

**PERSPECTIVAS DO USO DO LODO DE ETE COMO RECURSO NA  
CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA BREVE REVISÃO**

***PERSPECTIVAS DEL USO DE LOS LODOS DE LA EDAR COMO RECURSO EN LA  
CONSTRUCCIÓN CIVIL: UNA BREVE REVISIÓN***

***PERSPECTIVES OF THE USE OF WWTP SLUDGE AS A RESOURCE IN CIVIL  
CONSTRUCTION: A BRIEF REVIEW***



José Mateus Oliveira VIANA<sup>1</sup>  
e-mail: mateusvianauf@gmail.com



Gilson Lima da SILVA<sup>2</sup>  
e-mail: gilson.lsilva@ufpe.br

**Como referenciar este artigo:**

VIANA, José Mateus Oliveira; SILVA, Gilson Lima da. Perspectivas do uso do lodo de ETE como recurso na construção civil: uma breve revisão. **Revista Geografia em Atos**, Presidente Prudente, v. 08, n. 01, e-024015. e-ISSN: 1984-1647. DOI: <https://doi.org/10.35416/2024.10337>



| **Submetido em:** 05/03/2024  
| **Revisões requeridas em:** 19/11/2024  
| **Aprovado em:** 06/12/2024  
| **Publicado em:** 20/12/2024

---

**Editora:** Eda Maria Góes  
Karina Malachias Domingos dos Santos  
Rizia Mendes Mares

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru – Pernambuco (PE) – Brasil. Graduando em Engenharia Civil – Núcleo de Tecnologia (CAA).

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru – Pernambuco (PE) – Brasil. Professor Associado 4 do Núcleo de Tecnologia.

**RESUMO:** Em razão do consumismo e do acelerado desenvolvimento tecnológico, a produção de efluentes industriais tem crescido exponencialmente a cada ano. O tratamento desses efluentes gera um novo problema: a produção de subprodutos, como o lodo. Assim, torna-se necessário desenvolver meios de reutilizar e destinar adequadamente esse subproduto. Este trabalho teve como objetivo revisar bibliograficamente o potencial de reutilização do lodo gerado no tratamento de efluentes industriais na construção civil. A pesquisa foi realizada com base em artigos da plataforma Scopus, publicados entre 2018 e 2023, utilizando a metodologia PRISMA e o software VosViewer. A análise revelou uma escassez de estudos sobre o tema, destacando a importância de mais pesquisas. No entanto, constatou-se que o lodo tem potencial para ser utilizado na fabricação de materiais de construção, desde que suas características químicas e físicas sejam cuidadosamente consideradas para otimizar sua aplicação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo Industrial; Construção civil; Gestão de Resíduos.

**RESUMEN:** Debido al consumismo y al acelerado desarrollo tecnológico, la producción de efluentes industriales ha crecido exponencialmente cada año. El tratamiento de estos efluentes genera un problema nuevo: la producción de subproductos, como los lodos. Por lo tanto, es necesario desarrollar formas de reutilizar y desechar adecuadamente este subproducto. Este estudio tuvo como objetivo revisar el potencial de reutilización de los lodos generados en el tratamiento de efluentes industriales en la construcción civil. La investigación se realizó a partir de artículos de la plataforma Scopus, publicados entre 2018 y 2023, utilizando la metodología PRISMA y el software VosViewer. El análisis reveló una escasez de estudios sobre el tema, lo que pone de relieve la importancia de realizar más investigaciones. Sin embargo, se ha encontrado que los lodos tienen el potencial de ser utilizados en la fabricación de materiales de construcción, desde que se consideren cuidadosamente sus características químicas y físicas para optimizar la aplicación.

**PALABRAS CLAVE:** Lodos industriales; Construcción civil; Gestión de residuos.

**ABSTRACT:** Due to consumerism and accelerated technological development, the production of industrial effluents has grown exponentially every year. The treatment of those effluents creates a new problem: the production of by-products, such as sludges. Therefore, it is a need to develop ways to reuse and properly dispose this by-product. This study aimed to review the reusing potential of the sludge generated by the treatment of industrial effluents in civil construction. The research was conducted based on articles from the Scopus platform, published between 2018 and 2023, applying the PRISMA methodology and VosViewer software. The analysis revealed a scarcity of studies on the topic, highlighting the need for further research. However, it was found that sludge has the potential to be used in the manufacture of building materials, given that its chemical and physical characteristics are carefully considered to optimize its application.

**KEYWORDS:** Industrial Sludge, Civil Construction, Waste Management.

## **Introdução**

A produção industrial, desde a sua concepção e especialmente no período pós segunda guerra, experimentou um crescimento exponencial, que a transformou em uma das principais causadoras do desequilíbrio ecológico em nosso planeta. A incessante busca pelo consumo desenfreado intensifica ainda mais a produção de bens de consumo, resultando em uma proliferação descontrolada de resíduos e poluentes. Isso, por sua vez, desencadeia uma devastadora poluição dos ecossistemas, amplificando os impactos negativos que afetam diretamente a qualidade de vida dos indivíduos (HUSSAIN et al., 2020).

A fim de que exista controle desses impactos, é crucial que haja investimentos em saneamento ambiental, garantindo uma maior qualidade de vida às pessoas e preservação dos ecossistemas. O conceito de saneamento ambiental é bem mais amplo que o de saneamento básico, pois trata-se de um conjunto de ações socioambientais desenvolvidas com a finalidade de prevenir e controlar os impactos das atividades humanas no meio ambiente. Dentre as suas atribuições estão: o tratamento de água e esgoto, disposição de resíduos e controle da poluição do solo, controle de vetores de doenças e de emissões atmosféricas, porém, não está limitado a apenas isso. A conscientização da população também é fundamental para garantir um futuro mais sustentável para todos (SILVA et al., 2022).

Para que sejam adotadas práticas sustentáveis realmente eficazes e que se desenvolva a capacidade de pensar criticamente sobre o uso de recursos naturais, a adoção de práticas éticas e transparentes, bem como o reconhecimento da interdependência entre os aspectos econômicos, ambientais e sociais, é essencial priorizar decisões que promovam a sustentabilidade a longo prazo. Nesse sentido é indispensável a incorporação dos princípios de ESG (Environmental, Social and Governance) nas estratégias empresariais, pois estes fornecem uma base norteadora na tomada de decisões (AL NAGEM, et al., 2023). O ESG reúne critérios ambientais, sociais e de governança que podem ser utilizados para avaliar o desempenho das organizações em relação à sua responsabilidade ambiental e social, garantindo práticas éticas e transparentes em sua governança corporativa. Trata-se de uma abordagem bem abrangente, indo desde a busca pela redução das emissões de gases de efeito estufa e gestão eficaz dos recursos naturais até o respeito aos direitos humanos e a promoção da diversidade e inclusão. Ao integrar os princípios ESG em sua estratégia, as empresas contribuem para um desenvolvimento mais sustentável e constroem um mundo melhor para as gerações futuras.

