



## INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CIGARRO EM PEÇAS CERÂMICAS EXTRUDADAS: UMA BREVE ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.IV-002>

Cássio Rangel Paulista(\*), Grazielle Muzy Pinto, Marcelo Gomes da Silva, Carlos Maurício Fontes Vieira  
\* LAMAV/PPGECM, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

### RESUMO

O cenário mundial é marcado pela crescente preocupação com a economia circular e a valorização dos mais diversos tipos de resíduos. Os resíduos sólidos mais comuns no mundo são o plástico e as guimbas de cigarro (GCs), sendo este o foco deste trabalho. Dentre as diversas propostas de reciclagem das GCs, destaca-se a sua incorporação em tijolos de cerâmica vermelha a fim de melhorar suas propriedades tecnológicas, tais como a redução de peso e condutividade térmica devido a criação de poros. O objetivo deste trabalho é realizar uma breve análise bibliométrica relacionando a incorporação de GCs em tijolos cerâmicos feitos por extrusão. A base de dados utilizadas para a busca foi o *Scopus*. Acerca dos resultados, não foram encontrados trabalhos que considerassem de forma específica a conformação mecânica por extrusão. No entanto, 21 artigos tiveram aderência com essa área do conhecimento, ainda que as amostras tenham sido prensadas ou moldadas. A revisão destes trabalhos promoveu um aprofundamento no estado da arte, fornecendo importantes dados acerca das propriedades tecnológicas, encapsulamento de metais pesados e emissões gasosas. A incorporação de GCs em tijolos extrudados é uma área que deve ser melhor explorada, se aproximando cada vez mais de um cenário de viabilidade técnica e econômica para aplicação industrial.

**PALAVRAS-CHAVE:** tijolos de cerâmica, reciclagem, bibliometria

### ABSTRACT

The world is marked by the growing concern with the circular economy and the valorization of different types of waste. The most common solid wastes in the world are plastic and cigarette butts (CBs), which is the focus of this study. Among the various proposals for recycling CBs, their incorporation into fired clay bricks stands out in order to improve their technological properties, such as weight reduction and thermal conductivity due to the creation of pores. The aim of this work is to carry out a brief bibliometric analysis relating the incorporation of CBs in ceramic bricks made by extrusion. The database used for the search was *Scopus*. Regarding the results, no studies were found that specifically considered the mechanical conformation by extrusion. However, 21 papers adhered to this area of knowledge, even though the samples were pressed or molded. The review of these papers promoted a better understanding of the state of the art, providing important data about the technological properties, encapsulation of heavy metals and gaseous emissions. The incorporation of CBs in extruded bricks is an area that should be better explored, approaching technical and economic feasibility for industrial application.

**KEY WORDS:** fired clay bricks, recycling, bibliometrics.



### INTRODUÇÃO

Estima-se que 10 bilhões de cigarros no mundo são descartados de forma inapropriada no meio ambiente (KIM *et al.*, 2023). Os cigarros podem ter cerca de 7000 componentes químicos, incluindo alguns tóxicos e cancerígenos (VENUGOPAL *et al.*, 2021). Isso causa uma preocupação especial quanto ao seu descarte, em função da presença de diversas substâncias tóxicas que permanecem aprisionadas nos filtros (TORKASHVAND *et al.*, 2020) e que possuem forte potencial de contaminação do meio ambiente.

No Brasil, 27,9 milhões de pessoas são fumantes e consomem cerca de 110 bilhões de cigarros por ano (ALVES *et al.*, 2022). Araújo e Costa (2019) afirmaram que 34 milhões de guimbas de cigarro (GCs) são descartadas na cidade de São Paulo/Brasil a cada dia. No Rio de Janeiro/Brasil, esse valor chega a aproximadamente 20 milhões de cigarros por dia. Silva *et al.* (2018) realizaram um estudo de caso em três praias do litoral do Rio de Janeiro/Brasil, e observaram que a GC foi o segundo resíduo com maior quantidade contabilizada por unidade, representando 26,7% do resíduo marinho encontrado na costa do mar, perdendo apenas para o plástico. Em uma recente pesquisa feita na América do Sul, algumas praias brasileiras situadas no Nordeste apresentaram as maiores dificuldades de gestão de resíduos após a pandemia do COVID-19, onde foram identificados grandes desafios no controle de bitucas de cigarro na areia (BOTERO *et al.*, 2023). Logo, faz-se necessária a urgente proposição de métodos adequados para a destinação final desse tipo de resíduo.

