina production, which is highly alkaline and generated in large volumes. This article presents a literature review on waste management practices in civil construction, with an emphasis on sustainability and the potential reuse of red mud as an alternative raw material.

The current legislation, waste classification, and possibilities for reusing red mud in the production of materials such as bricks, concrete, and synthetic aggregates are discussed. The results indicate that, despite technical challenges, the use of red mud in civil construction represents a promising strategy for promoting a circular economy, reducing the environmental impact of mining, and mitigating the use of conventional raw materials.

Keywords: Civil Construction. Solid Waste. Red Mud. Sustainability. Recycling.

RESUMEN

La construcción civil es una de las actividades que más recursos naturales consume y que más residuos sólidos genera, impactando negativamente al medio ambiente. Entre los residuos más desafiantes se encuentra el lodo rojo, subproducto del procesamiento de la bauxita en la producción de alúmina, caracterizado por su alta alcalinidad y su gran volumen de generación. Este artículo presenta una revisión bibliográfica sobre las prácticas de gestión de residuos en la construcción civil, con énfasis en la sostenibilidad y el potencial de reutilización del lodo rojo como materia prima alternativa. Se discuten las legislaciones vigentes, la clasificación de los residuos y las posibilidades de reutilización del lodo rojo en la fabricación de materiales como ladrillos, concretos y agregados sintéticos. Los resultados señalan que, a pesar de los desafíos técnicos, el uso del lodo rojo en la construcción civil representa una estrategia prometedora para promover la economía circular, reducir el impacto ambiental de la minería y mitigar el uso de materias primas convencionales.

Palabras clave: Construcción Civil. Residuos Sólidos. Lodo Rojo. Sostenibilidad. Reciclaje.

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil configura-se como um dos pilares fundamentais da economia brasileira, caracterizando-se com uma das cadeias produtivas com maior expressividade em termos de impacto socioeconômico (Oliveira *et al.*, 2020; Batista, 2022).

A indústria da construção civil distingue-se pela significativa heterogeneidade de materiais empregados, bem como pela marcante diversificação em seus processos e produtos finais. Essa complexidade inerente ao setor demanda a aplicação sistemática de metodologias gerenciais especializadas, com ênfase particular nos aspectos de planejamento estratégico, controle de processos, avaliação de desempenho operacional e gestão de custos (Pinto *et al.*, 2014).

Contudo, por sua capacidade de provocar mudanças na paisagem, consumo de recursos naturais e produção de resíduos, este setor configura-se como uma atividade potencialmente degradante ao ambiente, seja através da extração de matérias-primas ou pela disposição inadequada de resíduos sólidos (Silva *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2020).

A expressiva geração de sólidos da construção civil tem como principal fonte as perdas materiais ocorridas em canteiros de obras, decorrentes de ineficiência nos processos executivos durante as etapas construtivas (Kochen, 2016). A implementação de medidas para mitigar os impactos ambientais decorrentes das atividades no setor da construção civil é imperativa, dada a considerável quantidade de resíduos descartados e os transtornos resultantes, de acordo com Oliveira e Mendes (2008). Diversas abordagens são empregadas para lidar de maneira eficiente com essa problemática nesse setor, abrangendo desde legislações específicas até estratégias logísticas inovadoras.

O gerenciamento de resíduos deve ser concebido como um conjunto sistemático de ações operacionais que visam a minimização da sua geração em empreendimentos ou atividades específicas. Nesse contexto, o gerenciamento está intrinsecamente ligado à implementação de estratégias e programas que promovem a redução, reutilização e reciclagem.

Para Jacob e Besen (2011), torna-se cada vez mais claro que a implementação de padrões sustentáveis na produção e consumo, aliada a uma gestão apropriada dos resíduos, pode resultar em uma redução significativa dos impactos negativos sobre o meio ambiente e a saúde. Neste contexto, a gestão de RCC é uma prática essencial para minimizar os impactos ambientais, promover a sustentabilidade e atender às exigências legais.

Por outro lado, segundo Silva *et al.* (2015), a implementação completa da logística reversa no setor de construção civil parece estar um pouco distante, uma vez que ainda existem desafios na efetivação dos fluxos diretos. Logo, é necessário estabelecer processos para a gestão e reciclagem de resíduos da construção é evidente, assim como a adoção de técnicas mais avançadas para a geração e

conservação de energia, a coleta de águas pluviais e a implementação de sistemas que assegurem a qualidade do ar no interior das edificações. Essas considerações estão cada vez mais presentes na mentalidade dos construtores, que buscam aprimorar a qualidade de seus empreendimentos.