Enquanto o ESG engloba critérios ambientais, sociais e de governança para avaliar o desempenho das organizações em relação à sua responsabilidade socioambiental, as estações

de tratamento de efluentes (ETE's) também são incorporadas ao processo de gestão de resíduos, sendo projetadas com o intuito de evitar que os efluentes gerados sejam lançados de forma bruta no meio ambiente (MOJAPELO et al., 2021).

Entretanto, durante os processos de tratamento dos efluentes industriais, são gerados uma leva de subprodutos, entre eles subprodutos de fácil descarte como a areia, que é destinada para aterros sanitários e o lodo primário e secundário, que necessitam passar por alguns processos de tratamento antes do seu descarte final. O lodo de esgoto gerado a partir do processamento dos rejeitos nas estações de tratamento de efluentes, embora não sendo considerado um resíduo perigoso, necessita que sua disposição seja realizada de maneira correta, o que gera altas despesas de manipulação, tomando cerca de 30% a 50% dos custos operacionais (FERREIRA et al., 2019).

O lodo, por ser gerado através do tratamento de diferentes tipos de efluentes dos mais diversos setores industriais, possui agrupamentos distintos de materiais, que influenciam nas suas características físicas e químicas. Podem ser encontrados metais pesados, como zinco, cobre, chumbo e cromo, além de produtos químicos, óleos, graxas, compostos orgânicos, entre outras substâncias tóxicas danosas ao meio ambiente (ASHOK KUMAR et al., 2018; ZAT et al., 2021 apud URBAN e ISAAC, 2018).

Habitualmente, o lodo produzido em diferentes fases do processamento de efluentes tem sua disposição final em aterros sanitários. Entretanto, do ponto de vista técnico, tal destinação não é uma alternativa muito viável, pois esse dispositivo acarreta novos problemas de poluição ambiental e pode estar associado a contaminação dos organismos aquáticos. Em vista disso são oferecidas outras opções de encaminhamento final do lodo, como por exemplo para incineração, condicionamento em digestores aeróbicos, utilização em solos agrícolas e aplicação na construção civil. (ZAT et al., 2021).

No que se refere ao processo de incineração, o lodo é queimando a uma média de 550°C a 950°C, usualmente 800°C, onde o lodo seco ou desidratado é transformado em cinzas ou lodo incinerado, reduzindo em cerca de 90% do volume de resíduos, não sendo necessário a realização de tratamento prévio tanto químico quanto biológico do mesmo, nem a utilização de combustíveis no processo, devido ao alto teor de matéria orgânica em sua composição. Entretanto, além de apresentar alto custo de execução, e a necessidade de controle de emissões de gases poluentes, uma nova estirpe de subproduto necessita de gerenciamento, as cinzas formadas após o processo (SHAFII et al., 2019 apud LYNN et al., 2015).

Alternativamente, o uso do lodo em digestores aeróbicos, emerge como uma solução inovadora e sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos. Esse processo favorece a decomposição controlada, resultando na significativa redução do volume de resíduos, ao mesmo tempo em que viabiliza a produção de biogás, uma fonte de energia renovável e de baixo impacto ambiental (SILVA; PORTO, 2024). Além disso, a aplicação dessa tecnologia contribui para a implementação de práticas mais eficientes e ecológicas na gestão de resíduos, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade e da economia circular. Outra abordagem que merece destaque é biorremediação, visando a recuperação de áreas degradadas pela agricultura, e a fertilização natural. Estudos recentes demonstram que tal subproduto, desde que submetido aos devidos tratamentos, pode se tornar uma fonte valiosa capaz de reestabelecer nutrientes indispensáveis, que antes foram perdidos devido agressões constantes pela utilização do solo (SILVA; OLIVEIRA; NÁDIA SCHRÖDER, 2024). Tais práticas, quando bem monitoradas, oferecem uma opção sustentável para a destinação do lodo, reduzindo a dependência da incineração e minimizando os impactos ambientais associados.

Uma abordagem alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, pode ser adotada para lidar com os desafios na destinação e tratamento do lodo de ETE e das cinzas resultantes da incineração. Os ODS fornecem metas globais para promover o desenvolvimento sustentável, incluindo a gestão de resíduos da construção civil. Ao buscar soluções viáveis e ambientalmente vantajosas para reutilizar esses subprodutos na construção civil, é possível contribuir para um futuro mais sustentável alinhado com os objetivos de desenvolvimento globais, como por exemplo as metas dispostas no ODS 12 - Consumo e Produção Sustentáveis, que busca reduzir o impacto ambiental e o desperdício de recursos e a ODS 6 - Água Potável e Saneamento, ao promover a redução da quantidade de lodo em aterros sanitários e, conseqüentemente, a proteção dos recursos hídricos e da saúde pública (ONU, 2015).

Nos últimos anos, vários estudos e aplicações foram realizados no que diz respeito à destinação e tratamento de lodo proveniente das ETE 's. Na construção civil, especialistas da área estão buscando soluções que sejam economicamente viável e ambientalmente vantajosas para utilização desse subproduto, com a finalidade de reduzir significativamente a quantidade de lodo de esgoto em aterros sanitários, e indiretamente decrescer o consumo de recursos naturais (BRINGHENTI et al., 2018).

Compreendendo a importância da temática, e visando fornecer mais clareza sobre o tema, o artigo desenvolve-se a partir de uma revisão sistemática da literatura, com o intuito de avaliar o potencial de aplicação do lodo de esgoto nos diferentes âmbitos da construção civil.

## **Metodologia**

Por se tratar de uma revisão da literatura, algumas etapas foram definidas para facilitar o entendimento do tema analisado. Na primeira etapa, foi realizada uma análise quantitativa, a qual se fez uso da base de dados Scopus, devido à sua relevância e à disponibilidade de instrumentos hábeis que auxiliam durante a pesquisa (Enago Academy, 2020).