Em Campos do Goytacazes/RJ, segundo informações fornecidas pela equipe de Controle do Tabagismo da Secretaria de Saúde da cidade, há cerca de 30 000 fumantes no município, dentre adolescentes, jovens e adultos, representando cerca de 6% da população municipal. O consumo médio diário de cigarros se dá em torno de 20 unidades, correspondente a 1 carteira de cigarro. No entanto, foi relatado que em alguns casos, algumas pessoas consomem até 80 cigarros por dia. Considerando o valor médio de cigarros consumidos diariamente, e um peso aproximado de 0,2g por guimba de cigarro, há uma geração média de 600 000 GCs por dia em Campos dos Goytacazes. Isso corresponde a aproximadamente 3,6 toneladas de resíduo gerado mensalmente.

Em contrapartida, tem se tornado cada vez mais frequente a divulgação de estudos voltados para a incorporação de resíduos sólidos em cerâmica vermelha, indústria com grande volume de produção e com grande potencial de reaproveitamento de resíduos. Essa abordagem é interessante pelo fato das argilas – matéria-prima dos produtos de cerâmica vermelha – possuírem grande variabilidade em relação a sua composição. No entanto, comumente as pesquisas são realizadas com corpos-de-prova preparados por prensagem uniaxial, ainda que os tijolos cerâmicos sejam comumente fabricados em escala industrial por extrusão.

### OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é realizar um levantamento quantitativo dos trabalhos científicos publicados no mundo acerca da incorporação de GCs em peças cerâmicas conformadas por extrusão.

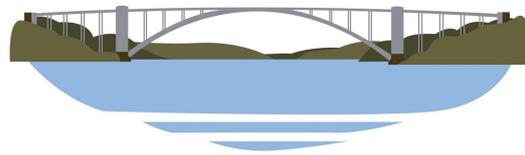
### METODOLOGIA

Foi realizada uma busca na base de dados *Scopus*, com corte temporal correspondente à criação da base. Foram definidos termos e tesauros envolvendo quatro áreas de conhecimento: cerâmica vermelha, incorporação de resíduos, GCs e extrusão. O operador “\*” foi utilizado para que fossem englobados termos no singular, plural, e em conjugações distintas.

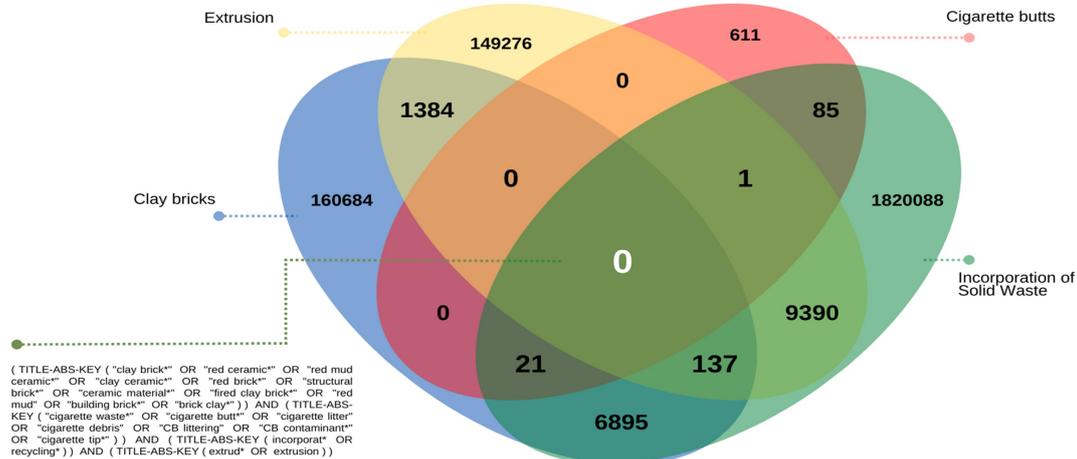
As buscas se restringiram aos títulos, resumos e palavras-chave dos trabalhos disponíveis na plataforma. O código completo de busca foi este: *TITLE-ABS-KEY ("clay brick\*" OR "red ceramic\*" OR "red mud ceramic\*" OR "clay ceramic\*" OR "red brick\*" OR "structural brick\*" OR "ceramic material\*" OR "fired clay brick\*" OR "red mud" OR "building brick\*" OR "brick clay\*") AND TITLE-ABS-KEY ("cigarette waste\*" OR "cigarette buti\*" OR "cigarette litter" OR "cigarette debris" OR "CB littering" OR "CB contaminant\*" OR "cigarette tip\*") AND TITLE-ABS-KEY (incorporat\* OR recycling\*) AND TITLE-ABS-KEY (extrud\* OR extrusion).*