2 FUNDAMENTAÇÃO NORMATIVA

No contexto brasileiro, a Lei nº 12.305/2010, que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece as diretrizes para a disposição adequada no país, promovendo a reciclagem e incentivando práticas sustentáveis, assim como debate sobre a responsabilidade daqueles que geram os materiais descartados e sobre o papel do poder público. Paralelamente, a Resolução nº 307/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), delineia responsabilidades tanto para os geradores quanto para os municípios, estabelecendo as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão.

Ademais, essa legislação ainda caracteriza a Logística Reversa como um mecanismo de desenvolvimento econômico e social que compreende um conjunto de ações, procedimentos e recursos destinados a facilitar a coleta e o retorno de resíduos sólidos ao setor empresarial (Mazur, 2015). Essa devolução pode ocorrer para aproveitamento em seu próprio ciclo produtivo ou em outros ciclos, visando ao reaproveitamento, ou para outra destinação final que seja ambientalmente adequada.

Atualmente, os setores legalmente obrigados a realizar a Logística Reversa (LR), conforme estabelecido pela (PNRS), incluem: pneus, pilhas e baterias, agrotóxicos, óleos lubrificantes, produtos eletroeletrônicos e seus componentes, lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio e mercúrio, e de luz mista, outros produtos e embalagens, sujeitos à avaliação técnica e econômica (da Silva, 2019).

Dado que a crescente geração de resíduos provenientes da construção civil tornou-se uma preocupação significativa, tanto no que diz respeito à sua destinação quanto aos impactos ambientais associados, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) emitiu, no ano de 2004, uma série de normas específicas relacionadas aos resíduos da construção civil, reafirmando essa definição de maneira análoga a disposta na Resolução CONAMA nº 307/2002:

- NBR 15112/2004
- NBR 15113/2004
- NBR 15114/2004
- NBR 15115/2004
- NBR 15116/2004

Para estabelecer um gerenciamento adequado dos RCC, é essencial realizar previamente a caracterização dos resíduos a serem gerados. Esse conhecimento orienta a definição das demais fases do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), abrangendo a segregação, o acondicionamento, o transporte, assim como o tratamento dos resíduos e a disposição final dos rejeitos. A apresentação desse plano é necessária para garantir a conformidade com a legislação em vigor.

A Resolução CONAMA nº 307/2022 também determina a classificação dos resíduos com base em critérios como tipo, origem, composição química e periculosidade, conforme indicado no Tabela 1.

Tabela 1– Classificação dos resíduos de construção civil.

CLASSIFICAÇÃO	TIPOLOGIA
Classe A	Reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
Classe B	Recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
Classe C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
Classe D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Fonte - Resolução CONAMA nº 307 de 2002.

Torna-se necessário que ocorra a segregação adequada dos resíduos sólidos nos locais de origem é um elemento crucial para viabilizar a reutilização e a reciclagem, conforme estabelecido por esta resolução. Mediante este cenário, tem-se que a ausência de um eficaz gerenciamento dos materiais na construção civil pode resultar no aumento dos custos, uma vez que o desperdício se torna uma prática onerosa, conforme estabelece Júnior *et al.* (2018). Diante do exposto, os resíduos da construção civil deverão ser destinados conforme o Tabela 2.

Tabela 2 – Destinação dos resíduos de construção civil.

CLASSIFICAÇÃO	DESTINAÇÃO
Classe A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

Classe B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
Classe C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;
Classe D	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte - Resolução CONAMA nº 307 de 2002.

A principal preocupação atual em relação à geração desses resíduos concentra-se na sua destinação, uma vez que, no Brasil, é comum essa prática ocorrer de maneira irregular, envolvendo a deposição em vias públicas, terrenos baldios e margens de rios, entre outras áreas (Ladeira *et al.*, 2014). Simultaneamente, o descarte de recursos passíveis de reciclagem ou reutilização desempenha um papel significativo no aumento do consumo de recursos e na expansão do volume de aterros (Kochem, 2016). Contudo, para Tessaro *et al.* (2012), apesar da importância da destinação adequada dos resíduos gerados, é imprescindível que sejam realizadas ações que visem à sua redução nas fontes geradoras (construções, demolições e reformas em prédios ou residências).

