

MÉTODOS ANALÍTICOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Kelly Correia de Lima

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

kellylima91@hotmail.com

Mikhaela Maciel

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

mikhaelamaciel@gmail.com

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Marcelo Oliveira Caetano

mocaetano@unisinos.br

Iara Janaina Fernandes

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

iarajf@unisinos.br

Amanda Gonçalves Kieling

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

amandag@unisinos.br

Resumo: Os microplásticos (MPs) têm sido amplamente reconhecidos como contaminantes emergentes devido à sua ocorrência em diversos meios ambientais e aos potenciais impactos sobre os ecossistemas e a saúde humana. As estações de tratamento de esgoto (ETEs) contribuem para a remoção dessas partículas, porém parte dos microplásticos permanece nos efluentes tratados ou é transferida para o lodo gerado durante o processo. Com a crescente preocupação com sua ocorrência em ETEs, torna-se fundamental compreender os métodos analíticos empregados para sua identificação. O presente estudo teve como objetivo analisar os métodos analíticos utilizados na identificação de microplásticos em estações de tratamento de esgoto por meio de uma revisão sistemática da literatura. A revisão foi conduzida conforme as diretrizes PRISMA 2020, utilizando as bases de dados Scopus e PubMed. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 12 artigos publicados entre 2023 e 2026. Os estudos analisados utilizaram espectroscopia Raman associada a diferentes técnicas complementares, incluindo FTIR, microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura (SEM), fluorescência, DSC e NTA. Os polímeros mais frequentemente identificados foram PE, PP, PET, PS e PVC, já enquanto fragmentos e fibras representaram as morfologias predominantes. Verificou-se ainda uma concentração significativa de microplásticos em matrizes sólidas, especialmente lodo e digestato, evidenciando a necessidade de padronização metodológica para ampliar a comparação entre os estudos.

Palavras-chave: espectroscopia Raman; espectroscopia FTIR; lodo de esgoto; efluente tratado; caracterização de polímeros.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

ANALYTICAL METHODS FOR THE IDENTIFICATION OF MICROPLASTICS IN SEWAGE TREATMENT PLANTS: A SYSTEMATIC REVIEW

Abstract: Microplastics (MPs) are increasingly recognized as emerging contaminants due to their presence in various environmental media and their potential impact on ecosystems and human health. Wastewater treatment plants (WWTPs) contribute to the removal of these particles; however, some microplastics remain in the treated effluent or are transferred to the sludge generated during the process. With growing concern about their presence in WWTPs, it is essential to understand the analytical methods used for their identification. The objective of this study was to analyze the analytical methods used to identify microplastics in wastewater treatment plants through a systematic literature review. The review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines, using the Scopus and PubMed databases. After applying the inclusion and exclusion criteria, 12 articles published between 2023 and 2026 were selected. The studies analyzed used Raman spectroscopy in combination with various complementary techniques, including FTIR, optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM), fluorescence, DSC, and NTA. The most frequently identified polymers were PE, PP, PET, PS, and PVC, while fragments and fibers were the predominant morphologies. A significant concentration of microplastics was also found in solid matrices, particularly sludge and digestate, highlighting the need for methodological standardization to facilitate comparisons between studies.

Keywords: Raman spectroscopy; FTIR spectroscopy; sewage sludge; treated effluent; Polymer characterization.

1. INTRODUÇÃO

Os microplásticos (MPs) são classificados como contaminantes emergentes e correspondem a partículas de material plástico com tamanhos inferiores a 5 milímetros (mm) (GATIDOU *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2023). As estações de tratamento de esgoto (ETEs) atuam como importantes barreiras de retenção de MPs, ajudando a reduzir a entrada de MPs nos ambientes aquáticos. No entanto, a remoção não é completa, permitindo que parte dos MPs seja liberada por meio dos efluentes tratados ou acumulada no lodo gerado durante o processo (BRETAS ALVIM *et al.*, 2020; LONG *et al.*, 2019; SOL *et al.*, 2020). Apesar da eficiência de remoção, de MPs as ETEs continuam contribuindo para a entrada desses contaminantes nos ecossistemas aquáticos, devido ao grande volume de efluentes descartados diariamente nos corpos receptores (BRETAS ALVIM *et al.*, 2020).

A presença de microplásticos em diferentes ambientes está gerando uma preocupação, pois essas partículas podem ser transferidas ao longo da cadeia alimentar e causar impactos para toda a biota e a saúde humana (GATIDOU *et al.*, 2019; SOL *et al.*, 2020; UDDIN *et al.*, 2022). Essas partículas podem ter origem primária, quando produzidas intencionalmente em pequenas dimensões, ou secundária, resultante da fragmentação e degradação de materiais plásticos maiores ao longo do tempo

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

(GATIDOU *et al.*, 2019; HARLEY-NYANG *et al.*, 2022; ZHANG *et al.*, 2023). Entre as principais vias de introdução desses contaminantes nos ecossistemas aquáticos destacam-se os sistemas de tratamento de efluentes domésticos e industriais (BARKMANN-METAJ *et al.*, 2023; UDDIN *et al.*, 2022).

