

A RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL *RECYCLING SOLID WASTE IN CIVIL CONSTRUCTION*

Ana Beatriz Mascarenhas Pereira, Doutora em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais.

tizamascarenhas@arq.ufmg.br

Gisele Vidal Vimeiro, Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais

giselevv@cefetmg.br

Samuel Rodrigues Castro, Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais

samuel.castro@ufjf.br

Bruno Henrique Lourenço Camargos, Mestre em Engenharia Civil, Universidade do Estado de Minas Gerais.

bruno.camargos@uemg.br

Roberto Galéry, Doutor em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais

rgalery@demin.ufmg.br

Resumo

Os eventos climáticos extremos observados sobretudo no século XXI evidenciam a necessidade urgente de mudança de hábitos. Na construção civil, a reciclagem de resíduos sólidos, por meio da logística reversa e responsabilidade compartilhada, é essencial. Esta prática reduz a pegada de carbono, promove a economia circular e melhora a sustentabilidade, combatendo a poluição e o esgotamento de recursos naturais. Este trabalho revisa experiências de reaproveitamento de vidro moído e tipos de plástico, especialmente os contaminados e não recicláveis, para criar um compósito utilizado na construção civil. Essa abordagem transforma resíduos em materiais úteis, contribuindo significativamente para a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Vidro; plástico; tecnologias; coprodutos; sustentabilidade.

Abstract

The extreme weather events observed especially in the 21st century highlight the urgent need to change habits. In civil construction, the recycling of solid waste, through reverse logistics and shared responsibility, is essential. This practice reduces the carbon footprint, promotes the circular economy and improves sustainability, combating pollution and the depletion of natural resources. This work reviews experiences of reusing ground glass and types of plastic, especially contaminated and non-recyclable ones, to create a composite used in construction. This approach transforms waste into useful materials, contributing significantly to environmental sustainability.

Keywords: Glass; plastic; technologies; co-products; sustainability.

1. Introdução

Publicado em março de 2023, o Sexto Relatório de Avaliação (AR 6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), indicou que o aumento e a intensidade de eventos climáticos extremos estão diretamente relacionados com as atividades humanas. O documento também ressalta que, a despeito da existência de uma pequena janela de oportunidade para mitigar esses efeitos, as chances de garantir um futuro habitável tornam-se cada vez mais escassas. A logística reversa, considerando a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos materiais e a promoção de novos hábitos de lidar com os resíduos, contribui para melhorar a pegada de carbono, refletindo diretamente nos indicadores de sustentabilidade.

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) cujas 169 metas estão relacionadas com questões ambientais, sociais e econômicas a serem implementadas até 2030. Neste sentido, a logística reversa, considerando a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos materiais e a promoção de novos hábitos de lidar com os resíduos, contribui para melhorar a pegada de carbono, refletindo diretamente nos indicadores de sustentabilidade, pois os resíduos sólidos urbanos também são responsáveis pelo lançamento de CO₂ na atmosfera.

Estima-se que em 2016 foram geradas 2,01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, e espera-se que este número atinja 3,4 bilhões de toneladas até 2050. Globalmente, cerca de 37% dos resíduos são descartados em algum tipo de aterro, 33% são despejados no meio ambiente, 19% são destinados e recuperados por meio de reciclagem e compostagem e 11% são incinerados [1].

Tendo em vista este fato e considerando que os recursos naturais estão cada vez mais limitados, a reciclagem e reaproveitamento de resíduos é cada vez mais urgente. A reutilização de resíduos sólidos urbanos, ou seja, o processo de transformação de materiais descartáveis em novos insumos e produtos vem ao encontro de práticas sustentáveis, diminuindo os danos ao meio ambiente e promovendo o desenvolvimento econômico.

O plástico, um material onipresente na vida cotidiana, apesar de sua versatilidade e baixo custo, é extremamente danoso ao meio ambiente. Aproximadamente dez mil produtos químicos estão relacionados aos plásticos, e pelo menos 2.400 são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. Desde a década de 1950, foram produzidas 8,3 bilhões de toneladas de plástico no mundo, das quais cerca de 79% acabaram em aterros ou foram descartadas no meio ambiente. Atualmente, segundo a *World Wide Fund for Nature*, a cada minuto um caminhão cheio de embalagens plásticas é despejado nos oceanos [2].