2.1 GESTÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Kochem (2016) afirma que a indústria da construção civil possui considerável potencial para aproveitar resíduos provenientes de outros setores, oferecendo uma alternativa para absorver diversos tipos de resíduos gerados não apenas por ela própria, mas também por outras fontes. Para de Sousa (2021), contribuir com a redução da geração de resíduos provenientes da construção civil, é crucial adotar precauções desde o início da obra. Isso inclui a atenção especial durante a elaboração de projetos, o armazenamento adequado dos materiais para prevenir quebras, aprimoramento na qualidade de produtos e serviços, uma supervisão efetiva da obra com verificações regulares do esquadro e qualidade dos materiais utilizados, entre outros aspectos.

A integração de práticas sustentáveis na construção representa uma tendência em crescimento no mercado. Sua adoção é considerada como um caminho irreversível, uma vez que diversos intervenientes, incluindo governos, consumidores, investidores e associações, incentivam e pressionam o setor da construção a incorporar tais práticas em suas atividades.

Neste cenário, a implementação de práticas sustentáveis na construção civil, como a adoção da logística reversa (instrumento de política pública na gestão dos resíduos sólidos), representa uma abordagem viável para reduzir desperdícios, mitigar a geração de resíduos, incrementar a produtividade e a qualidade das obras, ao mesmo tempo em que minimiza os impactos adversos ao meio ambiente (Pinto *et al.*, 2023). A logística reversa busca proporcionar uma destinação apropriada aos resíduos que completaram seu ciclo de vida, reintegrando-os ao mercado por meio de práticas

como reciclagem ou reutilização, conforme estabelece Fonseca *et al.* (2019). Esta prática da reciclagem de resíduos emergiu como um procedimento de deslocamento de componentes em direção à sua destinação final, com a intenção de otimizar a cadeia de valor e recuperar valores, concentrando-se na efetiva disposição adequada dos materiais.

Na prática, de acordo com Santos *et al.* (2018), os resíduos não precisam necessariamente passar por processos de reciclagem para serem empregados na construção. Algumas das possíveis opções incluem: assentamento de batentes, preenchimento de rebocos internos ou degraus de escadas, drenagem de floreiras e pátios de estacionamento, reparo e emenda de alvenarias, concretos de piso para abrigos de automóveis leves, bem como vigas e pilares de concreto com baixa solicitação.

Sendo assim, a prática da logística reversa na construção civil revelou-se uma ferramenta fundamental para a redução dos impactos ambientais, a diminuição do consumo de recursos naturais e a mitigação do volume de resíduos descartados. Além disso, configura-se como um mecanismo crucial para o desenvolvimento social, econômico e sustentável, promovendo o surgimento de novas oportunidades de negócios, proporcionando retorno financeiro para as empresas envolvidas e preservando o meio ambiente para as gerações futuras, de acordo com Fonseca *et al.* (2019).

2.2 A LAMA VERMELHA COMO ALTERNATIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.2.1 Contexto Da Mineração De Bauxita E Geração Da Lama Vermelha

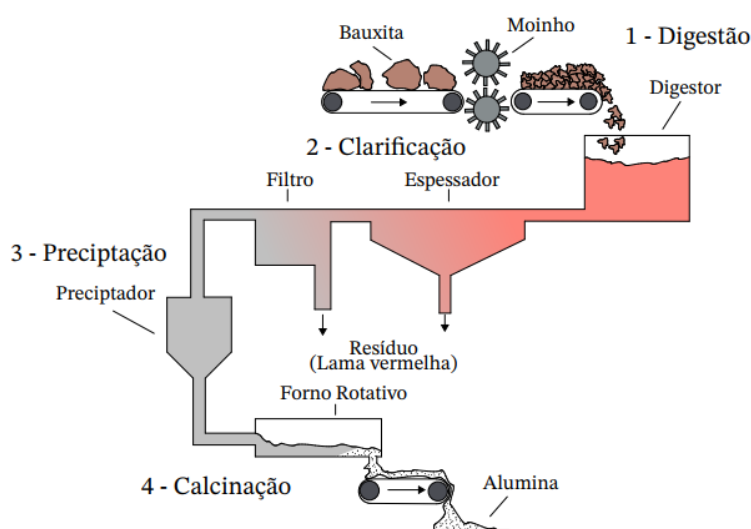
Mundialmente, o alumínio é o metal mais utilizado devido às suas excelentes propriedades, como leveza e alta resistência. Portanto, sua demanda tem aumentado continuamente devido às suas diversas aplicações em setores como: construção civil, eletrônico, automobilístico e aeroespacial, de acordo com Raghubanshi (2022).