### RESULTADOS

A Figura 1 apresenta um diagrama de *Venn*, demonstrando a quantidade total de artigos obtidos separados por área de conhecimento, bem como a relação entre essas áreas. Para elaborar este diagrama, foram utilizados os códigos de busca por área de conhecimento de forma isolada, e em seguida de forma conjunta, analisando a interseção de duas e, por fim,



três áreas de conhecimento. Pode-se perceber que não foram identificados trabalhos na intersecção das quatro áreas, ou seja, a pesquisa acerca da incorporação de GCs em cerâmica vermelha extrudada é inédita, uma vez que os artigos existentes prepararam os corpos-de-prova por prensagem (21 artigos). Estes, por sua vez, são um grupo seleto de pesquisas que podem fornecer informações cruciais e atualizadas sobre o tema, compondo o estado da arte da abordagem em questão.



**Figura 1: Diagrama de Veen com quantidades de trabalhos por área de conhecimento. Fonte: Autor do Trabalho.**

A Tabela 1 relaciona os periódicos que publicaram os 21 artigos identificados, bem como alguns indicadores. O fator de impacto e a avaliação Qualis, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) foram mostrados. Considerou-se que esses dois itens são significativos para os pesquisadores, em relação à escolha de um periódico para submissão de artigos. Além desses, foram acrescentados outros dois itens: ano de início das publicações e periodicidade. O primeiro informa há quanto tempo a revista científica mantém suas publicações. O segundo, quanto tempo em média a revista se dispõe a publicar um volume, fornecendo assim uma referência de eficiência no prazo de avaliação e publicação dos textos científicos.

**Tabela 1. Lista de periódicos que publicaram os 21 artigos identificados.**

Periódico	Fator de impacto	Qualis Capes Engenharias II	Ano de início da publicação dos volumes	Periodicidade (dias)
<i>Applied Clay Science</i>	5,907	A1	1985	15-30
<i>Materials</i>	3,748	A1	2008	15
<i>Waste Management</i>	8,816	A2	1983	15
<i>Journal of Material Cycles and Waste Management</i>	3,579	A2	2002	60
<i>Construction and Building Materials</i>	7,693	B1	1987	7
<i>Proceedings of Institution of Civil Engineers: Construction Materials</i>	1,290	B2	2006	60
<i>WSEAS</i>	0,650	-	2007	-
<i>Revista Ingenieria de Construccion</i>	-	-	2007	120



Dentre os 21 artigos identificados na intersecção de três áreas de conhecimento do Diagrama de *Venn*, alguns deles se destacam devido sua relevância, periódico em que foi publicado e atualização. Neste sentido, foi realizado uma breve descrição do estado da arte desta área. Isso é de extrema importância para se aprofundar neste escopo de conhecimento e compreender o que se tem estudado nos anos mais recentes, bem como quais lacunas ainda necessitam ser preenchidas.

