

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS DO PONTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

MARIA EDUARDA CANTON ZANATTA

Conchas de gastrópodes marinhos como arquivos ambientais: investigando registros de ações
antrópicas por meio de microplásticos

Ituiutaba, MG

2026

MARIA EDUARDA CANTON ZANATTA

Conchas de gastrópodes marinhos como arquivos ambientais: investigando registros de ações antrópicas por meio de microplásticos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte das exigências do curso de graduação em Ciências Biológicas – Modalidade Bacharel, do Instituto de Ciências e Natureza do Pontal da Universidade Federal de Uberlândia

Orientadora: Prof. Dra. Sabrina C. Rodrigues

Coorientador: Prof. Dr. Anizio Marcio de Faria

Ituiutaba

2026

MARIA EDUARDA CANTON ZANATTA

Conchas de gastrópodes marinhos como arquivos ambientais: investigando registros de ações antrópicas por meio de microplásticos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte das exigências do curso de graduação em Ciências Biológicas – Modalidade Bacharel, do Instituto de Ciências e Natureza do Pontal da Universidade Federal de Uberlândia

Ituiutaba, 07 de Agosto de 2026

Banca Examinadora:

Sabrina Coelho Rodrigues – Doutora (ICENP)

Anizio Marcio de Faria – Doutor (ICENP)

Kátia Gomes Facure Giaretta– Doutora (ICENP)

Diego Vinícius Anjos Silva – Doutor (ICENP)

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo estímulo, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, principalmente meus pais e minha irmã por todo o apoio durante esses anos de graduação e por estarem ao meu lado em cada etapa desse caminho. Por acreditarem em mim, me incentivarem e me ajudarem a continuar mesmo nos momentos em que tudo parecia mais difícil.

À minha orientadora, professora Sabrina Coelho Rodrigues, agradeço por toda a orientação, paciência, confiança e por ter me acompanhado durante a construção deste trabalho. Obrigada por todos os ensinamentos, pelas conversas e por contribuir tanto para a minha formação ao longo desse processo.

Ao meu coorientador, professor Anízio Marcio de Faria, deixo um agradecimento especial por toda a ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho. Obrigada pela paciência, pelo cuidado em me explicar cada etapa, pelas ideias, discussões e por estar sempre disposto a ajudar quando surgiam dúvidas ou dificuldades.

À Roberta Marcelino, ao Marcos Vinicius Ferreira e ao Renato Pereira Gomes, e a todos do pessoal da Química que fizeram parte desse processo, agradeço muito pelo carinho, pela paciência e por toda a ajuda. Obrigada pelas explicações, pelas ideias, pelas análises e até pelos documentos e materiais preparados com tanto cuidado para que eu pudesse entender melhor cada resultado. A ajuda de vocês fez muita diferença para que este trabalho pudesse ser realizado.

Aos meus amigos e às pessoas que estiveram comigo durante a graduação, obrigada por dividirem comigo não apenas os momentos bons, mas também os dias cansativos, as dúvidas, os medos e toda a correria que fez parte dessa caminhada.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte da minha trajetória até aqui. Finalizar este trabalho representa não apenas o fim de uma etapa acadêmica, mas também tudo o que vivi, aprendi e construí ao longo desses anos.

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo.
Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós
ignoramos alguma coisa.”
(FREIRE, 2002, p. 69)

RESUMO

A presença de microplásticos nos ambientes marinhos tem se tornado uma preocupação cada vez maior devido à sua ampla distribuição e permanência no ambiente. Nesse contexto, este trabalho investigou a possível presença de microplásticos incorporados em conchas de gastrópodes marinhos provenientes da Ilha da Trindade (ES) e de Ubatuba (SP), buscando compreender se essas conchas podem atuar como registros da contaminação presente no ambiente. Para isso, as amostras foram analisadas por espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier, microscopia eletrônica de varredura associada à espectroscopia de dispersão de energia e análise termogravimétrica. Os resultados mostraram que as conchas possuem composição predominantemente mineral, principalmente relacionada ao carbonato de cálcio, com presença de calcita e aragonita. As diferentes análises não identificaram de forma clara a presença dos polímeros investigados nas amostras naturais. Apesar de terem sido observadas diferenças na morfologia dos resíduos presentes nas amostras das duas localidades, essas características não foram suficientes para confirmar a presença de microplásticos. Os testes realizados com amostras fortificadas com policloreto de vinila mostraram que a análise termogravimétrica foi capaz de identificar o polímero quando adicionado às conchas em concentrações conhecidas. Assim, a ausência de detecção nas amostras naturais não significa necessariamente que os microplásticos estejam completamente ausentes, já que podem estar presentes em concentrações ou tamanhos que não foram detectados pelas técnicas utilizadas. Dessa forma, os resultados mostram a importância da utilização de diferentes técnicas na investigação desses contaminantes e apontam para a necessidade de estudos futuros com métodos mais sensíveis, que possam contribuir para compreender melhor o potencial das conchas de gastrópodes como registros da contaminação por microplásticos em ambientes marinhos.