A relevância econômica do setor mineral em termos agregados é significativa. O Brasil ocupa a décima primeira posição no ranking global de produtores de alumínio primário. No que diz respeito ao beneficiamento de bauxita (figura 1), o país se encontra na quarta posição, seguindo Austrália, China e Guiné. Além disso, é o terceiro maior produtor de alumina (Silveira, 2021). No Estado do Pará, que se destaca como principal pólo minerador na Amazônia, a contribuição do setor mineral é marcante, representando 40% das exportações e correspondendo a 12% do Produto Interno Bruto (PIB) estadual (Da Cunha Junior, 2022).

O minério empregado na produção de alumínio metálico é a bauxita, composta principalmente por diversas formas de hidróxido de alumínio, além de conter algumas impurezas de ferro e silício, de acordo com Antunes *et al.* (2011). A produção final do produto envolve a extração da rocha, que passa por processos de moagem e lavagem para atingir uma granulometria e limpeza adequadas.

Posteriormente, a rocha é submetida a um tratamento químico para extrair a alumina, este processo é principalmente conduzido por meio do Sistema Bayer (de Souza Villar, 2002). Este processo se baseia no princípio de que os hidratos de alumínio são muito solúveis em soda cáustica, não ocorrendo o mesmo com os outros óxidos constituintes da rocha, suas principais etapas envolvem: (1) digestão da bauxita, (2) clarificação do licor cáustico, (3) precipitação do hidrato de alumínio e (4) calcinação deste para a obtenção da alumina (Alves, 2021), conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema do processo Bayer.



Fonte: Silva Filho, 2007.

Portanto, o processo inicial envolve a dissolução da bauxita em soda cáustica, resultando em um aluminato de sódio em um ambiente com temperatura e concentração controladas. Nesse processo, um resíduo sólido é gerado, composto por diversos óxidos. Através da hidrólise, a alumina hidratada original da rocha é recuperada. Os resíduos da soda são descartados, e a alumina passa por etapas de secagem e calcinação para eliminar a água de cristalização (de Souza Villar, 2002). Ainda neste processo, os resíduos sólidos insolúveis, em sua maioria, transformam-se em uma lama fina conhecida como lama vermelha, originada da desagregação do constituinte aluminoférrico da bauxita. A coloração avermelhada se deve à predominância dos óxidos de ferro.

Conforme mencionado Antunes *et al.* (2011), este processo envolve a exploração da propriedade dos hidróxidos de alumínio presentes na bauxita, que se dissolvem em uma solução de hidróxido de sódio. Durante esse procedimento, as espécies que contêm alumínio são dissolvidas, originando um licor verde que desempenha um papel crucial na produção de alumina. Alves (2021) afirma que essa etapa envolve o refino da bauxita com o objetivo de produzir alumina, que é o óxido

de alumínio em sua forma pura. A alumina é a principal matéria-prima utilizada na produção de alumínio metálico por meio do processo de redução eletrolítica.

Para Lima (2006), a indústria de alumina tem empreendido esforços significativos para mitigar o impacto provocado pela disposição da lama vermelha. Essas iniciativas incluem ações como a redução do volume de pasta de lama destinado à deposição, a diminuição da quantidade de soda cáustica encaminhada à deposição, o desenvolvimento de técnicas aprimoradas para a recuperação e reabilitação das áreas de deposição, e a minimização do potencial impacto ambiental.

2.2.2 Desafios Ambientais e Técnicos da Lama Vermelha

Um dos principais desafios enfrentados pela indústria de beneficiamento de bauxita está relacionado à busca por uma destinação ambientalmente adequada para o resíduo resultante do processo de clarificação, conhecido como lama vermelha, e por essa razão, de acordo com Raghubanshi (2022), a maior parte do setor de alumina/alumínio tem enfrentado problemas significativos para reduzir, reciclar e utilizar esse resíduo alcalino para convertê-lo em riqueza.

Esse desafio decorre da necessidade de grandes extensões de terras para alocar esse resíduo, além do custo significativo associado ao tratamento dessas áreas, especialmente nas lagoas de deposição (Da Cunha Junior, 2022). A lama produzida geralmente é transportada até uma barragem e, na sequência, pode passar por um processo de desidratação e secagem para reduzir seu volume e custos de manutenção (Silveira, 2021). Embora não seja intrinsecamente tóxica, torna-se uma preocupação ambiental significativa devido ao seu volume considerável gerado nas instalações de alumina e à sua natureza cáustica.