Kadir *et al.* (2009) analisaram os efeitos da incorporação de até 10% em massa de GCs para fabricação de tijolos de cerâmica vermelha de peso reduzido. As propriedades tecnológicas analisadas foram a resistência à compressão e flexão, módulo de ruptura, taxa de absorção de água e densidade. O efeito da incorporação de 10% de GCs nos corpos de prova foram os seguintes: a densidade reduziu em aproximadamente 30% (2118 kg/m<sup>3</sup> para 1482 kg/m<sup>3</sup>); a resistência à compressão reduziu em 88% (25,65 MPa para 3,01 MPa); a resistência à flexão reduziu em 50% (2,48 MPa para 1,24 MPa); a absorção de água apresentada foi de 18%, enquanto que sem o uso de resíduo, o valor foi de 5%. Todos esses dados estão diretamente associados à formação de poros obtidas pela degradação do material orgânico do resíduo e liberação de gases durante a queima, e a conseqüente redução de densidade. Apesar dos resultados comprometerem algumas propriedades tecnológicas importantes, eles se mantiveram dentro das especificações locais exigidas.

Kadir e Mohajerani (2012) abordaram aspectos ambientais, especificamente a lixiviação de metais pesados, demonstrando o uso de três técnicas distintas. Os outros parâmetros de ensaio permaneceram inalterados, tais como taxa de incorporação, tempo de queima, temperatura de queima, taxa de aquecimento e formato dos corpos de prova. Foi possível constatar baixas concentrações de metais pesados (0,163 mg/l de arsênio, 0,197 mg/l de bário, 0,009 mg/l de cromo, 0,002 mg/l de chumbo, 0,383 mg/l de zinco, 0,009 mg/l de cobre e 0,008 mg/l de níquel). Os limites considerados foram estabelecidos pela Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency – USEPA), a saber: 5,0 mg/l de As; 1,0 mg/l de Se; 0,2 mg/l de Hg; 100,0 mg/l de Ba; 1,0 mg/l de Cd; 5,0 mg/l de Cr; 5,0 mg/l de Pb; 5,0 mg/l de Ag; 500,0 mg/l de Zn; 100 mg/l de Cu; 1,3 mg/l de Ni. Os autores atribuíram isso à alta temperatura de queima (1050°C) que pode ter convertido os metais contidos na massa argilosa em óxidos metálicos.

Kadir, Sarani e Leman (2014) estudaram o efeito da variação da taxa de aquecimento (1°C/min, 3°C/min e 5°C/min) nas propriedades tecnológicas das peças cerâmicas com 2,5% e 5,0% em massa de GCs. As propriedades analisadas foram a resistência à compressão, absorção de água e retração linear após a queima. A incorporação de 5% em massa de GCs, da forma como foi feita pelos autores, foi altamente prejudicial para a resistência à compressão. No entanto, queimas mais lentas promoveram uma menor redução nos valores dessa propriedade. A absorção de água aumentou drasticamente para as maiores taxas de aquecimento (36,9% para amostras com 5,0% de GCs e queima a 5,0°C/min). A retração linear após a queima aumentou com maiores taxas de incorporação de resíduo, porém reduziu para maiores taxas de aquecimento. Por fim, este estudo propôs uma taxa de aquecimento mais lenta (1°C/min) e incorporação de 2,5% em massa de GCs para se obter um desempenho ótimo de tijolos de cerâmica vermelha.

Soares *et al.* (2019) realizaram estudos de incorporação de 2,5% e 5% em massa de GCs em tijolos de cerâmica vermelha. O resíduo foi previamente triturado para passagem em peneira de 2mm. Os testes realizados avaliaram a resistência à compressão, densidade e absorção de água. Foi observada uma redução máxima de 77% na resistência à compressão (4,47 MPa para 1,05 MPa) e 13% na densidade (1545,55 kg/m<sup>3</sup> para 1340,11 kg/m<sup>3</sup>). A absorção de água aumentou de 19,91% para 27,85%. Os autores afirmaram que a aplicação com maior potencial seria na construção de paredes internas sem função estrutural.