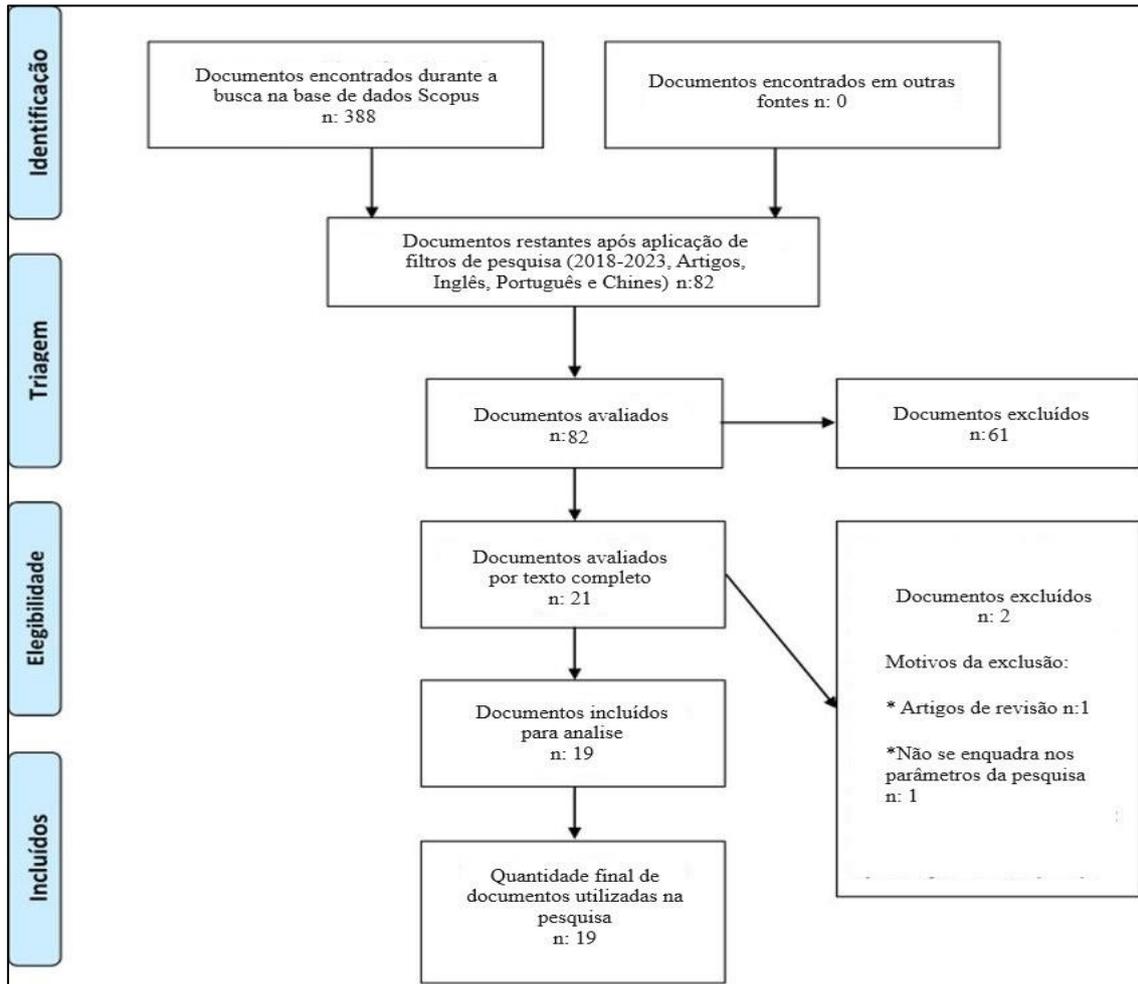
Para cumprir a especificidade do tema, e restringir de forma acertada os artigos a serem utilizados no embasamento teórico, aplicou-se a metodologia Preferred Reporting Items for Systematic Review And Meta-analyses PRISMA (Moher et al., 2009), que consiste em uma lista de verificação com 27 itens e um fluxograma dividido em quatro fases: identificação dos artigos, seleção, elegibilidade e inclusão.

Durante a fase de identificação dos artigos foi utilizado como estratégia a combinação de termos pré-definidos, utilizando a seguinte combinação de descritores em inglês: Sludge, Construction, Landfill fornecendo 388 itens supostamente relacionados ao tema. Na fase de seleção, após contabilização dos itens, foi realizado um estreitamento por meio de aplicação de filtros. Foram incluídos artigos publicados no período compreendido entre 2018 e 2023, divulgados em inglês, chinês ou português, restando 82 documentos.

Durante a fase de elegibilidade, buscando um direcionamento ainda mais específico acerca do tema proposto, tendo em vista que o descritor landfill não está diretamente relacionado a pesquisa, foram analisados os títulos e os resumos dos 82 artigos resultantes da etapa anterior, investigando a conexão com o estudo, excluídos os artigos que não correspondem aos critérios de inclusão, totalizando 21 artigos. Na fase de inclusão, após a redução significativa dos artigos, foi iniciada a leitura completa de todos os documentos em busca de identificar os que estavam fora da curva de ação do estudo. Desses, foram excluídos 2 artigos, por fugir do tema proposto, restando 19 artigos.

Subsequentemente, foi realizada uma meta-análise. Através do uso do software VOSviewer foram analisados todos os 19 artigos, sendo possível elaborar redes de dados que incluem informações como periódicos, pesquisadores envolvidos, individualidade ou coletivismo das publicações, quantitativo de citações dentre outras (Van Eck & Waltman, 2010).

**Figura 1** - Fluxograma das etapas de realização da pesquisa utilizando a metodologia PRISMA



Fonte: Elaboração do autor

Posteriormente, realizou-se uma análise qualitativa através do mapeamento das redes de dados do VOSviewer, buscando ir a fundo no questionamento e realizar um levantamento a respeito da correlação entre variáveis.