As diversas classificações quanto à toxicidade da lama vermelha estão associadas às distintas metodologias de ensaios de avaliação utilizadas, bem como à variabilidade da composição química deste resíduo. Essa composição pode diferir de acordo com o tipo de tratamento (como o processo Bayer) ou a origem do bauxito. Em termos gerais, a lama vermelha é geralmente considerada um resíduo perigoso devido à presença de metais pesados em sua composição química e à sua elevada corrosividade, de acordo com Manfroí (2012). Corroborando esta informação, tem-se ainda a ABNT NBR 10004:2004, a qual também classifica a lama vermelha como pertencente à classe I – resíduo perigoso, em decorrência da sua periculosidade relacionadas às propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas (ABNT, 2004).

Ademais, apesar da Resolução CONAMA nº 452/2012, não abordar explicitamente esse material, a lama vermelha se enquadra no anexo III como resíduo corrosivo. Esse tipo de resíduo pode causar danos significativos quando entra em contato com tecidos vivos. Além disso, é considerado um

resíduo ecotóxico, uma categoria designada para resíduos que podem provocar efeitos tóxicos à biota se forem liberados no meio ambiente.

Segundo Ribeiro (2012), a lama vermelha constitui um resíduo sólido originado no processo de beneficiamento da bauxita. Trata-se de um material complexo, cuja composição química e mineralógica apresenta considerável variação, dependendo da origem da bauxita e dos parâmetros específicos do processo tecnológico de produção. Cabe ainda ressaltar que, a qualidade da jazida de bauxita utilizada influencia diretamente na quantidade de lama vermelha gerada, bem como o teor de sólidos com que esta é lançada, que está diretamente ligado ao tipo de disposição adotada (Silva Filho, 2007).

Algumas das complexidades associadas à logística reversa da lama vermelha estão principalmente ligadas às suas características químicas e mineralógicas, devido à diversidade de minerais presentes em sua composição (Da Cunha Junior, 2022). A composição química deste material varia de acordo com a qualidade da bauxita e o processo de produção da alumina, sendo assim, a lama vermelha pode conter minerais que não se dissolvem no processo Bayer, como os óxidos e hidróxidos de alumínio, óxidos e hidróxidos de ferro. Considerando a baixa eficiência de utilização abrangente da lama vermelha e a procura urgente de recursos metálicos valiosos, é de grande importância recuperar metais valiosos deste rejeito (Pan, 2023).

2.3 APLICAÇÕES DA LAMA VERMELHA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os materiais compósitos à base de lama vermelha apresentam propriedades altamente promissoras, abrindo possibilidades para diversas aplicações, especialmente nos setores da construção civil, indústria automotiva e química (Alves, 2021). Suas propriedades mecânicas superiores às dos materiais constituintes das matrizes contribuem para essa versatilidade. De acordo com Santos (2011), várias empresas têm direcionado investimentos para pesquisa e tecnologia com o objetivo de viabilizar a reutilização dos resíduos gerados em seus processos produtivos. Essa abordagem visa criar produtos reciclados de qualidade, passíveis de serem reintegrados à cadeia produtiva, promovendo maior eficiência no sistema e reduzindo os custos associados à disposição final dos subprodutos.

A busca por alternativas de reciclagem que sejam tanto ambientalmente quanto economicamente viáveis inclui diversas aplicações para a lama vermelha. Essas aplicações abrangem seu uso como adsorvente para a remoção de cádmio, zinco, arsênio, flúor, chumbo e cromo em soluções aquosas (Ribeiro, 2012). Além disso, a lama vermelha pode ser empregada como componente em materiais de construção, como tijolos, cerâmicas, telhas e esmaltes. Contudo, ao aplicar a lama vermelha em matrizes cimentícias, é essencial levar em consideração suas interações com os metais

pesados para que não ocorra alteração em algumas propriedades dos materiais cimentícios. Neste contexto, de acordo com Da Cunha Junior (2022), estudos mais recentes têm apontado o potencial da lama vermelha na fabricação de agregados sintéticos de granulação mais elevada. Esses agregados sintéticos poderiam ser utilizados como substitutos dos agregados convencionais na produção de concreto.