Durante o tratamento, grande parte dos MPs é removida da fase líquida e acumulada no lodo, tornando essa matriz um importante compartimento de retenção desses contaminantes (GATIDOU *et al.*, 2019; MOMPÓ-CURELL *et al.*, 2024; LESSA BELONE *et al.*, 2025; MOMPÓ-CURELL, DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, *et al.*, 2025a; MOMPÓ-CURELL *et al.*, 2026). Consequentemente, apenas uma pequena parcela permanece na fase líquida após os processos de estabilização (LESSA BELONE *et al.*, 2025; UDDIN *et al.*, 2022).

Os efluentes tratados ainda representam uma fonte de MPs para os ecossistemas aquáticos, enquanto a aplicação do lodo como bio sólido pode favorecer a transferência desses contaminantes para o ambiente terrestre (BECUCCI *et al.*, 2022; LONG *et al.*, 2019; SUN *et al.*, 2019; GATIDOU *et al.*, 2019; MISERLI & KONSTANTINOU, 2025; LESSA BELONE *et al.*, 2025; MOMPÓ-CURELL, DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, *et al.*, 2025a; UDDIN *et al.*, 2022).

A preocupação com os impactos ambientais dos MPs tem inspirado o desenvolvimento de técnicas analíticas, capazes de identificar e caracterizar essas partículas em diferentes matrizes ambientais, incluindo afluentes, efluentes e lodos de ETEs (AZIZI *et al.*, 2022; DOMOGALLA-URBANSKY *et al.*, 2019; ZOCCALI *et al.*, 2025). Entretanto, a diversidade de protocolos empregados na preparação das amostras, nas técnicas analíticas utilizadas e nos critérios de classificação das partículas dificulta a comparação entre os estudos e pode influenciar diretamente as estimativas de abundância, distribuição e composição polimérica dos MPs (COWGER *et al.*, 2020; GATIDOU *et al.*, 2019; MOMPÓ-CURELL, IBORRA-CLAR, *et al.*, 2025b; ZOCCALI *et al.*, 2025).

Com esse contexto, técnicas espectroscópicas como FTIR e Raman têm se destacado pela capacidade de identificar e diferenciar polímeros com maior precisão (BECUCCI *et al.*, 2022; DOMOGALLA-URBANSKY *et al.*, 2019; PRIMPKE *et al.*, 2018). Apesar do crescente número de estudos sobre MPs em ETEs, a falta de padronização metodológica ainda representa um obstáculo para a comparação dos resultados disponíveis na literatura (COWGER *et al.*, 2020; ZOCCALI *et al.*, 2025). Assim, esta revisão sistemática tem como objetivo analisar os métodos analíticos utilizados na identificação de microplásticos em estações de tratamento de esgoto, destacando suas aplicações, vantagens, limitações e os principais resultados reportados na literatura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Revisão sistemática da literatura de estudo

A revisão sistemática foi conduzida conforme as recomendações do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020). A questão de pesquisa foi estruturada com base na estratégia PICO (Quadro 1), e os registros recuperados foram organizados no software Mendeley Reference Manager para gerenciamento das referências e remoção de duplicatas.

A revisão foi conduzida para responder à seguinte questão de pesquisa: Quais são os principais métodos analíticos utilizados para a identificação de microplásticos em estações de tratamento de esgoto e quais são suas aplicações, vantagens, limitações e resultados reportados na literatura?

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Quadro 1 – Estrutura PICO utilizada para elaboração da questão de pesquisa.

Acrônimo	Componente	Descrição
P	Problema	MPs presentes nas diferentes matrizes de ETEs (afluente, efluente tratado e lodo).
I	Intervenção	Métodos analíticos empregados na detecção, identificação e caracterização de MPs.
C	Comparação	Comparação entre os diferentes métodos analíticos utilizados nos estudos selecionados.
O	Outcome (Desfecho)	Aplicações, vantagens, limitações, principais polímeros identificados e características morfológicas reportadas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2. Estratégia de busca

A busca bibliográfica foi realizada nas bases *Scopus* e *PubMed*, nos campos título, resumo e palavras-chave, utilizando termos relacionados a microplásticos, ETEs e técnicas analíticas. A estratégia foi construída com os operadores booleanos AND, OR e NOT.

A *string* utilizada foi:

"microplastics" AND ("wastewater treatment plant" OR "WWTP" OR "sludge" OR "effluent") AND ("Raman spectroscopy").

Para direcionar a busca aos estudos relacionados às ETEs, foram excluídos trabalhos contendo os termos:

river OR marine OR ocean OR seawater OR freshwater OR "drinking water"

human OR humans OR health OR ingestion OR exposure

agriculture OR soil OR irrigation OR crop OR agricultural

sorption OR "metal ions" OR riverine.