Corredor, Guzmán e Torres (2020) analisaram o comportamento das propriedades físicas e mecânicas de peças de cerâmica vermelha prensadas a 0,92 MPa com 0%, 2,5%, 5% e 7,5% em massa de GCs incorporadas. Neste caso, os pesquisadores trituraram o resíduo, porém a granulometria não foi informada. A queima foi feita em três temperaturas distintas (800°C, 850°C e 900°C). A densidade reduziu drasticamente com o aumento de incorporação de resíduo comprometendo a possibilidade de utilização acima de 5% em massa de GCs. A absorção de água aumentou com o aumento do uso de resíduo, devido à alta porosidade observada no interior da matriz cerâmica. A resistência à compressão das amostras com 2,5% de GCs se manteve dentro dos padrões colombianos para aplicações específicas (18,85 MPa, representando uma queda de aproximadamente 1%, se comparado com as amostras sem resíduo). A resistência à flexão apresentou uma queda de 62% (3,39 MPa para 1,28 MPa) comparando as taxas de incorporação de 0% e 2,5% em massa de GCs e as análises de DRX mostraram que não houve alteração nas fases mineralógicas para os mesmos corpos-de-prova. Em seguida, os autores verificaram aspectos relativos à economia de energia durante a queima das peças cerâmicas.



Mohajerani *et al.* (2020) elaboraram um extenso artigo propondo diretrizes para implementação industrial do uso de GCs na fabricação de tijolos de cerâmica vermelha, seja pelo método manual ou automatizado, sendo este último o sugerido pelos autores como sendo o de implementação mais conveniente. Basicamente, três métodos foram sugeridos, a saber: uso das GCs sem modificações; uso das GCs triturada previamente; e uso das GCs de forma concentrada numa mistura anterior à fase de mistura da massa argilosa. Vale ressaltar que apesar de os autores terem proposto o uso do resíduo triturado, nenhuma pesquisa foi divulgada por eles que verificasse as propriedades tecnológicas, condutividade térmica, economia de energia, emissão de gases ou lixiviação com o resíduo neste formato. Além disso, os autores explanaram acerca dos equipamentos de proteção individual (EPI) mais apropriados dentro da proposta apresentada. Foi também discutido o problema do odor do resíduo, e algumas alternativas para o controle do mesmo, como por exemplo, o uso de radiação ultravioleta antes da mistura da massa argilosa. Outro ponto destacado por eles foram os sistemas de coleta das GCs, o que é uma questão importante a ser resolvida, assim como a forma mais segura de manuseio desse resíduo, desde a coleta até a incorporação nas peças cerâmicas.

Kurmus e Mohajerani (2021) incorporaram GCs em amostras cerâmicas nas proporções de 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0% em massa, avaliando a economia de energia, condutividade térmica e as propriedades microestruturais. O cálculo da economia de energia foi feito de modo diferente das pesquisas anteriores, medindo-se a amperagem e voltagem do forno durante a queima das amostras, e uma comparação de resultados entre o método de medição e o método de cálculo foi feita. Pelo método do cálculo, os corpos de prova cerâmicos com 2% em massa de GCs apresentaram 14,71% de economia de energia. Pelo método da medição, a economia foi de 13,30%. Vale ressaltar que esse experimento pode diferir de uma aplicação industrial em diversos aspectos. A condutividade térmica também foi determinada de forma experimental pelo método do fio quente. Os autores realizaram a medição do volume de poros, estabelecendo uma razão entre esse volume e o volume total, resultando numa porcentagem de poros. Essas grandezas foram então correlacionadas e uma curva polinomial foi determinada. Foi possível observar uma redução de 15,12% na condutividade térmica das amostras com 1% em massa de GCs incorporados, se comparado com a amostra padrão (0,463 W/(mK) para 0,393 W/(mK)).

Kurmus, Mohajerani e Grist (2021) ampliaram os estudos acerca da incorporação de 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0% em massa de GCs em peças de cerâmica vermelha. O principal objetivo foi realizar uma análise qualitativa e quantitativa sobre hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) oriundos da combustão incompleta e pirólise do tabaco e que são nocivos ao solo. A análise foi feita através de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM). Seus resultados mostraram que a média da soma de HPA para as amostras analisadas estiveram entre 0,180 µg/ml e 0,463 µg/ml, valores bem abaixo do que as diretrizes locais de resíduos industriais apontam (50 µg/ml). Ressalta-se que os autores não analisaram a emissão de COVs e semivoláteis.

## CONCLUSÕES

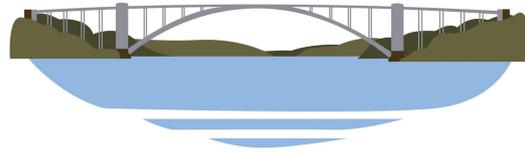
Este trabalho investigou a quantidade de artigos publicados indexados no Scopus acerca da incorporação de GCs em peças de cerâmica vermelha preparadas por extrusão. Uma ampla quantidade de termos foi definida no código de busca.