Além do plástico, o vidro também é um material reciclável e pode ser totalmente reciclado sem perder qualidade. A produção anual de vidro no mundo é de aproximadamente 130 milhões de toneladas. No entanto, estima-se que apenas 27 milhões de toneladas sejam recicladas, representando cerca de 21% da produção total de vidro [8].

Além do plástico, o vidro é também um material reciclável; na verdade, pode ser totalmente reciclado sem perder qualquer traço de sua qualidade original. Em todo o mundo, a produção anual de vidro é de aproximadamente 130 milhões de toneladas. No entanto, segundo a *Global*

Glass Recycling Alliance [9], estima-se que apenas 27 milhões de toneladas são recicladas, representando cerca de 21% da quantidade de vidro produzido.

O relatório da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA, 2023) aponta que cada brasileiro gerou, em média, 1,04 kg de resíduos sólidos urbanos¹ por dia, totalizando mais de 77 milhões de toneladas no ano de 2022 [10].

O presente trabalho procura, dessa maneira, apresentar uma revisão bibliográfica de algumas tecnologias desenvolvidas para utilização de plástico e vidro na fabricação de elementos da construção civil.

2. Procedimentos Metodológicos

Neste trabalho, conduziu-se uma revisão sistemática da literatura (RSL) por meio do método SREE (*Systematic Review for Engineering and Experiments*). Conforme observado por Galvão e Ricarte [11], esse método demonstra eficácia quando conduzido de acordo com protocolos específicos, visando compreender e organizar um amplo conjunto de documentos, com destaque especial quando se evidencia eficácia ou não em um contexto específico. De acordo com Azevedo *et al.* [12], para o método proposto (SREE), sugere-se a adequação da estruturação da RSL por meio da inclusão das etapas (1-3), a saber: 1. Planejamento da pesquisa; 2. Elaboração da pergunta de pesquisa; 3. Busca na literatura; 4. Seleção dos artigos; 5. Extração dos dados (artigos); 6. Avaliação da qualidade metodológica; 7. Síntese dos dados (metanálise); 8. Redação e publicação dos resultados.

Para a seleção dos manuscritos e a construção do conhecimento desejado nesta pesquisa, adota-se o *ProKnow-C* (*Knowledge Development Process - Constructivist*) [13], que envolve procedimentos para a escolha de artigos associados ao tema [12]. A seleção da estratégia de pesquisa, incluindo a escolha das palavras-chave, representa o ponto inicial e é uma das etapas mais cruciais. Uma decisão inadequada nesse passo pode ter um impacto significativo em todo o desdobramento da pesquisa. Para evitar tais desvios, é imperativo realizar uma análise preliminar.

Assim, concentrando-se em textos acadêmicos, a busca utilizou termos como “uso de materiais recicláveis na construção civil” ou “uso de resíduos sólidos na construção civil”, tanto em português quanto em inglês. No entanto, grande parte dos textos identificados estão na língua inglesa, visto que se trata de um tema muito pouco explorado no Brasil. A investigação teve lugar em 10 de fevereiro de 2024 e abrange artigos de qualquer tipo publicados no período entre 2019 e 2024, encontrados nas bases de dados *Science Direct*, *Scopus*, *Scielo* ou *Web of Science*, todas elas indexadas no site da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) [14]. Além disso, os resultados da RSL são ordenados por relevância e atribuídos apenas às áreas subjetivas à Engenharia.

¹ São denominados resíduos sólidos urbanos as sobras de determinados produtos das atividades doméstica e comercial das povoações, seja a embalagens, cascas ou outras partes do processo, que podem ser reutilizados ou reciclados.

3. Discussão

3.1 Aplicações

A reciclagem de resíduos sólidos urbanos diminui os impactos ambientais por não empregar matéria prima extraída diretamente da natureza e possibilita a abertura de uma variedade de postos de trabalho. Em países como Índia, Gana, Quênia, dentre tantos outros, a reutilização de materiais como vidro moído e determinados tipos de plástico é largamente aplicada na produção de elementos da construção, desde blocos de pavimentação a telhas [2,3,4].