Também foram aplicados filtros para selecionar apenas artigos científicos classificados como *Article*, publicados entre 2023 e 2026. Os resultados recuperados foram exportados para o Mendeley Reference Manager para organização inicial dos registros.

2.2.1. Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos para selecionar estudos diretamente relacionados à identificação de microplásticos em ETEs.

Foram incluídos artigos científicos publicados entre 2023 e 2026, indexados nas bases *Scopus* e *PubMed*, que abordassem a ocorrência de microplásticos em afluentes, efluentes tratados ou lodos de estações de tratamento de esgoto e apresentassem métodos analíticos utilizados para sua detecção, identificação ou caracterização.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Foram excluídos artigos de revisão, capítulos de livros, trabalhos publicados em anais de eventos, dissertações, teses e documentos técnicos. Também foram excluídos estudos realizados exclusivamente em ambientes marinhos, rios, lagos, água potável, solos agrícolas ou voltados exclusivamente à avaliação toxicológica, saúde humana ou exposição ocupacional. Trabalhos que não apresentavam informações sobre os métodos analíticos empregados para identificação dos microplásticos também não foram considerados.

2.2.2. Identificação e seleção dos estudos

Após as buscas, todos os registros foram importados para o Mendeley Reference Manager para identificação e remoção dos artigos duplicados.

Inicialmente foram encontrados 16 registros, sendo 12 provenientes da *Scopus* e 4 da *PubMed*. Após a exclusão dos quatro artigos duplicados, permaneceram 12 artigos para avaliação.

A seleção ocorreu em duas etapas. Na primeira, foram analisados os títulos e resumos, verificando a adequação dos estudos ao tema e aos critérios de inclusão. Na segunda etapa, foi realizada a leitura completa dos artigos selecionados para confirmação de sua relevância.

Foram mantidos apenas os estudos que abordavam a identificação de MPs em ETEs e apresentavam informações sobre os métodos analíticos utilizados para sua detecção, identificação e caracterização.

O processo de identificação, triagem e seleção dos estudos foi realizado conforme as recomendações do PRISMA 2020 e está representado na Figura 1.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