Palavras-chave: Conchas; contaminação ambiental; gastrópodes marinhos; microplásticos; poluição marinha.

ABSTRACT

The presence of microplastics in marine environments has become an increasing concern due to their widespread distribution and environmental persistence. In this context, this study investigated the potential presence of microplastics incorporated into the shells of marine gastropods from Trindade Island (ES) and Ubatuba (SP), aiming to understand whether these shells can serve as records of environmental contamination. To this end, samples were analyzed using Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy, scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDS), and thermogravimetric analysis (TGA). The results revealed a predominantly mineral composition—primarily calcium carbonate, specifically calcite and aragonite. The various analyses did not clearly identify the presence of the investigated polymers in the natural samples. Although morphological differences were observed in the residues found in samples from the two locations, these characteristics were insufficient to confirm the presence of microplastics. Tests conducted on samples spiked with polyvinyl chloride (PVC) demonstrated that thermogravimetric analysis could successfully identify the polymer when added to the shells at known concentrations. Thus, the lack of detection in natural samples does not necessarily imply the complete absence of microplastics, as they may exist at concentrations or sizes below the detection limits of the techniques employed. Consequently, these results highlight the importance of using multiple analytical techniques to investigate such contaminants and underscore the need for future studies using more sensitive methods to better understand the potential of gastropod shells as records of microplastic contamination in marine environments.

Keywords: microplastics; marine gastropods; shells; marine pollution; environmental contamination.

Sumario

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 Gastrópodes muricídeos.....	12
2.2 Conchas como registros ambientais.....	13
2.3 Microplásticos e contaminação dos ambientes marinhos	14
3. METODOLOGIA	16
4. RESULTADOS	22
5. DISCUSSÃO	34
6. CONCLUSÃO	36
7. REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

A poluição marinha representa um dos principais desafios ambientais da atualidade, intensificada a partir da segunda metade do século XX em decorrência do crescimento populacional, da urbanização, da industrialização e do aumento do consumo. De acordo com o art. 1º da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (1982), a poluição marinha é caracterizada pela introdução, direta ou indireta, de substâncias ou energia no ambiente marinho, incluindo os estuários, capazes de provocar efeitos adversos aos ecossistemas marinhos. Entre esses efeitos estão os danos à fauna e à flora marinhas, os riscos à saúde humana, os prejuízos às atividades desenvolvidas no mar, como a pesca, e a deterioração da qualidade da água e das áreas destinadas à recreação (BARRETO, 2013).

Segundo a ONU (1982), os Estados devem adotar medidas para prevenir, reduzir e controlar a poluição do meio marinho. De acordo com os artigos 207 a 212 da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do mar, a poluição marinha foi classificada em seis principais fontes: fontes terrestres; atividades no fundo do mar sujeitas à jurisdição nacional; atividades na área; despejo; embarcações; e poluição proveniente da atmosfera ou que passam por ela. Embora essa classificação continue sendo adotada no direito internacional, atualmente a literatura científica também classifica a poluição marinha de acordo com a natureza dos contaminantes envolvidos, destacando os plásticos, microplásticos, metais pesados, nutrientes e poluentes orgânicos persistentes.