O baixo índice de reciclagem dos dois materiais - vidro 21% e plásticos 9% em relação à produção de cada um [5,6] - as tecnologias para aplicação na construção civil são ainda muito incipientes. No presente trabalho, pretende-se apresentar uma revisão literária acerca de experiências realizadas para o reaproveitamento de vidro moído e de alguns tipos de plástico, sobretudo aqueles contaminados e que não podem ser reciclados, em um compósito a ser empregado como material na produção de materiais da construção civil.

O artigo de Perea *et al.* [5], *Cementless building materials made from recycled plastic and sand/glass: a review and road map for the future*², é também uma revisão da literatura sobre a tecnologia, desafios, qualidade e propriedades do compósito plástico-areia, para uso como material na produção de elementos de construção.

Os autores [5] destacam que as características das matérias-primas, como densidade, resistência e proporção, têm um impacto direto no resultado. Além disso, ressaltam a importância da limpeza e trituração da matéria-prima, que também influenciam o produto. Em suas experiências, alguns autores optaram por usar apenas plásticos "macios", como o polietileno de baixa densidade (PEBD) e o polipropileno (PP), enquanto outros utilizaram uma variedade de tipos, como polietileno de alta densidade (PEAD), politereftalato de etileno (PET), poliestireno (PS) e policloreto de vinila (PVC). Como já observado, fatores como presença de impurezas, dimensão das partículas e porcentagem também foram relevantes nos processos.

Os autores [5] utilizaram areias provenientes de fundição, naturais (lavadas) e vidro moído. Essas areias foram previamente classificadas por meio de análise de peneira, e suas proporções (em peso) variaram entre 10% e 85,7%.

Os processos empregados para a fabricação do material compósito compreenderam desde procedimentos bem rudimentares como a utilização de uma panela para derreter o plástico previamente triturado e, em seguida, adicionar a areia peneirada, até o uso de equipamentos como extrusora.

Alguns experimentos destacaram as propriedades mecânicas dos produtos. De acordo com Perera *et al.* [3], os tipos de plástico e as impurezas não afetaram a densidade ou a resistência do compósito. A resistência à compressão dos materiais produzidos assemelha-se à do concreto³ 20 ou 25 e é superior à dos típicos blocos de pavimentação feitos com areia de cimento Portland.

² “Materiais de construção sem cimento feitos de plástico reciclado e areia/vidro: uma revisão e um roteiro para o futuro”, tradução nossa.

³ 20 ou 25 é o número que expressa o Fck (do inglês, *Feature Compression Know*) traduzida para português como Resistência Característica do Concreto à Compressão. O concreto Fck 20 é normalmente empregado em meio agressivo fraco, normalmente em meio rural; o concreto Fck 25 é mais utilizado em meio urbano, indicado desde construções pequenas às grandes construções por sua resistência a agressividade moderada.

Os autores enfatizam que, quanto maior a proporção de carga e ligante, maior é a resistência à compressão do compósito, chegando a 80% de carga. As matérias-primas e produtos do compósito plástico-areia utilizados por Perera et al. [3] estão demonstrados na Figura 1.

Outro artigo considerado relevante para o tema, *Manufacturing of brick by waste plastic*, elaborado por Verma et al. [3], consiste na descrição dos materiais e métodos utilizados na fabricação de tijolos a partir de plástico e areia lavada. Esses autores [3] utilizaram polietileno de baixa densidade (LDPE), poliestireno (PS), polietileno de alta densidade (HDPE) e éter polifenileno (PPE) juntamente com areia nas proporções 1:1, 1:1.5, 1:3, por peso. O método usado consistiu em derreter o plástico em um recipiente e misturar a areia.

Após a secagem das amostras, foram conduzidos ensaios de compressão, absorção de água, eflorescência, dureza e solidez. Neste sentido foi constatado que a amostra com traço 1:1.5 tinha a maior resistência à compressão, bem como a menor absorção de água. Entretanto, não foram apresentados dados separados sobre os ensaios de eflorescência, dureza e solidez de cada amostra.