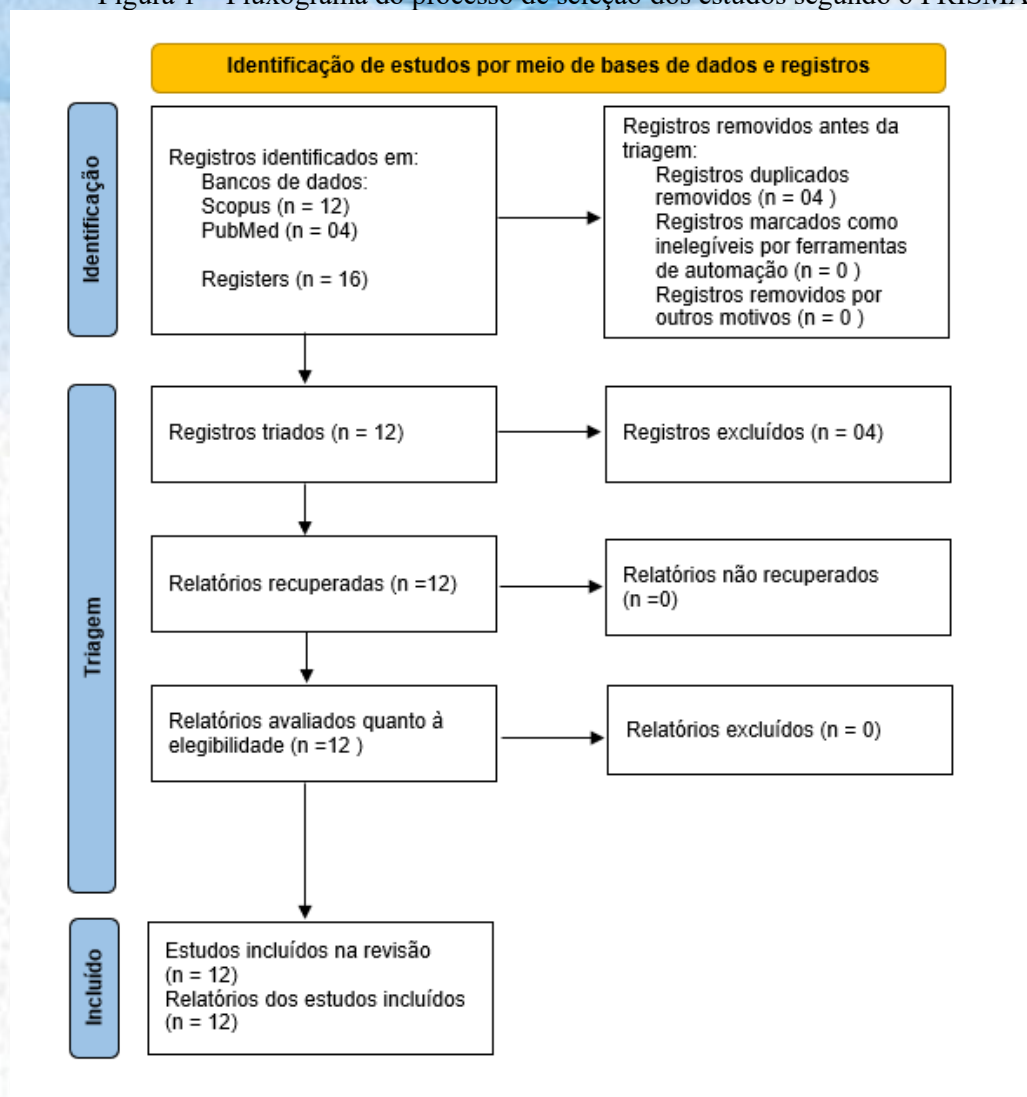


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 1 – Fluxograma do processo de seleção dos estudos segundo o PRISMA 2020.



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.3. Extração e organização dos dados

Após a definição dos artigos incluídos na revisão, foi realizada a extração das informações consideradas relevantes para atender aos objetivos do estudo. Entre os dados coletados estão o ano de publicação, local de realização da pesquisa, matriz analisada, método analítico utilizado, procedimentos

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

de preparo das amostras, principais polímeros identificados, características morfológicas dos microplásticos e os principais resultados reportados pelos autores dos artigos.

As informações extraídas foram organizadas em quadros e analisadas de forma comparativa, permitindo identificar os métodos analíticos mais empregados, suas aplicações nas diferentes matrizes avaliadas, bem como os principais polímeros e morfologias encontrados nos estudos selecionados. A partir dessa análise também foi possível identificar limitações metodológicas, tendências de pesquisa e lacunas existentes na literatura sobre MPs em ETEs.

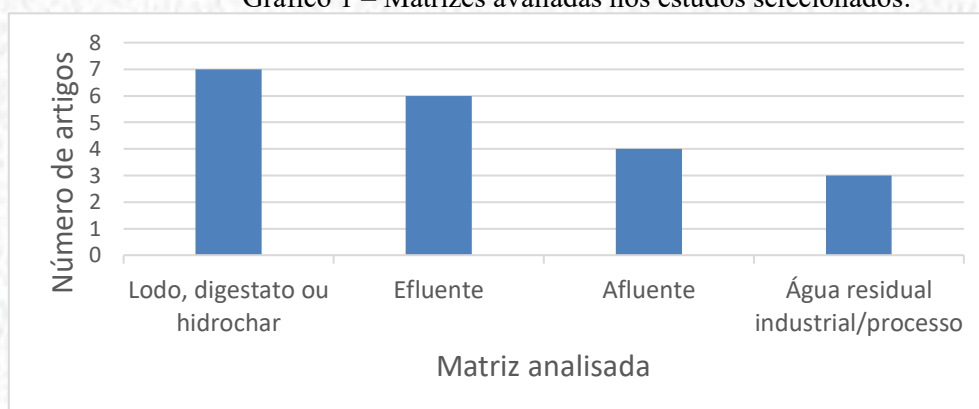
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização geral dos estudos selecionados

Na revisão sistemática, observou-se maior concentração de publicações em 2025, com oito dos estudos selecionados, indicando um aumento recente do interesse científico sobre a identificação de MPs em ETEs.

Os artigos selecionados investigaram diferentes matrizes associadas às ETEs, incluindo afluentes, efluentes tratados, lodos, digestatos e águas residuais industriais (MISERLI & KONSTANTINOU, 2025; ROY *et al.*, 2025; STEINFELD *et al.*, 2025). Observou-se predominância de matrizes sólidas, especialmente lodo e digestato (LESSA BELONE *et al.*, 2025; MOMPÓ-CURELL, DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, *et al.*, 2025a; MOMPÓ-CURELL *et al.*, 2026; PRUS *et al.*, 2025). Como alguns estudos avaliaram mais de uma matriz simultaneamente, o número de ocorrências apresentado no Gráfico 1 é superior ao número de artigos incluídos na revisão.

Gráfico 1 – Matrizes avaliadas nos estudos selecionados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2. Métodos analíticos utilizados na identificação dos microplásticos

A espectroscopia Raman foi a técnica predominante, sendo utilizada em todos os estudos selecionados, como método principal ou complementar. Além do Raman, foram identificadas aplicações