No início do século XX foram desenvolvidos novos materiais, conhecidos como plásticos, que revolucionaram a fabricação e o consumo de produtos em todo o mundo. Constituídos principalmente por polímeros sintéticos ou semissintéticos, esses materiais passaram a ser produzidos em larga escala a partir da segunda metade do século XX devido ao baixo custo de produção, à resistência, à versatilidade e à durabilidade, tornando-se amplamente utilizados nos mais diversos setores. Entretanto, as mesmas características que favoreceram sua ampla utilização também contribuíram para o aumento da poluição ambiental, uma vez que sua elevada resistência à degradação favorece o acúmulo de resíduos, principalmente nos ecossistemas marinhos, onde podem permanecer por centenas de anos (PIATTI; RODRIGUES, 2005).

Essa durabilidade favorece sua fragmentação ao longo do tempo, originando partículas cada vez menores conhecidas como microplásticos. Essas partículas estão presentes em ecossistemas terrestres e aquáticos, sendo encontrados desde fossas oceânicas até regiões montanhosas, o que evidencia sua ampla dispersão ambiental. Os

microplásticos são definidos como pequenas partículas plásticas com dimensões iguais ou inferiores a 5 mm, podendo apresentar diferentes cores, texturas e formatos, incluindo fibras, fragmentos, filmes, esferas e espumas, características que influenciam seu comportamento e sua interação com os organismos e com o ambiente (PINHATTI, 2022).

Segundo Mendonça e Souza (2025), os microplásticos são classificados em duas categorias principais: primários e secundários. Os microplásticos primários são produzidos intencionalmente em pequenas dimensões para aplicações específicas, como cosméticos, produtos de limpeza e equipamentos de pesca, não sendo resultado da degradação de plásticos maiores. Já os microplásticos secundários surgem indiretamente, ou seja, como resultado da fragmentação de plásticos maiores, processo que ocorre gradualmente em decorrência da exposição à radiação solar, às variações de temperaturas e à ação de organismos.

A presença de microplásticos nos oceanos e mares é responsável pelos impactos ambientais, econômicos e sociais. Na biodiversidade marinha, estima-se que mais de 800 espécies de animais sejam afetadas pela ingestão ou pelo emaranhamento em resíduos plásticos, comprometendo sua sobrevivência e, em alguns casos, contribuindo para o declínio populacional. Além disso, devido ao seu pequeno tamanho e à variedade de formatos, os microplásticos são frequentemente confundidos com alimento, sendo ingeridos por diversos organismos, como aves, peixes, mamíferos marinhos e invertebrados. Essa ingestão pode causar obstrução do trato digestório, redução do crescimento, alterações reprodutivas, comprometimento da alimentação e outros efeitos fisiológicos (VIEIRA, 2025).

Entre os grupos afetados pela presença de microplásticos estão os invertebrados aquáticos. Após a ingestão, esses polímeros sintéticos não são facilmente degradados por vias metabólicas, devido à ausência das enzimas capazes de transformá-los em compostos mais simples e não tóxicos. Por esse motivo, essas pequenas partículas podem permanecer no organismo, causando possíveis efeitos, como inflamação e diminuição da estabilidade da membrana lisossomal (GOLA et al., 2021).

Entre os invertebrados marinhos afetados pela presença de contaminantes estão os moluscos, grupo no qual se encontram os gastrópodes. Esses organismos apresentam conchas mineralizadas externas que, além de protegerem os tecidos moles, possuem características relacionadas às condições ambientais em que são formadas. As conchas são constituídas principalmente por carbonato de cálcio, associado a uma pequena quantidade de componentes orgânicos que participam de sua formação por meio do

processo de biomineralização. Esse processo ocorre ao longo da vida do organismo, com a deposição gradual de novas camadas que promovem o crescimento da concha. Como sua formação ocorre em interação com o organismo e com o ambiente, características como morfologia, microestrutura e composição podem ser influenciadas por fatores como temperatura, disponibilidade de alimento, fisiologia do animal e presença de contaminantes. Dessa forma, alterações naturais ou decorrentes de atividades antrópicas podem interferir na biomineralização e provocar modificações nas características das conchas (HARAYASHIKI et al., 2020).

A Paleobiologia da Conservação utiliza registros do passado para compreender mudanças ambientais e ecológicas que ocorreram ao longo do tempo. A partir de fósseis, restos de organismos, sinais geoquímicos e outros registros preservados, é possível obter informações que muitas vezes não são acessíveis apenas pelo monitoramento dos ambientes atuais. A comparação desses registros com dados recentes permite identificar mudanças nos ecossistemas e entender como eles responderam a diferentes alterações ambientais. Dessa forma, a Paleobiologia da Conservação contribui para compreender os impactos das ações antrópicas ao longo do tempo, além de fornecer informações importantes para a conservação e o manejo da biodiversidade (SILVÉRIO, 2026).