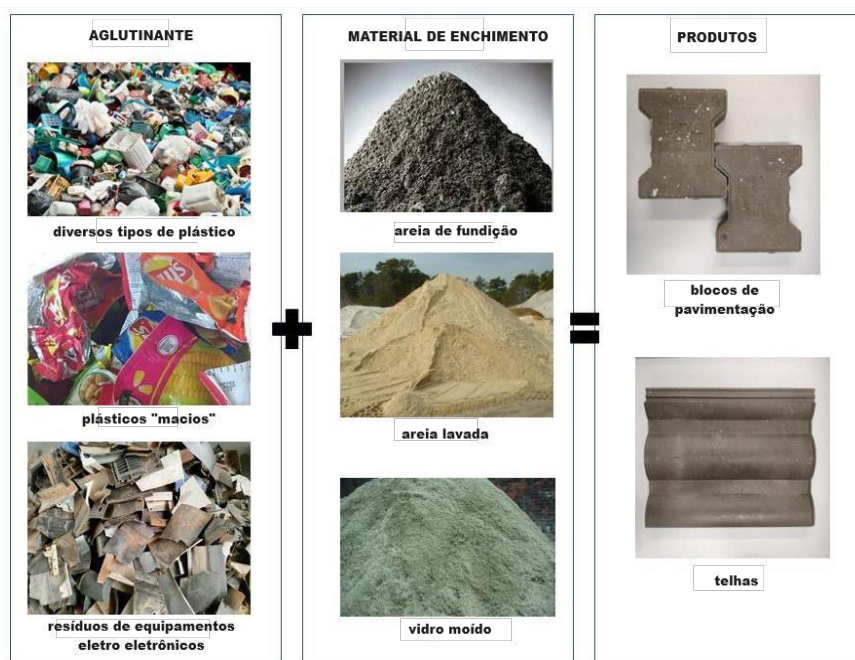


Figura 1: Matérias primas e produtos do compósito plástico-areia. Fonte: Perera et al., 2022 (modificado pelos autores).

Quando comparados com tijolos feitos de barro, os autores constataram que a resistência dos tijolos feitos a partir da mistura de plástico e areia (Figura 2) é 40% superior; e, em relação à absorção de água, cerca de 98% inferior. Os autores também destacam que os tijolos de plástico são mais econômicos e muito mais leves que os tijolos tradicionais, além de serem uma alternativa para a reutilização de plásticos.

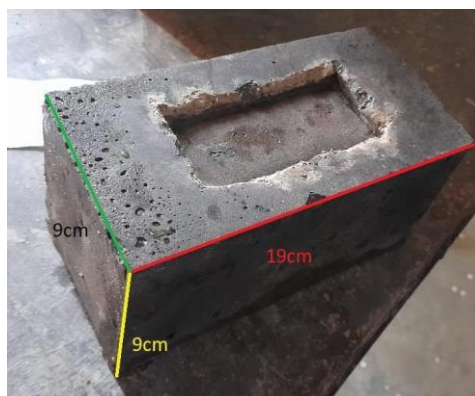


Figura 2: Tijolo feito de plástico e areia. Fonte: Verma *et al.*, 2022.

No trabalho de Chauhan *et al.* [4] intitulado *Fabrication and testing of plastic sand brick*⁴, bem similar ao anteriormente mencionado, utilizou plástico e areia em proporções diferentes para produção de tijolos (Figura 3). No entanto, apenas o plástico tereftalato de polietileno (PET) foi utilizado, misturado à areia em proporções de 1:2, 1:3 e 1:4.

Para a fabricação dos tijolos, as garrafas foram cortadas em pedaços e colocados no tambor para derreter; quando a temperatura atingiu entre 180°C e 200°C, a areia foi adicionada. As misturas foram colocadas em moldes e o período de secagem foi de 24 horas.



Figura 3: Tijolo de areia plástica após removê-lo do molde. Fonte: Chauhan *et al.*, 2019.