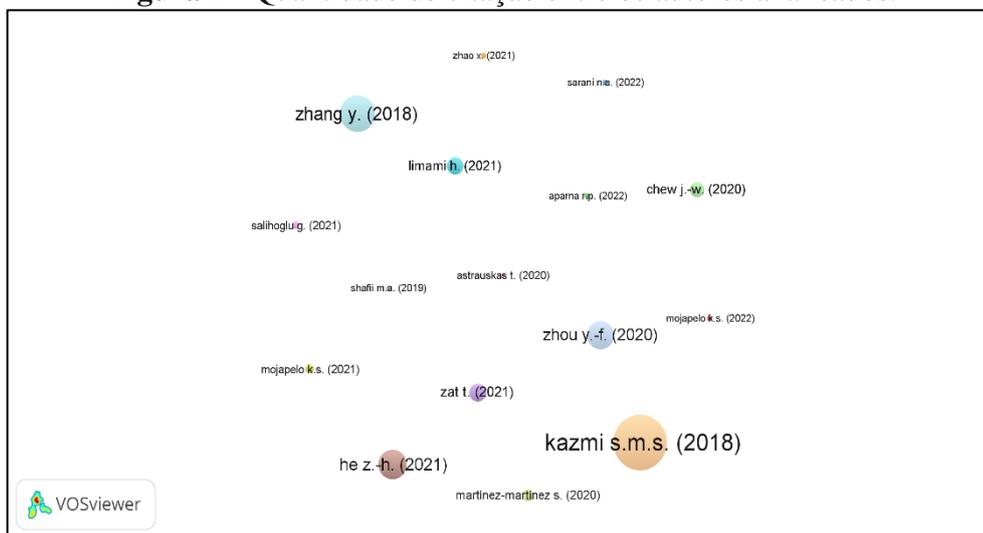
## Resultados e Discussões

### Análise Bibliométrica

Com base nos 19 artigos selecionados, o Software VOSviewer elaborou um mapa de densidade indicando os autores com maior quantidade de citações no período escolhido para o estudo. A partir de uma análise visual do mapa de densidade obtido, destaca-se com maior relevância o pesquisador Syed Minhaj Saleem Kazmi, tendo atuado em coautoria com diversos

colaboradores, como Muhammad Junaid Munir, Yu-Fei Wu, Asad Hanif e Indubhushan Patnaikuni, contabilizando 67 citações, como demonstrado na Figura 2.

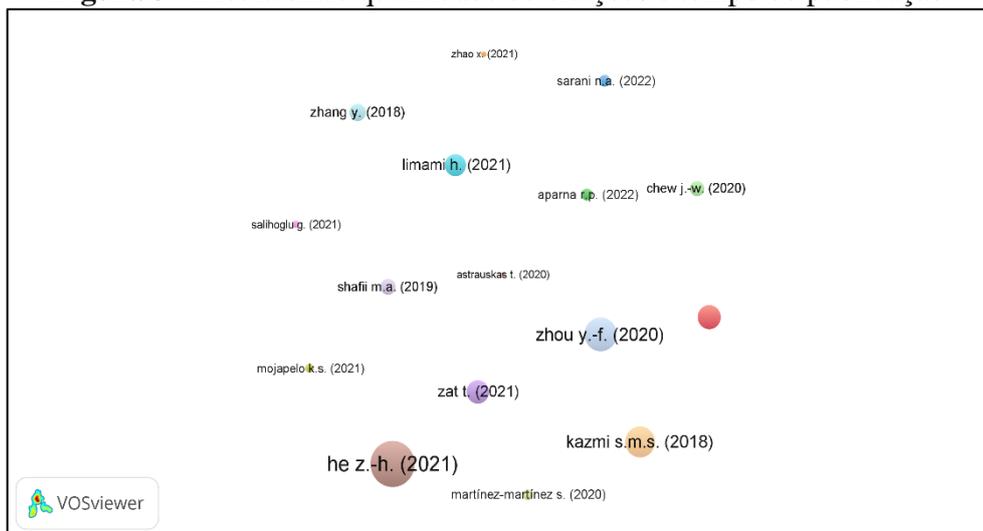
**Figura 2 - Quantidade de citação entre os autores analisados.**



Fonte: Elaboração do autor.

Entretanto, quando levado em consideração a média de citações pelo tempo de publicação em periódico, notou-se uma nova configuração no quadro de relevância. Como demonstrado na Figura 3, os autores Zhi-hai He, Ying Yang e Chao-feng Liang, juntamente com seus coautores obtiveram uma média de 2.86 citações por ano.

**Figura 3 - Média entre quantidade de citações e tempo de publicação.**

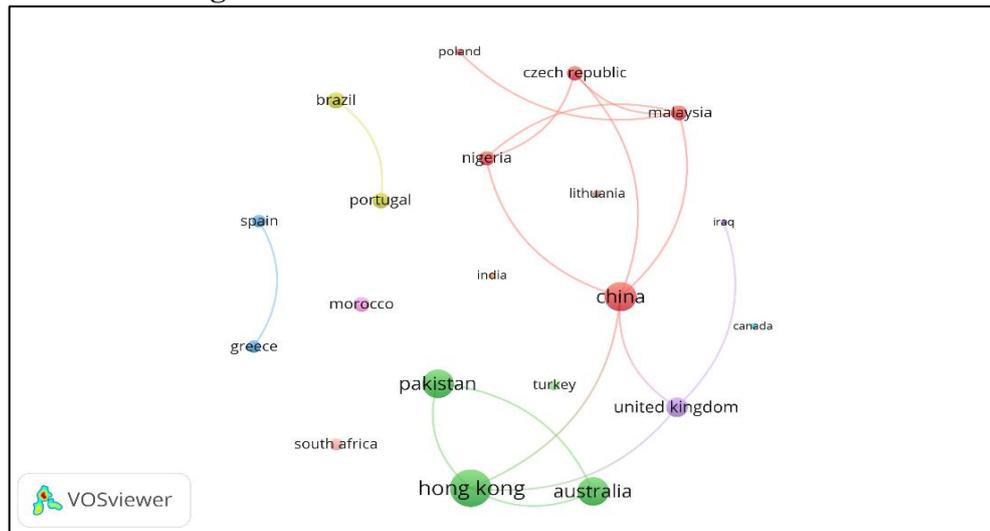


Fonte: Elaboração do autor.

Na Figura 4 foi possível identificar uma intensa utilização das produções científicas realizadas em Hong Kong, que mesmo atualmente pertencente a China e possuindo relações

acadêmicas com demais países, mantém uma autonomia científica devido a recente incorporação ao território chinês. Devido ao pouco espaço disponível para expansão do território, Hong Kong está entre os locais de maior densidade populacional do mundo, além de caracterizar-se como um grande polo industrial com sua economia a base da produção de eletrônicos, brinquedos e máquinas (Santiago, n.d.). É possível notar uma preocupação por parte dos pesquisadores locais com a destinação dos efluentes gerados pelos processos industriais.