A utilização da lama vermelha como material de construção comum é sugerida como uma alternativa que promove elevadas taxas de consumo. No entanto, é importante destacar que o uso inadequado desse resíduo pode acarretar sérias patologias em argamassas de revestimento, podendo resultar até mesmo no descolamento do revestimento cerâmico, devido ao processo expansivo associado à reação álcalis-sílica (RAS). Portanto, a aplicação consciente e controlada da lama vermelha nessas diversas frentes é crucial para garantir benefícios ambientais sem comprometer a integridade das estruturas e materiais envolvidos. Para Silveira (2021), a utilização de resíduos ou matérias-primas secundárias na construção é essencial para enfrentar a diminuição das matérias-primas primárias e promover a economia circular.

Por um longo período, a lama vermelha foi classificada como um resíduo sem aproveitamento viável para a indústria do alumínio. No entanto, os custos econômicos e os riscos ambientais associados à disposição da lama vermelha têm impulsionado empresas e pesquisadores a buscar alternativas ambientalmente mais seguras, conforme estabelece Silva Filho (2007).

As abordagens de reciclagem da lama vermelha para utilização em outros setores foram evidenciadas, dentre elas: fabricação de cimento, tijolos e cerâmicas. Portanto, tem-se que o setor de construção civil pode ser uma excelente opção para utilizar este rejeito, quando pode-se misturar ao cimento, polímeros ou cerâmicas. estudos indicam que a lama vermelha pode ser usada na fabricação dos materiais citados anteriormente, além de promover melhorias relacionadas a durabilidade e resistência à compressão (Raghubanshi, 2022).

O ano de 1990 representa um marco, sendo o primeiro ano em que ocorreram pesquisas científicas, fora da China, sobre a síntese de materiais compósitos a partir de resíduos de bauxita, com o trabalho pioneiro conduzido por Khazanchi e Saxena (1990) desenvolveram um compósito de matriz polimérica, baseado em fibra de sisal, tendo a lama vermelha como material de enchimento da matriz, para ser utilizado na fabricação de telhas residenciais leves, de modo a permitir uma substituição economicamente viável das telhas de amianto.

Durante a década de 2000, Prasad (2006) desenvolveu e caracterizou o primeiro material compósito de matriz metálica fabricado a partir de lama vermelha. O autor do estudo também conduziu a caracterização do compósito produzido. Posteriormente, Gök *et al.* (2007) conduziram a síntese de

um compósito utilizando lama vermelha e polianilina. Além disso, realizaram análises para determinar as propriedades elétricas e a estabilidade térmica do compósito.

Durante a década de 2010, ocorreram diversos avanços significativos no estudo dos materiais compósitos sintetizados a partir da lama vermelha. He *et al.* (2013) conduziram a síntese e caracterização de compósitos utilizando lama vermelha e cinzas de casca de arroz. Por sua vez, Abbasi *et al.* (2016) realizaram a síntese, processamento, caracterização e estudo das aplicações de materiais compósitos envolvendo lama vermelha e nanotubos de carbono.

Recentemente, Taye *et al.* (2021) realizaram a síntese de um material compósito utilizando cinzas volantes e lama vermelha, reforçado com fibras de cânhamo, e conduziram uma análise de suas propriedades mecânicas. Os resultados obtidos indicam que o teor de fibra reforçadora é de 9% em volume. Esses resultados sugerem que este material compósito é dúctil e representa uma excelente alternativa para uso em construção.

Um avanço significativo realizado no Brasil, no contexto do estudo do aproveitamento de resíduos de bauxita para a síntese de materiais compósitos, foi o trabalho conduzido por Oliveira *et al.* (2010). Nesse estudo, os pesquisadores realizaram a síntese de materiais compósitos anfifílicos com propriedades magnéticas, os quais eram constituídos por partículas de Fe e Fe₃O₄ envoltas por nanotubos e nanofibras de carbono. A lama vermelha e o etanol foram utilizados como matérias-primas na produção desses materiais. Os estudos conduzidos por Oliveira *et al.* (2010) são reconhecidos como a primeira pesquisa no mundo a envolver a síntese de materiais compósitos baseados em lama vermelha e nanomateriais de carbono, como nanofibras e nanotubos. Para Alves (2021) vários estudos com resultados promissores têm sido feitos, de modo a maximizar as eficiências de extração de elementos valiosos dos resíduos de bauxita, de modo que vários desses processos extrativos possuem potencial de aplicação em escala industrial.