Após esse período foram realizados ensaios de resistência à compressão, de absorção de água, eflorescência e resistência ao fogo. Os resultados revelaram que a resistência à compressão das amostras, independente do traço, é elevada se comparada aos tijolos de barro convencionais (considerando o mesmo tamanho e peso); a absorção de água é bastante inferior - entre 0,9% e 4,5%, enquanto os tijolos de argila é cerca de 15% a 20% do peso do tijolo.

Contudo, a resistência ao fogo é apontada pelos autores como ainda inconclusiva, mas inicialmente os tijolos poderiam ser utilizados para caixas d'água, tanques e obras onde se prevê a contenção de água.

⁴ “Fabricação e teste de tijolos de areia plástica”, tradução nossa.

3.2. Resultados

Os ensaios conduzidos pelos autores mencionados, identificados por meio da RSL, revelaram melhorias gerais nas propriedades dos produtos finais. Por exemplo, o compósito de vidro moído e plástico demonstrou resistência à compressão superior à dos blocos feitos com cimento Portland. No entanto, os autores alertam para sua suscetibilidade a danos ambientais causados pela radiação ultravioleta, bem como sua baixa resistência ao fogo.

Por outro lado, tanto Verma *et al.* (2022) quanto Chauhan *et al.* (2019) destacam que, além da resistência à compressão, os tijolos também se destacam por serem mais leves e terem percentuais significativamente menores de absorção de água em comparação com os tijolos tradicionais feitos de barro.

Uma observação interessante feita por Verma *et al.* (2022) refere-se à abundância de resíduos de plástico em todo o mundo, tornando a reciclagem uma necessidade urgente. Nesse sentido, apesar de os diversos tipos de resíduos sólidos serem extremamente poluentes, sua utilização como matéria-prima na construção civil é não apenas viável, mas também crucial.

4. Considerações Finais

Em linhas gerais, o aumento contínuo do descarte de resíduos sólidos urbanos é um problema global. Além de afetar a saúde pública e o meio ambiente, esse cenário ressalta a necessidade urgente de soluções eficazes. No entanto, a reciclagem, embora vista como uma alternativa promissora, ainda é praticada de forma limitada. Neste trabalho, fez-se uma revisão sistemática da literatura a fim de identificar boas alternativas desenvolvidas para a utilização de plástico e vidro na fabricação de elementos da construção civil.

Fatores como a falta de cultura de reciclagem, políticas públicas inadequadas e fiscalização insuficiente contribuem para índices mínimos de reciclagem efetiva. Em um contexto de consumo crescente, com aumento na produção de embalagens, a quantidade de resíduos sólidos urbanos tende a se agravar.

A utilização de materiais como vidro moído e diversos tipos de plástico, amplamente disponíveis em todo o mundo, surge como uma alternativa sustentável em várias frentes. Além de reduzir a acumulação de resíduos em aterros e oceanos, essa prática minimiza as emissões de gases de efeito estufa e preserva os recursos naturais. Socialmente, ela cria novas oportunidades de emprego, enquanto economicamente contribui para um setor amplo e diversificado.

Referências

- [1] KAZA, Silpa; YAO, Lisa; BHADA-TATA, Perinaz; VAN WOERDEN, Frank. What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2018. Disponível em: <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>. Acesso em: 03, mar. 2024.
- [2] WORLD WIDE FUND FOR NATURE. **Plastics**, s/d. Disponível em: <https://www.worldwildlife.org/initiatives/plastics>. Acesso em: 23, jun. 2024.
- [3] PRADHA, S. Subha; SARANYA, K. Recycling plastic waste into construction materials for sustainability. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1210, 2023. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755->

[1315/1210/1/012016/pdf#:~:text=Various%20applications%20of%20the%20plastic,of%20reinforcement%20and%20infrastructure%20developments.](#) Acesso em: 21, mai. 2024.

[4] TULASHIE, Samuel Kofi; BOADU, Enoch Kofi; KOTOKA, Francis; MENSAH, David. Plastic wastes to pavement blocks: a significant alternative way to reducing plastic wastes generation and accumulation in Ghana. **Construction and Building Materials**, v. 241, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S245222362300010X>. Acesso em: 21, mai. 2024.