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



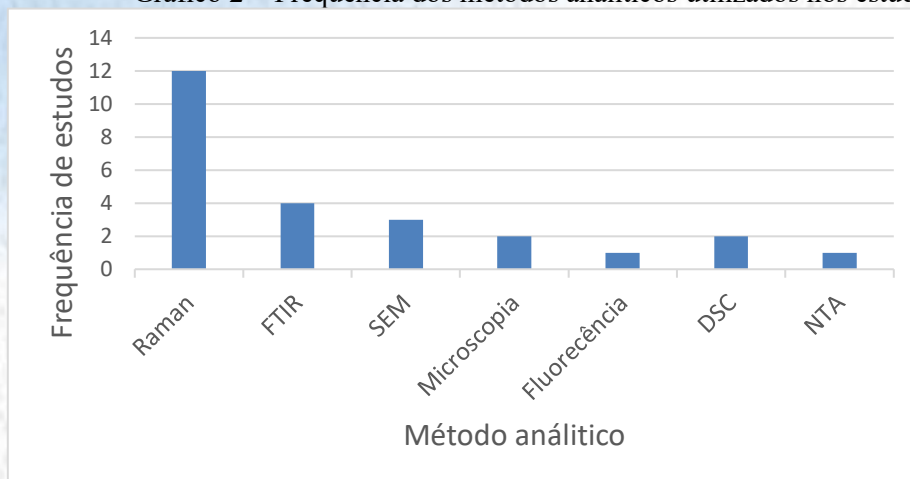
abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

de FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), microscopia óptica, SEM (Scanning Electron Microscopy), fluorescência, DSC (Differential Scanning Calorimetry) e NTA (Nanoparticle Tracking Analysis), conforme apresentado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Frequência dos métodos analíticos utilizados nos estudos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

As técnicas foram empregadas de forma complementar, variando conforme a matriz analisada, o tamanho das partículas e os objetivos de cada estudo.

3.3. Polímeros identificados nos artigos

Os polímeros mais frequentemente identificados foram polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), polietileno tereftalato (PET), policloreto de vinila (PVC), poliamida (PA) e polietileno de alta densidade (HDPE) (LESSA BELONE *et al.*, 2025; MISERLI & KONSTANTINOU, 2025; MOMPÓ-CURELL, DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, *et al.*, 2025a; PRUS *et al.*, 2025; ROY *et al.*, 2025). A presença desses polímeros foi associada principalmente a embalagens, produtos de higiene, fibras têxteis, resíduos industriais e materiais plásticos presentes no esgoto doméstico e industrial (BARKMANN-METAJ *et al.*, 2023; STEINFELD *et al.*, 2025).

Também foram identificados polímeros menos frequentes, como ácido poliacrílico/poliacrilamida (PAA/PAM) e politetrafluoretileno (PTFE), conforme apresentado no Gráfico 3.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

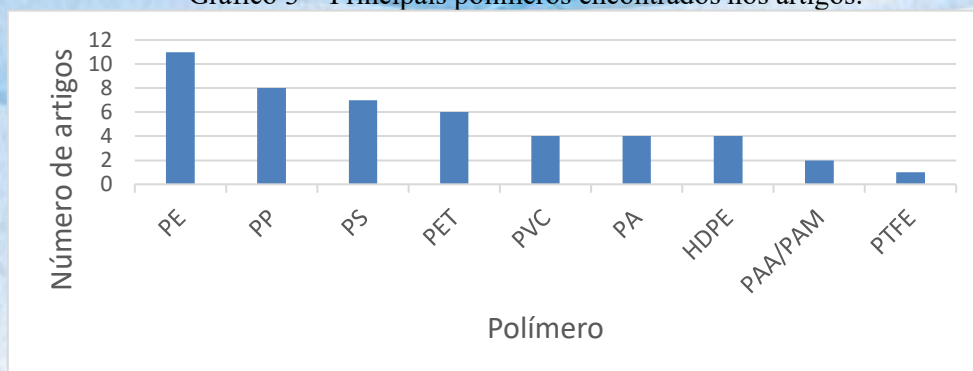


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Gráfico 3 – Principais polímeros encontrados nos artigos.



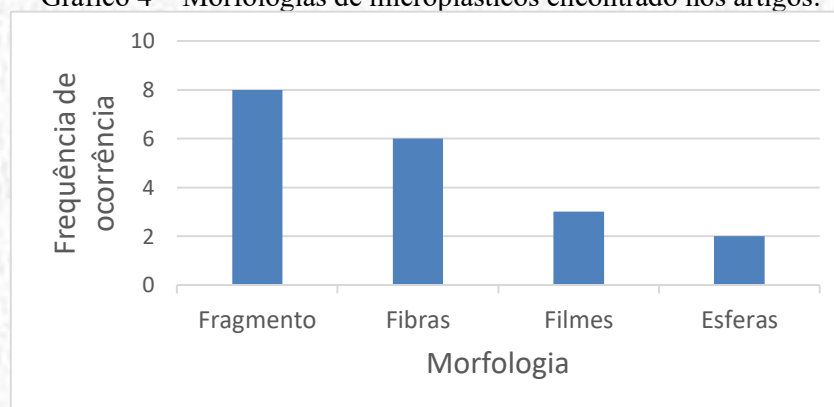
Fonte: Elaborado pelos autores.

No geral, PE e PP foram os polímeros mais recorrentes, possivelmente em razão de sua utilização em embalagens e produtos de consumo diário. PET e PA estiveram frequentemente associados a fibras têxteis, enquanto PVC, PS e HDPE foram identificados em diferentes matrizes e etapas do tratamento.