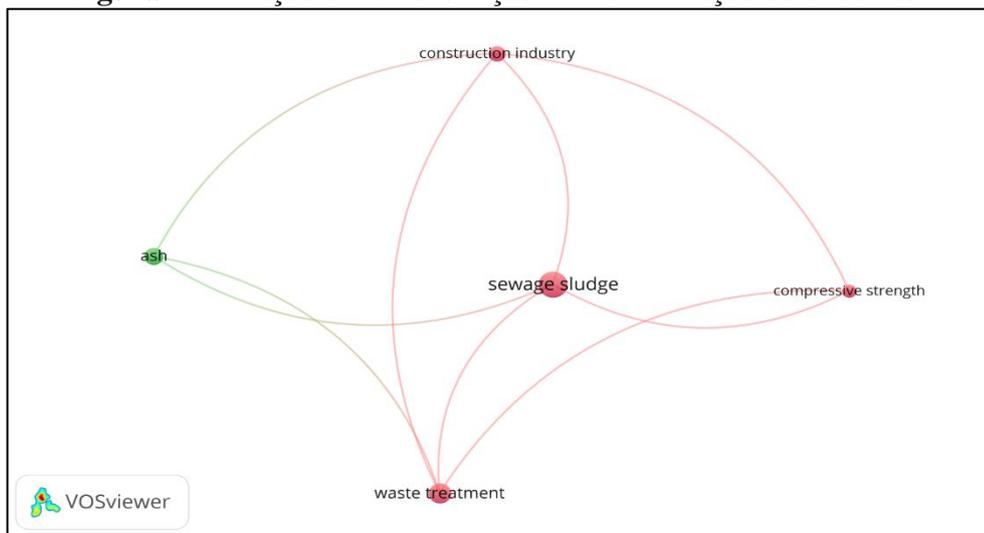
**Figura 4 - Países com maior influência científica.**



Fonte: Elaboração do autor.

Através da análise das palavras-chaves foi possível gerar grafos, identificando os termos de maior frequência e a relação entre eles. Foi possível constatar uma ligação entre a indústria da construção civil e o lodo de efluentes industriais, entretanto também se observa a relação com as cinzas de lodo e águas residuais, como mostrado na Figura 5.

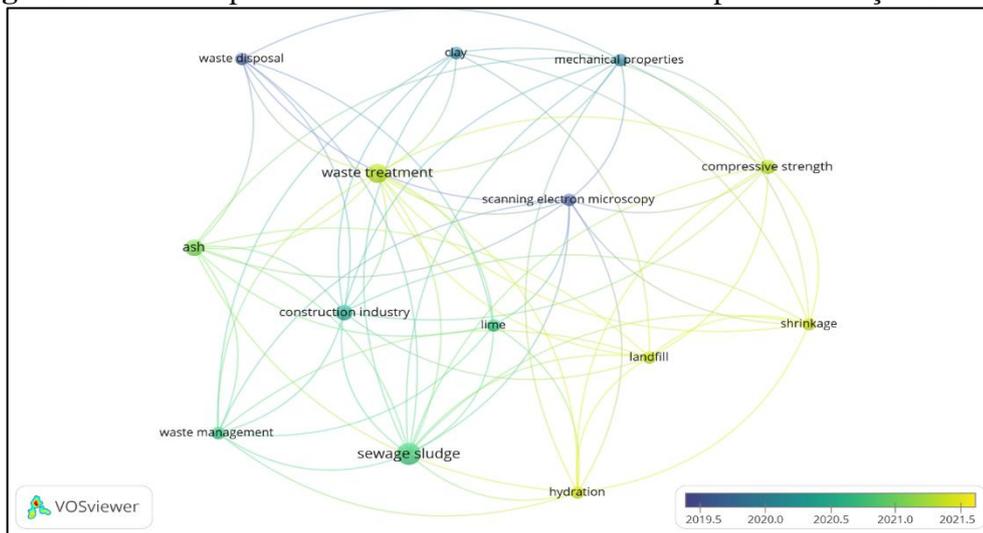
**Figura 5 -** Relação entre construção civil e utilização de efluentes.



Fonte: Elaboração do autor.

Quando analisado a utilização das palavras chaves em diferentes anos de publicação, na Figura 6 é possível notar uma inclinação das pesquisas a relacionar o uso do lodo após incineração a produção de materiais, ou que pode indicar uma possível vantagem no uso do subproduto em forma de cinzas devido à redução de matéria orgânica em sua constituição.

**Figura 6 -** Rede de palavras destacando o uso de cinzas após incineração do lodo.

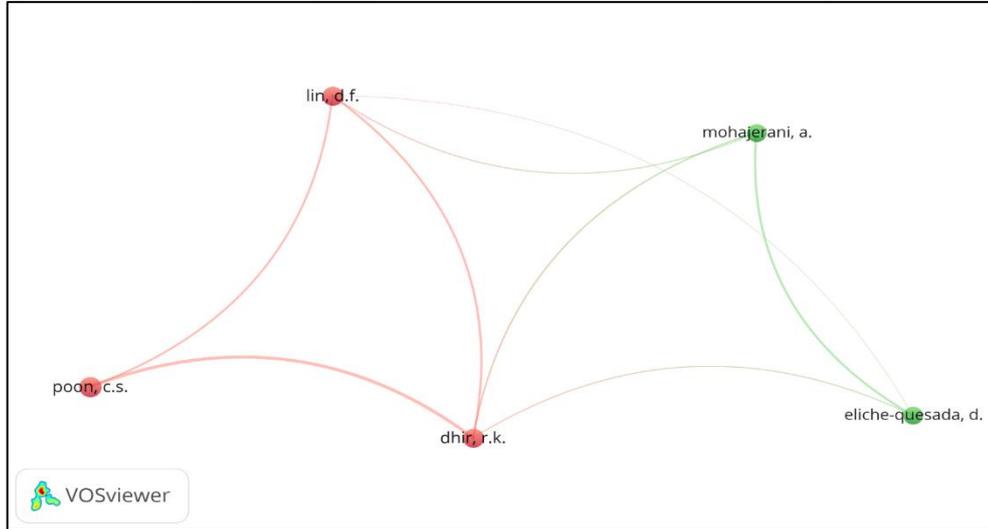


Fonte: Elaboração do autor.

Na Figura 7 foram analisadas as cocitações, onde foi possível identificar os autores mais citados pelos 19 artigos escolhidos, indicando assim uma provável influência desses pesquisadores na problemática. Nessa análise verificou-se uma relação entre os 5 mais citados

dentre os 1920 autores contabilizados pelo VOSviewer, onde observou-se semelhanças na linha de pesquisa e o agrupamento entre alguns desses na produção de artigos.