Não foram encontrados trabalhos nesta área, porém 21 artigos apresentaram aderência ao tema, ainda que os corpos-de-prova tenham sido preparados por prensagem ou moldagem. Isso proporcionou a possibilidade de se elaborar o estado da arte nesta área de pesquisa, contribuindo para um importante aprofundamento sobre o tema.

Pode-se concluir que esta área deve ser melhor analisada, proporcionando à comunidade científica informações técnicas de maior consonância com a produção industrial de tijolos cerâmicos com reaproveitamento de GCs em sua composição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, J. L. F. *et al.* Thermo-kinetic investigation of the multi-step pyrolysis of smoked cigarette butts towards its energy recovery potential. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 12, n. 3, p. 741–755, mar. 2022.
2. ARAÚJO, M. C. B.; COSTA, M. F. A critical review of the issue of cigarette butt pollution in coastal environments. **Environmental Research**, v. 172, p. 137–149, maio 2019.
3. BOTERO, C. M. *et al.* Beach litter in three South American countries: A baseline for restarting monitoring and cleaning after COVID-19 closure. **Marine Pollution Bulletin**, v. 191, p. 114915, jun. 2023.
4. CORREDOR, K.; GUZMÁN, Á.; TORRES, N. Factibilidad en la fabricación de ladrillos no estructurales, a partir del reciclaje de las colillas de cigarrillo Practicability in the manufacture of non-structural bricks, from the recycling of cigarette butts. v. 35, p. 14, 2020.



5. KADIR, A. A. *et al.* Density, Strength, Thermal Conductivity and Leachate Characteristics of Light-Weight Fired Clay Bricks Incorporating Cigarette Butts. v. 3, n. 5, p. 6, 2009.
6. KADIR, A. A.; MOHAJERANI, A. **Leachability of heavy metals from fired clay bricks incorporated with cigarette butts.** 2012 IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications. **Anais...** Em: 2012 IEEE SYMPOSIUM ON BUSINESS, ENGINEERING AND INDUSTRIAL APPLICATIONS. set. 2012.
7. KADIR, A. A.; SARANI, N. A.; LEMAN, A. M. Testing on Building Material Using Waste Material in Fired Clay Brick. **Materials Science Forum**, v. 803, p. 330–336, ago. 2014.
8. KIM, Y. *et al.* Environmental benefits from the use of CO<sub>2</sub> in the thermal disposal of cigarette butts. **Environmental Research**, v. 220, p. 115217, mar. 2023.
9. KURMUS, H.; MOHAJERANI, A. Energy savings, thermal conductivity, micro and macro structural analysis of fired clay bricks incorporating cigarette butts. **Construction and Building Materials**, v. 283, p. 122755, maio 2021.
10. KURMUS, H.; MOHAJERANI, A.; GRIST, S. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Fired Clay Bricks Incorporating Cigarette Butts. **Materials**, v. 14, n. 8, p. 2032, 18 abr. 2021.
11. MOHAJERANI, A. *et al.* Implementation of Recycling Cigarette Butts in Lightweight Bricks and a Proposal for Ending the Littering of Cigarette Butts in Our Cities. **Materials**, v. 13, n. 18, p. 4023, 10 set. 2020.
12. SILVA, M. L. DA *et al.* Marine debris on beaches of Arraial do Cabo, RJ, Brazil: An important coastal tourist destination. **Marine Pollution Bulletin**, v. 130, p. 153–158, maio 2018.
13. SOARES, M. *et al.* **Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities III.** 1. ed. Londres: CRC Press, 2019.
14. TORKASHVAND, J. *et al.* Littered cigarette butt as a well-known hazardous waste: A comprehensive systematic review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 383, p. 121242, fev. 2020.
15. VENUGOPAL, P. D. *et al.* No Butts on the Beach: Aquatic Toxicity of Cigarette Butt Leachate Chemicals. **Tobacco Regulatory Science**, v. 7, n. 1, p. 17–30, 1 jan. 2021.