Mediante a este cenário, tem-se que o Brasil desempenha um papel crucial na geração de lama vermelha. Dada a magnitude desse volume, é imperativo implementar diversas aplicações para evitar a acumulação desse resíduo. Nesse contexto, os produtos destinados à construção civil surgem como excelentes alternativas (Silveira, 2021). A valorização de resíduos industriais, especialmente quando representam uma parcela significativa, requer cuidados nos parâmetros de processamento para assegurar que os produtos finais atendam aos requisitos de utilização. Para o Brasil, um dos principais produtores globais de lama vermelha, aprimorar essas práticas torna-se fundamental.

3 CONCLUSÃO

A gestão de resíduos na construção civil é um dos principais desafios para a sustentabilidade do setor, especialmente diante do volume de rejeitos gerados e da escassez de soluções ambientalmente adequadas para sua destinação. Entre os resíduos industriais com potencial de reaproveitamento, a lama vermelha destaca-se por suas propriedades físico-químicas e pelo elevado volume produzido anualmente.

A análise realizada demonstra que sua aplicação como matéria-prima alternativa na construção civil, em especial na produção de agregados, concretos e componentes cerâmicos, podendo contribuir significativamente para a mitigação de impactos ambientais, a redução da demanda por recursos naturais e o fortalecimento de práticas de economia circular.

No entanto, sua utilização requer controle técnico rigoroso e avanços na normatização e caracterização do material, a fim de garantir segurança e desempenho adequados. Assim, o aproveitamento da lama vermelha representa uma estratégia viável e promissora para integrar sustentabilidade e inovação tecnológica no setor da construção.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, Saloumeh Mesgari *et al.* Synthesis, processing, characterization, and applications of red mud/carbon nanotube composites. *Ceramics International*, v. 42, n. 15, p. 16738-16743, 2016.
- ALVES, Ivo Chaves Souza. Uso e aproveitamento dos resíduos de bauxita no Brasil: uma revisão sobre perspectivas. 2021.
- ANTUNES, M. L. P.; CONCEIÇÃO, FT da; NAVARRO, G. R. B. Caracterização da lama vermelha brasileira (resíduo do refino da bauxita) e avaliação de suas propriedades para futuras aplicações. In: *International Workshop Advances in Cleaner Production*. 2011.
- BATISTA, Marcelo Lopes. Gestão de resíduos na construção civil: ênfase no desenvolvimento sustentável Waste management in civil construction: emphasis on sustainable development. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 4, p. 23356-23373, 2022.
- DA CUNHA JUNIOR, Adiel José Passos; COSTA, Dênis Carlos Lima; MACÊDO, Alcebíades Negrão. Análise sistemática da literatura sobre o uso do rejeito de lama vermelha para a produção de agregados sintéticos leves. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, p. e12211527624-e12211527624, 2022.
- DA SILVA, Ayane Maria Gonçalves; PIMENTEL, Márcio Sampaio. Logística reversa na construção civil: um estudo de caso sobre o gerenciamento dos resíduos de construção civil e sua reintegração na cadeia de valor. *Refas-Revista Fatec Zona Sul*, v. 6, n. 2, p. 18-33, 2019.
- DE SOUSA, Élida Ferreira *et al.* SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO PELO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL. *Revista Mangaio Acadêmico*, v. 6, n. 1, p. 112-135, 2021.
- DE SOUZA VILLAR, Lúcio Flávio. Estudo do Adensamento e Ressecamento de Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita. 2002. Tese de Doutorado. PUC-Rio.
- FONSECA, Maria Julia M.; MAINTINGUER, Sandra I. Aplicação da logística reversa na construção civil como mecanismo ambiental sustentável em políticas públicas. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 1, p. 140-149, 2019.
- GÖK, Ayşegül; OMASTOVA, Maria; PROKEŠ, Jan. Synthesis and characterization of red mud/polyaniline composites: electrical properties and thermal stability. *European Polymer Journal*, v. 43, n. 6, p. 2471-2480, 2007.
- HE, Jian *et al.* Synthesis and characterization of red mud and rice husk ash-based geopolymer composites. *Cement and Concrete Composites*, v. 37, p. 108-118, 2013.
- JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estudos avançados*, v. 25, p. 135-158, 2011.
- JÚNIOR, Antônio Rodrigues Coelho *et al.* Importância do gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. *Research, Society and Development*, v. 7, n. 10, p. 11710437, 2018.