**Figura 7** - Relação entre pesquisadores mais citados entre os artigos escolhidos.



Fonte: Elaboração do autor.

### Análise Sistemática

Após identificar, avaliar e interpretar os resultados obtidos através das evidências contidas nos artigos escolhidos, esta seção apresenta as áreas de aplicação de maior relevância, referente ao uso de lodo de efluentes industriais na produção de matéria prima para materiais de construção. Também foi possível identificar o estado da arte do tema abordado, conforme evidenciado na tabela 1

**Tabela 1** - Artigos sobre a utilização de lodo de efluentes industriais na construção civil.

Autores	Principais Resultados Obtidos
AL NAGEIM <i>et al.</i> (2023)	O estudo avaliou a incorporação das cinzas de lodo de águas residuais, como opção a produção de asfalto a frio (CMA) e sua possível utilização na indústria da construção. Os resultados obtidos pelos pesquisadores mostraram um desempenho equivalente ao asfalto a quente (HMA), comprovando sua eficiência e benefícios ambientais.
E SOUSA <i>et al.</i> (2023)	O estudo avaliou o aproveitamento do lodo gerado durante os processos de tratamento de efluentes, e a possibilidade de incorporação na produção de concreto a ser utilizado na construção civil. Os resultados obtidos foram satisfatórios quanto a utilização desse subproduto, sendo evidenciado a economia gerada na obtenção de matéria-prima e a diminuição desses resíduos no meio ambiente.

<p>SARANI <i>et al.</i> (2022)</p>	<p>O estudo analisou a introdução do lodo oriundo da galvanoplastia na produção de tijolos de argila queimada. Este estudo indicou a possibilidade da utilização sustentável desse subproduto no processo de fabricação de tijolos, entretanto foi constatada a diminuição da resistência e aumento da porosidade deste material, o que poderia ser solucionado através do aumento na temperatura durante a queima.</p>
<p>MOJAPELO <i>et al.</i> (2022)</p>	<p>O estudo analisou a aplicação do lodo em concreto leve e quais os possíveis riscos dessa prática. Os resultados obtidos evidenciaram uma redução na porcentagem de metais pesados e comprovaram os benefícios da utilização do concreto à base de lodo para simples reparos estruturais.</p>
<p>LIMAMI <i>et al.</i> (2021)</p>	<p>O estudo analisou o uso de lodo de tratamento de efluentes como aditivo na produção de tijolos não queimados, e evidenciar a sua utilização no setor da construção civil. Os resultados obtidos demonstraram que a utilização do lodo produziu tijolos mais eficazes no processo de isolamento térmico.</p>
<p>MOJAPELO <i>et al.</i> (2021)</p>	<p>O estudo avaliou a substituição de agregado miúdo por lodo seco proveniente dos processos de tratamento de efluentes. Os resultados obtidos indicaram que a substituição parcial é viável, respeitando um limiar de substituição de até 7,5%.</p>
<p>ZAT <i>et al.</i> (2021)</p>	<p>O estudo avaliou o uso de lodo de esgoto na produção de tijolos cerâmicos extrudados. Os resultados obtidos foram satisfatórios, os limites exigidos para o processo de produção foram alcançados e notou-se um aumento na resistência à compressão, quando respeitada a adição de até 15% de lodo à argila.</p>
<p>HE <i>et al.</i> (2021)</p>	<p>O estudo utilizou o lodo de efluentes como matéria prima suplementar em compósitos cimentícios. Os resultados obtidos mostraram que as argamassas com 10% de adição de lodo apresentam maior resistência à compressão, sendo considerada viável para uso em materiais de construção.</p>
<p>KIZHAKKETHUNDATHIL TOMY <i>et al.</i> (2021)</p>	<p>O estudo examinou os benefícios do desenvolvimento de tijolos de alvenaria incorporados de cinzas de lodo de esgoto e outros subprodutos. Os resultados obtidos satisfizeram os critérios de controle de qualidade estabelecidos pela indústria, mantendo as propriedades mecânicas e físicas.</p>
<p>SALIHOGU &amp; MARDANI-AGHABAGLOU. (2021)</p>	<p>O estudo buscou ir além da utilização do uso de cinzas de lodo de esgoto na produção de cimento, dando enfoque à unidade de controle onde são coletadas essas cinzas. Os resultados obtidos demonstraram que diferentes quantidades de superplastificante à base de éter policarbonato, possibilitam diferentes propriedades físico mecânicas dos materiais.</p>
<p>ZHAO <i>et al.</i> (2021)</p>	<p>O estudo analisou a utilização de aditivos no processo de tratamento de efluentes visando a redução da produção de lodo. Os resultados obtidos evidenciaram que o CAP e a cal virgem desempenharam um papel importante na construção da estruturação do lodo de esgoto e na redução do montante final.</p>

ZHOU <i>et al.</i> (2020)	O estudo teve como objetivo aplicar a cinza de lodo de esgoto com cal virgem e cal hidratada para avaliar os efeitos nas propriedades mecânicas dos sistemas. Obteve como resultado que a aplicação da cinza de lodo demonstrou-se favorável para produção de material de construção sustentável.
CHEW <i>et al.</i> (2020)	O estudo examinou a utilização de Lodo de Papel Reciclado na produção de mistura asfáltica. Os resultados obtidos demonstraram que o lodo de papel, por possuir características químicas distintas promoveu uma melhor aderência entre ligante asfáltico e agregados, tendo um aumento significativo no desempenho, além de substituir parcialmente a quantidade de minerais utilizados.
MARTÍNEZ-MARTÍNEZ <i>et al.</i> (2020)	O estudo avaliou a utilização de resíduos industriais de diferentes processos produtivos como meio de produção de clínquer de cimento. Os resultados obtidos indicaram que tais resíduos podem ser utilizados em diferentes tipos de produção cimentícia, reduzindo o acúmulo desses subprodutos em aterros sanitários.
ASTRAUSKAS & GRUBLIAUSKAS. (2020)	O objetivo do estudo foi utilizar o lodo proveniente da produção de papel na criação de painéis de absorção sonora. Como resultado os autores descreveram a utilização desses painéis como auxiliares na absorção de sonora, gerando um maior desempenho.
FERREIRA <i>et al.</i> (2019)	O estudo analisou a utilização de lodo juntamente argila vermelha buscando verificar o potencial de aplicação desse subproduto na indústria da construção civil. Os resultados encontrados mostram a possibilidade de produção de blocos cerâmicos utilizando lodo proveniente do tratamento de efluentes.
ZHANG <i>et al.</i> (2018)	O estudo avaliou a utilização de lodo como aditivo de Mistura Asfáltica Quente (AMM). Foram obtidos como resultados que a adição de lodo pode diminuir a temperatura de construção do pavimento asfáltico em 25°, reduzindo a emissão de poluentes.
KAZMI <i>et al.</i> (2018)	O estudo explorou a utilização de resíduos de lodo de vidro na produção de tijolos de argila queimada. Com base neste estudo, foi constatado que a utilização de até 25% desses resíduos incorporados a produção de tijolos de argila queimada, podem diminuir consideravelmente o acúmulo desses resíduos em aterros sanitários.
ASHOK KUMAR <i>et al.</i> (2018)	O estudo avaliou a utilização de lodo industrial como matéria-prima na produção de materiais de construção. Os resultados obtidos evidenciaram que a aplicação do lodo é preferível em elementos não estruturais. Foram indicados também aumentos da resistência à compressão, sendo mais viável a sua utilização na produção de tijolos.