[5] WANGECI, Maryam. **Building from plastic waste: opportunities and limitations in Kenya**. 2023. 159f. Monografia (Bacharelado em Arquitetura) - Department of Architecture and Interior Design, Kenyatta University, Nairobi, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Maryam-Wangeci/publication/377850069_ARCHITECTURAL_THESIS-BUILDING_FROM_PLASTIC_WASTE_OPPORTUNITIES_AND_LIMITATIONS_IN_KENYA/links/65bb1f031bed776ae31b142f/ARCHITECTURAL-THESIS-BUILDING-FROM-PLASTIC-WASTE-OPPORTUNITIES-AND-LIMITATIONS-IN-KENYA.pdf. Acesso em: 22, mai. 2024.

[6] HARDER, Joachim. Glass recycling: current market trends. **Recovery: Recycling Technology Worldwide**, v.5, 2018. Disponível em: <https://www.recovery-worldwide.com/en/artikel/glass-recycling-current-market-trends-3248774.html>. Acesso em: 24, mai. 2024.

[7] UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Why aren't we recycling more plastic?** 2023. Disponível em: <https://stories.undp.org/why-arent-we-recycling-more-plastic#:~:text=Recycling%20rates%20vary%20by%20location,Some%2012%20percent%20are%20incinerated>. Acesso em: 24, mai. 2024.

[8] PERERA, Jude Shalitha; MENDIS, Priyan; BADUGE, Shanaka Kristombu; HASHEMI, Mahak. Cementless building materials made from recycled plastic and sand/glass: a review and road map for the future. **Electronic Journal of Structural Engineering**, v.22, n.3, p.56-63, out. 2022. Disponível em: <https://ejsei.com/EJSE/article/view/377>. Acesso em: 20, mar. 2024.

[9] VERMA, Anubhav; SRIVASTAVA, Abhay; RAY, Brijesh Kumar; YADAV, Deepak. Manufacturing of Brick by Waste Plastic. **International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering (IJERMCE)**, v. 9, n.6, jun. 2022. Disponível em: https://www.technoarete.org/common_abstract/pdf/IJERMCE/v9/i6/Ext_68459.pdf. Acesso em: 17, mar. 2024.

[10] CHAUHAN, S. S.; KUMAR, Bhushan; SINGH, Prem Shankar; KHAN, Abuzaid; GOYAL, Hritik; GOYAL, Shivank. Fabrication and Testing of Plastic Sand Bricks. In: International Conference on Computational & Experimental Methods in Mechanical Engineering, 2, 2019, GL Bajaj Institute of Technology and Management, Greater Noida, India. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. Disponível em: [Fabrication and Testing of Plastic Sand Bricks - IOPscience](#). Acesso em: 17, mar. 2024.

[8] ISWA. International Solid Waste Association. News. ISWA, 2024. Disponível em: <https://www.iswa.org/news/?v=19d3326f3137>. Acesso em: 23, mai. 2014.

- [9] GLASS RECYCLING COALITION. Webinars. Glass Recycling Coalition, 2024. Disponível em: <https://www.glassrecycles.org/webinars/>. Acesso em: 23 maio 2024.
- [10] ABREMA. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. **Panorama 2023**: Parte 1. ABREMA, 2023. Disponível em: https://www.abrema.org.br/pdf/Panorama_2023_P1.pdf. Acesso em: 23 maio 2024.
- [11] AZEVEDO, R. C. et al. **Systematic Review for Engineering and Experiments (SREE)**. In: Notes from the Research Methodology Course. Belo Horizonte, Brazil: 1st ed.; PPGE/CEFET-MG, 2022.
- [12] AFONSO, M. H. F. et al. Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo ProKnow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, vol. 5, no. 2, Feb. 2012. DOI: 10.5773/rgsa.v5i2.424.
- [13] AZEVEDO, R. C.; ENSSLIN, L.; JUNGLES, A. E. A Review of Risk Management in Construction: **Opportunities for Improvement**. **Modern Economy**, vol. 05, no. 04, pp. 367–383, 2014. DOI: 10.4236/me.2014.54036.
- [14] CAPES. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Acesso CAFE. Periódicos CAPES. Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php?>. Acesso em: 09 dez. 2023