KHANZANCHI, A. C.; SAXENA, Mohini. Interfacial Phenomena of New Natural (Organic) Fibres in Polymer Matrix for Construction Engineering. In: Controlled Interphases in Composite Materials: Proceedings of the Third International Conference on Composite Interfaces (ICCI-III) held on May 21–24, 1990 in Cleveland, Ohio, USA. Springer Netherlands, 1990. p. 741-746.

KOCHEM, Keila *et al.* Potencialidades de logística reversa do resíduo de gesso da indústria da construção civil. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

LADEIRA, Rodrigo; VERA, Luciana Alves Rodas; TRIGUEIROS, Raphael Eysen. Gestão dos resíduos sólidos e logística reversa: um estudo de caso em uma organização do setor de construção civil. 2014.

LIMA, F. S. S. Utilização da lama vermelha e do resíduo caulínítico na produção de pigmento pozolânico para argamassas e concretos de cimento Portland. UFPA, Brazil, 2006.

MANFROI, Eliz Paula *et al.* Avaliação da lama vermelha como material pozolânico em substituição ao cimento para produção de argamassas. 2012.

MAZUR, Joyce. Resíduos sólidos da construção civil e a logística reversa no canteiro de obras vinculados à saúde e segurança do trabalhador. 2015.

OLIVEIRA, Aline AS *et al.* Magnetic amphiphilic composites based on carbon nanotubes and nanofibers grown on an inorganic matrix: effect on water-oil interfaces. Journal of the Brazilian chemical society, v. 21, p. 2184-2188, 2010.

OLIVEIRA, Edieliton Gonzaga de; MENDES, Osmar. Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da Resolução 307 do CONAMA. [http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/Arquivos Upload/36/file/Continua/GERENCIAMENTO% 20DE% 20RES% C3% 84DUOS% 20DA% 20CONSTRU% C3](http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/Arquivos Upload/36/file/Continua/GERENCIAMENTO%20DE%20RES%20C3%84DUOS%20DA%20CONSTRU%20C3), v. 87, p. C3, 2008.

OLIVEIRA, Larissa Jhennifer Conceição *et al.* Gestão de resíduos: uma análise sobre os impactos da geração de rejeitos na construção civil. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 5, p. 24447-24462, 2020.

PAN, Xiaolin *et al.* Recovery of valuable metals from red mud: A comprehensive review. Science of The Total Environment, p. 166686, 2023.

PINTO, Cynthia; SILVA, Simone. Análise do gerenciamento de resíduos da construção civil na cidade de Manaus, sob a perspectiva da sustentabilidade. Peer Review, v. 5, n. 12, p. 223-243, 2023.

PINTO, Janaina Antonino; LIMA JÚNIOR, Orlando Fontes. Aplicação do conceito de rede logística reversa na construção civil. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. 2014.

PRASAD, Naresh. Development and characterization of metal matrix composite using red Mud an industrial waste for wear resistant applications. 2006. Tese de Doutorado.

RAGHUBANSHI, Ashutosh Singh *et al.* Recycling and potential utilization of red mud (Bauxite Residue) for construction industry applications. 2022.

RIBEIRO, D. V. *et al.* Estudo das reações alcalis-sílica associadas ao uso da lama vermelha em argamassas colantes e de revestimento. *Cerâmica*, v. 58, p. 90-98, 2012.

SANTOS, Matheus Henrique Silva; MARCHESINI, Márcia Maria Penteado. Logística reversa para a destinação ambientalmente sustentável dos resíduos de construção e demolição (RCD). *Revista Metropolitana de Sustentabilidade* (ISSN 2318-3233), v. 8, n. 2, p. 67-85, 2018.

SILVA FILHO, Ernesto Batista da; ALVES, M. C. M.; DA MOTTA, M. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 12, p. 322-338, 2007.

SILVA, Otavio Henrique *et al.* Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, p. 39-48, 2015.

SILVEIRA, Nathália CG. *et al.* Red mud from the aluminium industry: production, characteristics, and alternative applications in construction materials—a review. *Sustainability*, v. 13, n. 22, p. 12741, 2021.

TAYE, Eyerusalem A. *et al.* Hemp fiber reinforced red mud/fly ash geopolymer composite materials: Effect of fiber content on mechanical strength. *Materials*, v. 14, n. 3, p. 511, 2021.

TESSARO, Alessandra Buss; SÁ, Jocelito Saccol de; SCREMIN, Lucas Bastianello. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. *Ambiente Construído*, v. 12, p. 121-130, 2012.