Fonte: Elaboração do autor.

Após a análise de todos os artigos relacionados ao tema: perspectivas do uso do lodo de ETE como recurso na construção civil, foi possível notar uma diversificação na utilização desse resíduo, na sua maioria obtendo resultados satisfatórios desde que respeitado alguns parâmetros

de substituição de materiais convencionais. Dentre os artigos analisados apenas a pesquisa realizada por Sarani et al. (2022) divergiu no que diz respeito a utilização do lodo na fabricação de tijolos de argila queimado, pois, foi constatada a diminuição da resistência em 67,3% e o aumento da porosidade dos blocos quando utilizado uma adição superior a 5% a uma temperatura de 1050°C, sendo sugerido que como meio de correção deste, o percentual de adição e a temperatura sejam diretamente proporcionais.

Partindo dessa mesma linha de pesquisa, os trabalhos realizados por Zat et al. (2021), Kizhakkethundathil Tomy et al. (2021), Ferreira et al. (2019), Kazmi et al. (2018) e Ashok Kumar et al. (2018) demonstram que a utilização do lodo proveniente do tratamento de efluentes favoreceu o aumento da resistência à compressão dos blocos cerâmicos, além de redução da porosidade dos mesmos, fazendo-se mais eficaz no isolamento térmico.

Segundo Zat et al. (2021), para que tais resultados sejam obtidos, deve ser respeitada a adição de até 15% de lodo à argila. Porém, devido a diferentes propriedades químicas desse material essa taxa de incorporação pode variar, de acordo com a pesquisa realizada por Kazmi et al. (2018), ao utilizar o lodo proveniente da fabricação de placa de vidro, foi possível substituir 25% do peso da argila, e ainda assim obter resultados satisfatórios quanto a condutividade térmica e resistência à compressão.

Devido a sua diversificada característica química, além da utilização como material constituinte na produção de tijolos, a incrementação do lodo também ocorreu na produção de outros insumos, como: concreto, painéis de absorção sonora e mistura asfáltica quente (AMM) e fria (CMA). De acordo com He et al. (2021), que utilizou o lodo em compósitos cimentícios, a adição de 10% de lodo junto a argamassa foi capaz de aumentar a resistência a compressão do concreto em relação ao concreto tradicional, dessa forma se mostrando viável para uso em materiais de construção diversos.

Al Nageim et al. (2023) e Zhan et al. (2018), seguiram para a utilização desse subproduto na produção de asfalto a frio (CMA) e a quente (AMM) respectivamente. Em ambos os casos se obtiveram bons resultados, no caso do asfalto a quente ao ser adicional à mistura asfáltica uma quantidade de lodo, ao construir o pavimento, foi possível reduzir em 25° a temperatura de produção usual, reduzindo também a emissão de gases e poluentes.

## **Conclusões**

Diante o exposto durante essa revisão da literatura, notamos a multiplicidade de aplicações possíveis do lodo resultante do tratamento de efluentes industriais como matéria-prima para a engenharia civil. Diversos estudos têm demonstrado que o lodo pode ser utilizado na fabricação de materiais como cimento, concreto, tijolo e asfalto. Além disso, o aproveitamento desse subproduto oferece significativos benefícios ambientais, evitando o descarte inadequado e promovendo a sustentabilidade na construção.

No entanto, para que esse subproduto seja efetivamente utilizado e atinja o limite máximo de uso, são necessárias avaliações preliminares para determinar a composição, propriedades e dificuldades de manuseio. Portanto, a expansão das pesquisas nessa área deve ocorrer para que novas formas de manipulação possam aprimorar os métodos de utilização já existentes. Dessa forma, será possível utilizar o lodo de esgoto na construção civil de forma segura e eficaz, promovendo uma construção mais responsável e sustentável.

É importante ressaltar que o uso de lodo de efluentes na construção civil contribui para a redução da pegada de carbono, reduz o consumo de recursos naturais e pode gerar economia para as empresas, reduzindo os custos com a compra de materiais. Além disso, a sua utilização ajuda a evitar o descarte inadequado desses resíduos, impedindo que sejam dispostos em aterros sanitários ou em outros locais inadequados, causando impactos ambientais negativos.

Portanto, é essencial que, dada a importância deste tema, e a convergência nos resultados quando a viabilidade da utilização do lodo de efluentes industriais na produção de materiais de construção, mais pesquisas sejam realizadas no sentido de desenvolver novas formas de manipulação e procurar aprofundar e melhorar os métodos existentes. No entanto, ressalta-se a importância de considerar cuidadosamente as especificidades de cada aplicação e suas implicações, mantendo um equilíbrio entre a eficácia dos materiais produzidos e os potenciais impactos adversos. O avanço nessa linha de pesquisa aponta de forma promissora para uma abordagem mais sustentável na indústria da construção civil.