3.4. Características morfológicas dos microplásticos

As formas morfológicas mais relatadas nos artigos foram fragmentos e fibras, seguidas por filmes e esferas (beads). Os fragmentos foram predominantes em grande parte dos estudos, especialmente em amostras de efluente e lodo, enquanto as fibras estiveram frequentemente associadas ao lançamento de efluentes domésticos e ao uso de materiais têxteis (ISKANDARANI *et al.*, 2026; MISERLI & KONSTANTINOU, 2025; ROY *et al.*, 2025; STEINFELD *et al.*, 2025) (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Morfologias de microplásticos encontrado nos artigos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

A predominância de fragmentos sugere processos de degradação de plásticos maiores, enquanto as fibras estão relacionadas principalmente ao lançamento de efluentes domésticos e materiais têxteis (ISKANDARANI *et al.*, 2026; MISERLI & KONSTANTINOU, 2025; ROY *et al.*, 2025; STEINFELD *et al.*, 2025).

3.5. Síntese comparativa dos estudos selecionados

O Quadro 2 apresenta uma síntese comparativa dos estudos selecionados, incluindo matriz analisada, método analítico, polímeros identificados, morfologias reportadas e principais resultados.

Quadro 2 – Síntese dos artigos incluídos na revisão sistemática.

Autor/Ano	Matriz analisada	Método analítico	Polímeros reportados	Morfologias reportadas	Principais resultados
BARKMAN N-METAJ <i>et al.</i> , 2023	Efluentes industriais	Raman e DSC	PE, PVC, PS, PP, PET e PA	Fragmentos e partículas irregulares	Emissões de MPs em sistemas industriais
MOMPÓ-CURELL <i>et al.</i> , 2024	Lodo	Fluorescência (Nile Red) e Raman/FTIR	HDPE	Fragmentos	HDPE promoveu alterações na comunidade microbiana, mas não afetou significativamente a eficiência da digestão aeróbia.
STEINFELD <i>et al.</i> , 2025	Água residual industrial (afluente e efluente tratado)	Raman	PS, PE, PP, PET, PLA e PVC	Fibras	Remoção superior a 99% dos MPs, porém com emissões residuais nos efluentes tratados.
ROY <i>et al.</i> , 2025	Afluente e efluente	FTIR e Raman	PE, PP, PUR, PET, HDPE	Fibras, fragmentos e filmes	Remoção de 93–96% dos MPs, porém persistência de partículas no efluente tratado.
MOMPÓ-CURELL, IBORRA-CLAR, <i>et al.</i> , 2025b	Lodo	Raman	PE, PP, PET, PU, PA, PVC, PS, ABS	Fragmentos, fibras	Redução de interferências analíticas na identificação de MPs.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

MISERLI & KONSTANT INOU, 2025	Efluente e lodo	Raman, SEM e ATR-FTIR	PAA, PAM, PVC, PAM-co-PAA, PBMA, PEO, PE, PS, PP, EVA, PVA, estireno-butadieno.	Fragmentos, fibras, esferas e filmes	O lodo apresentou maior concentração de MPs
(LESSA BELONE <i>et al.</i> , 2025	Lodo e digestato	Raman	PET (poliéster), PE e PP, PA	Fragmentos e fibras	Concentração de MPs na fração sólida no digestato.
MOMPÓ-CURELL, DOMÍNGUE Z-RODRÍGUE Z, <i>et al.</i> , 2025a	Lodo	Raman	PE, PP, PVC, PET, PA, PU, PS, ABS-PS, PVA e PE-PP	Fragmentos	Influência da densidade do polímero na distribuição dos MPs durante o adensamento e a flotação do lodo.
PRUS <i>et al.</i> , 2025	Lodo digerido	Raman confocal e SEM e microscopia óptica	PS, PE	Fragmentos e fibras	A carbonização hidrotérmica reduziu a ocorrência de MPs em temperaturas mais elevadas.
SONG <i>et al.</i> , 2025	Efluente industrial e lodo da eletrocoagulação	FTIR, Raman, SEM DSC e NTA	PE, PP, PET, PS e PMMA	Não informado	Remoção >99% de microplásticos e 84% de nanoplásticos por sistema híbrido eletroquímico-enzimático.
ISKANDAR ANI <i>et al.</i> , 2026	Afluente, efluente tratado e lodo	Raman e microscopia óptica	PE, PP, PS, EP, PIB, PU, PBT, PET, PVC, PTFE, PC e acrílicos	Fragmentos, fibras	Remoção entre 80–93% dos MPs, com persistência de partículas finas (<50 µm) no efluente tratado.
MOMPÓ-CURELL <i>et al.</i> , 2026	Digestão anaeróbia de lodo	Raman	PS, PET e HDPE	Não informado	HDPE apresentou o maior impacto negativo na produção de biogás e na abundância de metanogênicos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

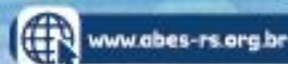
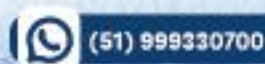
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



3.6. Tendências e lacunas observadas

Observou-se predominância de estudos voltados às matrizes sólidas, especialmente lodo e digestato, devido ao acúmulo de MPs na fração sólida durante o tratamento (LESSA BELONE *et al.*, 2025; MISERLI & KONSTANTINOU, 2025; MOMPÓ-CURELL, DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, *et al.*, 2025a; PRUS *et al.*, 2025). A espectroscopia Raman foi a técnica mais utilizada, frequentemente associada ao FTIR para confirmação da composição polimérica (MISERLI & KONSTANTINOU, 2025; ROY *et al.*, 2025; PRIMPKE *et al.*, 2018). Apesar dos avanços observados, a ausência de padronização metodológica ainda limita a comparação entre estudos, principalmente em relação à amostragem, preparo das amostras, limites de detecção e formas de apresentação dos resultados (COWGER *et al.*, 2020; ZOCCALI *et al.*, 2025).

4. CONCLUSÃO

A revisão sistemática permitiu analisar os principais métodos analíticos utilizados na identificação de MPs em ETEs, evidenciando o crescente interesse científico sobre o tema. Os resultados mostraram que a espectroscopia Raman, frequentemente associada ao FTIR, foi a técnica mais empregada para a identificação e caracterização química dos microplásticos.

Os estudos analisados indicaram a presença de microplásticos em afluentes, efluentes tratados e lodos, com predominância de pesquisas voltadas às matrizes sólidas, especialmente lodo e digestato. Entre os polímeros mais frequentemente identificados destacaram-se PE, PP, PS e PET, enquanto fragmentos e fibras foram as morfologias mais recorrentes.

Apesar dos avanços observados, a ausência de padronização nos procedimentos de amostragem, preparo, identificação e quantificação dos MPs ainda dificulta a comparação entre os estudos. Dessa forma, destaca-se a necessidade de protocolos analíticos mais consistentes e da ampliação de pesquisas voltadas às matrizes líquidas e ao comportamento dos microplásticos em sistemas de tratamento de esgoto.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, incluindo a concessão de bolsa de mestrado, que possibilitou o desenvolvimento deste estudo. Também agradecem à Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) pelo apoio institucional e pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

Azizi, N., Nasser, S., Nodehi, R. N., Jaafarzadeh, N., & Pirsheh, M. (2022). Evaluation of conventional wastewater treatment plants efficiency to remove microplastics in terms of abundance, size, shape, and type: A systematic review and Meta-analysis. In **Marine Pollution Bulletin** (Vol. 177). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113462>

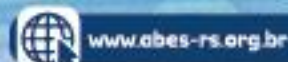
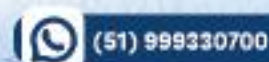
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



Barkmann-Metaj, L., Weber, F., Bitter, H., Wolff, S., Lackner, S., Kerpen, J., & Engelhart, M. (2023). Quantification of microplastics in wastewater systems of German industrial parks and their wastewater treatment plants. **Science of the Total Environment**, 881. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163349>

Becucci, M., Mancini, M., Campo, R., & Paris, E. (2022). Microplastics in the Florence wastewater treatment plant studied by a continuous sampling method and Raman spectroscopy: A preliminary investigation. **Science of the Total Environment**, 808. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152025>

Bretas Alvim, C., Mendoza-Roca, J. A., & Bes-Piá, A. (2020). Wastewater treatment plant as microplastics release source – Quantification and identification techniques. **In Journal of Environmental Management** (Vol. 255). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109739>

Cowger, W., Gray, A., Christiansen, S. H., DeFron, H., Deshpande, A. D., Hemabessiere, L., Lee, E., Mill, L., Munno, K., Ossmann, B. E., Pittroff, M., Rochman, C., Sarau, G., Tarby, S., & Primpke, S. (2020). Critical Review of Processing and Classification Techniques for Images and Spectra in Microplastic Research. **Applied Spectroscopy**, 74(9), 989–1010. <https://doi.org/10.1177/0003702820929064>

Domogalla-Urbansky, J., Anger, P. M., Ferling, H., Rager, F., Wiesheu, A. C., Niessner, R., Ivleva, N. P., & Schwaiger, J. (2019). Raman microspectroscopic identification of microplastic particles in freshwater bivalves (*Unio pictorum*) exposed to sewage treatment plant effluents under different exposure scenarios. **Environmental Science and Pollution Research**, 26(2), 2007–2012. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3609-3>

Gatidou, G., Arvaniti, O. S., & Stasinakis, A. S. (2019). Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants. **Journal of Hazardous Materials**, 367, 504–512. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.081>

Harley-Nyang, D., Memon, F. A., Jones, N., & Galloway, T. (2022). Investigation and analysis of microplastics in sewage sludge and biosolids: A case study from one wastewater treatment works in the UK. **Science of the Total Environment**, 823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153735>