## REFERÊNCIAS

- AL NAGEIM, H., DULAIMI, A., AL-BUSALTAN, S., KADHIM, M. A., AL-KHUZAIE, A., SETON, L., CROFT, J., & DRAKE, J. (2023). The development of an eco-friendly cold mix asphalt using wastewater sludge ash. **Journal of Environmental Management**, 329, 117015, 2023.
- ASTRAUSKAS, T.; GRUBLIAUSKAS, R. Method to Recycle Paper Sludge Waste: Production of Panels for Sound Absorption Applications. **Environmental and Climate Technologies**, v. 24, n. 3, p. 364-372, 2020.
- BRINGHENTI, J. R. et al. Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 23, n. 5, p. 891-899, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018124980>.
- CHEW, J.-W. et al. Microscopic analysis and mechanical properties of Recycled Paper Mill Sludge modified asphalt mixture using granite and limestone aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 243, p. 118172, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118172>.
- DE SOUSA, G. L. et al. Use of residual mud from water treatment station in concrete matrix for green construction | Uso do lodo residual da estação de tratamento de água em matriz de concreto para construção verde. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 11, n. 1, p. 051-061, 2023.
- ENAGO ACADEMY. Pubmed, Scopus e Web of Science: um guia rápido para pesquisas bibliográficas. **Enago Academy Brazil**, 2020. Disponível em: <https://www.enago.com.br/academy/popular-databases-for-researchers/>.
- FERREIRA, J. S. et al. Effect of sludge from wastewater treatment processing of a tobacco agroindustry in ceramics matrix. **International Journal of Applied Ceramic Technology**, v. 16, n. 3, p. 1050-1059, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ijac.13163>.
- HE, Z. et al. Recycling hazardous water treatment sludge in cement-based construction materials: Mechanical properties, drying shrinkage, and nano-scale characteristics. **Journal of Cleaner Production**, v. 290, p. 125832, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125832>.
- HUSSAIN, J., KHAN, A., & ZHOU, K. The impact of natural resource depletion on energy use and CO<sub>2</sub> emission in Belt & Road Initiative countries: A cross-country analysis. **Energy**, 199, p. 117409, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117409>
- KAZMI, S. M. S. et al. Thermal performance evaluation of eco-friendly bricks incorporating waste glass sludge. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1867-1880, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.255>.

KIZHAKKETHUNDATHIL TOMY, T. et al. Development of Sustainable Masonry Bricks Using Biological By-Products and Wastes. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 33, n. 5. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003656](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003656).

KUMAR, V. T. A.; RAVICHANDRAN, P. T.; KRISHNARAJ, L. Effluent treatment plant (ETP) sludge brick as sustainable building material. **Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems**, v. 10, n. 10 Special, p. 1682-1687, 2018.

LIMAMI, H. et al. Recycled wastewater treatment plant sludge as a construction material additive to ecological lightweight earth bricks. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 2, p. 100050, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100050>.

LYNN, C. J. et al. Sewage sludge ash characteristics and potential for use in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 98, p. 767-779, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.122>.

MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, S. et al. new waste-based clinkers for the preparation of low-energy cements. A step forward toward circular economy. **International Journal of Applied Ceramic Technology**, v. 17, n. 1, p. 12-21, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ijac.13390>.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Annals of Internal Medicine**, v. 151, n. 4, p. 264-269, W64, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>.

MOJAPELO, K. S. et al. Utilization of wastewater sludge for lightweight concrete and the use of wastewater as curing medium. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00667>.

MOJAPELO, K. S. et al. Sustainable usage and the positive environmental impact of wastewater dry sludge-based concrete. **Results in Materials**, v. 16, p. 100336, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2022.100336>.

NASCIMENTO, N. de M. Avaliação de metodologias de tratamento de efluentes industriais com vistas ao reúso. 2016. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/6495>.

ONU. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | **As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.

SALIHOGU, G.; MARDANI-AGHABAGLOU, A. Characterization of sewage sludge incineration ashes from multi-cyclones and baghouse dust filters as possible cement substitutes. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 1, p. 645-663, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10507-7>.

SANTIAGO, E. Hong Kong. InfoEscola. Disponível em: <https://www.infoescola.com/asia/hong-kong/>. Acesso em: 5 maio 2023.

SARANI, N. A. et al. Assessment on the physical, mechanical properties and leaching behaviour of fired clay brick incorporated with steel mill sludge. **Archives of Metallurgy**

**and Materials**, v. 67, n. 1, p. 209-214, 2022. Disponível em:  
<https://doi.org/10.24425/amm.2022.137491>.

SHAFII, M. A.; CHIA MEI LING, E.; SHAFFIE, E. The use of sewage sludge and its ash in construction and agriculture industry: A review. **Jurnal Teknologi**, v. 81, n. 5, p. 81-90, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11113/jt.v81.13486>.

SILVA, A.; SANTOS, J.; OLIVEIRA, M. Saneamento ambiental: uma abordagem integrada para a gestão dos impactos ambientais. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 45-62, 2022.

SILVA, B.; OLIVEIRA, R.; NÁDIA SCHRÖDER. Utilização de lodo de ETE para recuperação de áreas degradadas pela agricultura. **Anais Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade**, 1 maio 2024.

SILVA, L. DE O.; PORTO, P. P. Uso de biodigestores em estação de tratamento de esgoto. **Revista ft**, v. 28, n. 137, p. 44-45, 22 ago. 2024.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.

ZAT, T. et al. Potential re-use of sewage sludge as a raw material in the production of eco-friendly bricks. **Journal of Environmental Management**, v. 297, p. 113238, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113238>.

ZHANG, Y. et al. Synthesis of zeolite A using sewage sludge ash for application in warm mix asphalt. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 686-695, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.005>.

ZHAO, X. et al. Deep Dewatering of Stocked Sludge and Incineration Characteristics of Dehydrated Sludge Cake | 堆存污泥深度脱水及其干化泥饼焚烧特性研究. **Research of Environmental Sciences**, v. 34, n. 4, p. 1015-1022, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929.2020.08.17>.

ZHOU, Y. et al. Sewage sludge ash: A comparative evaluation with fly ash for potential use as lime-pozzolan binders. **Construction and Building Materials**, v. 242, p. 118160, 2020.

### ***CRediT Author Statement***

---

- Reconhecimentos:** Gostaria de agradecer ao Grupo de Gestão Ambiental Avançada - GAMA do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. Gostaria de agradecer também a Professora e Psicopedagoga Maria de Fátima pelo incentivo a educação e pesquisa.
  - Financiamento:** Não.
  - Conflitos de interesse:** Não.
  - Aprovação ética:** Segundo o tipo de pesquisa desenvolvida não houve necessidade de submeter o estudo ao Conselho de Ética.
  - Disponibilidade de dados e material:** Em se tratando de um trabalho de Revisão Sistemática, todos os artigos consultados estão disponíveis na base de dados Scopus
  - Contribuições dos autores:** O autor é orientando do co-autor e, portanto, foi acompanhado em todas as etapas de elaboração da pesquisa e na escrita e submissão do artigo.
- 

**Processamento e editoração: Editora Ibero-Americana de Educação.**  
Revisão, formatação, normalização e tradução.