Iskandarani, S., Manjunath, S., Zhu, X., Zhang, Y., Busquets, R., Saikaly, P. E., & Campos, L. C. (2026). Process-dependent removal of fine microplastics in pilot- and full-scale sewage treatment plants. **Journal of Water Process Engineering**, 86. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2026.109958>

Lessa Belone, M. C., Yli-Rantala, E., Sarlin, E., & Kokko, M. (2025). Microplastics in an anaerobic digester treating sewage sludge: Occurrence and factors affecting their identification with Raman spectroscopy. **Journal of Hazardous Materials**, 491. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138015>

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Long, Z., Pan, Z., Wang, W., Ren, J., Yu, X., Lin, L., Lin, H., Chen, H., & Jin, X. (2019). Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China. **Water Research**, 155, 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.028>

Miserli, K., & Konstantinou, I. (2025). Determination of microplastics in municipal wastewater treatment plant effluents and sludge using micro-Raman spectroscopy. **Water Emerging Contaminants and Nanoplastics**, 4(1). <https://doi.org/10.20517/wecn.2024.72>

Mompó-Curell, R., Alonso-Molina, J. L., Amorós-Muñoz, I., Mendoza-Roca, J. A., & Bes-Piá, M. A. (2024). Characterization of HDPE microparticles in sludge aerobic digestion and their influence on the process. **Journal of Environmental Management**, 365. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121704>

Mompó-Curell, R., Alonso-Molina, J. L., Mendoza-Roca, J. A., & Bes-Piá, M. A. (2026). Effect of Microplastics on Anaerobic Digestion Process with Rapidly Degradable Organic Matter. **Microplastics**, 5(1). <https://doi.org/10.3390/microplastics5010039>

Mompó-Curell, R., Domínguez-Rodríguez, A., Luján-Facundo, M. J., Ferrer-Polonio, E., Mendoza-Roca, J. A., & Bes-Piá, M. A. (2025a). Fate of microplastics in sludge concentration: Experimental evaluation of gravity thickening and flotation processes. **Results in Engineering**, 28. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107421>

Mompó-Curell, R., Iborra-Clar, A., Mendoza-Roca, J. A., & Bes-Piá, M. A. (2025b). An improved methodology for microplastics analysis in sludge samples based on monitoring of organic matter oxidation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 13(2). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.115494>

Primpke, S., Wirth, M., Lorenz, C., & Gerdt, G. (2018). Reference database design for the automated analysis of microplastic samples based on Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, 410(21), 5131–5141. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1156-x>

Prus, Z., Szkadłubowicz, K., Mikusińska, J., Drózd, A., Brunarska, I., Chwiej, J., Styszko, K., & Wilk, M. (2025). The Effect of Hydrothermal Carbonization Temperature on Microplastic Content in Digested Sewage Sludge and Its Relation to the Fuel Properties of Hydrochars. **Energies**, 18(19). <https://doi.org/10.3390/en18195105>

Roy, I. R. W., Raj, A. S., & Viaroli, S. (2025). Microplastic removal, identification and characterization in Chennai sewage treatment plants. **Journal of Environmental Management**, 380. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125120>

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Sol, D., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2020). Approaching the environmental problem of microplastics: Importance of WWTP treatments. In **Science of the Total Environment** (Vol. 740). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140016>

Song, J. Y., La, Y. H., Lee, C. S., Seo, J., Roh, H., Sim, A., Lee, J. su, Kim, T. W., & Shin, D. (2025). Electrochemical-enzymatic hybrid process achieves effective removal of micro- and nanoplastic in plastic recycling facilities. **Journal of Water Process Engineering**, 79. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.108965>

Steinfeld, F., Kersten, A., Schabel, S., & Kerpen, J. (2025). Microplastics in German paper mills' wastewater and process water treatment plants: Investigation of sources, removal rates, and emissions. **Water Research**, 271. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.123016>

Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M., & Ni, B. J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. In **Water Research** (Vol. 152, pp. 21–37). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050>

Uddin, S., Behbehani, M., Habibi, N., Faizuddin, M., Al-Murad, M., Martinez-Guijarro, K., Al-Sarawi, H. A., & Karam, Q. (2022). Microplastics in Kuwait's Wastewater Streams. **Sustainability (Switzerland)**, 14(23). <https://doi.org/10.3390/su142315817>

Zhang, B., Wu, Q., Gao, S., Ruan, Y., Qi, G., Guo, K., & Zeng, J. (2023). Distribution and removal mechanism of microplastics in urban wastewater plants systems via different processes. **Environmental Pollution**, 320. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121076>

Zoccali, A., Cantoni, B., Azzellino, A., & Malpei, F. (2025). Removal of microplastics in wastewater treatment plants: Insights from a literature meta-analysis. In **Journal of Environmental Chemical Engineering** (Vol. 13, Number 3). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.116812>

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br