Além das alterações que podem ocorrer no organismo, as conchas dos moluscos também podem apresentar mudanças relacionadas às condições do ambiente em que vivem. Características como forma, espessura, densidade, microestrutura e composição podem sofrer alterações devido à exposição a contaminantes, permitindo que as conchas sejam utilizadas como indicadores de contaminação ambiental. Além disso, a comparação entre conchas atuais e exemplares antigos preservados em coleções de museus mostrou mudanças ao longo do tempo relacionadas ao aumento da contaminação, destacando o potencial dessas estruturas para fornecer informações sobre alterações ambientais ocorridas no passado (GOUVEIA et al., 2022).

Além de causarem efeitos nos organismos, os microplásticos também podem estar presentes em suas estruturas calcárias. Em *Pinctada fucata* (A. Gould, 1850) (Mollusca: Bivalvia), foram identificadas partículas de microplásticos incorporadas as conchas e presentes também nas pérolas. Os resultados demonstraram que essas partículas podem ser incorporadas a essas estruturas durante sua formação, além de estarem associadas a alterações em suas características estruturais. Esses achados ampliam a compreensão sobre a interação dos microplásticos com os moluscos, mostrando que sua presença não se limita aos tecidos e ao trato digestório (HAN et al., 2022).

A interação entre os microplásticos e estruturas calcárias também foi observada experimentalmente durante a formação da aragonita. Partículas de polietileno e poliestireno foram encapsuladas durante o crescimento dos cristais, demonstrando que os microplásticos podem ficar retidos na estrutura mineral durante sua formação. Além disso, a presença dessas partículas provocou alterações nas propriedades mecânicas da aragonita. Apesar desses resultados, os autores destacam a necessidade de estudos em organismos calcificadores para compreender como esse processo ocorre em estruturas formadas biologicamente (MATIJAKOVIĆ MLINARIĆ et al., 2024).

Apesar dos avanços nos estudos sobre a interação dos microplásticos com moluscos, as pesquisas têm se concentrado principalmente na ingestão, bioacumulação e nos efeitos dessas partículas sobre os organismos (RODRIGUES 23). Por outro lado, a investigação da presença de microplásticos diretamente nas conchas ainda são pouco numerosas e estão concentradas principalmente em bivalves, enquanto essa abordagem permanece pouco explorada em gastrópodes, ordem mais diversa dentro os Mollusca. Dessa forma, investigar a presença dessas partículas nas conchas de gastrópodes marinhos pode contribuir para ampliar o conhecimento sobre seu potencial como registros da poluição por microplásticos e das ações antrópicas nos ambientes marinhos.

Diante desse contexto, este estudo busca responder à seguinte questão: as conchas de gastrópodes marinhos podem atuar como arquivos ambientais da contaminação por microplásticos, registrando evidências de ações antrópicas? Para responder a essa questão, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial das conchas de gastrópodes marinhos como arquivos ambientais, por meio da investigação da presença de microplásticos, buscando compreender sua utilização como registros de ações antrópicas nos ambientes marinhos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Gastrópodes muricídeos

O filo Mollusca é um dos grupos mais diversos do reino animal, tendo cerca de 200 mil espécies, sendo encontrado em diferentes ambientes, principalmente nos ecossistemas marinhos. Dentro desse filo, a classe Gastropoda se destaca por apresentar uma grande diversidade de espécies (> 70.000 mil espécies viventes) encontradas principalmente em ambientes marinhos, mas também ocorrem em ambientes de água

doce e terrestres, sendo o único grupo de moluscos que possui espécies adaptadas à vida terrestre (VITONIS, 2016).

Nos ambientes costeiros, os gastrópodes estão presentes em diferentes habitats, incluindo os costões rochosos, onde podem formar comunidades com grande diversidade de espécies. Esses organismos apresentam diferentes hábitos alimentares e sua distribuição pode estar relacionada às características ambientais de cada região. Além disso, fatores naturais e antrópicos podem influenciar a composição e a distribuição das comunidades de gastrópodes nesses ambientes (AGUILERA et al., 2013).

Entre os gastrópodes marinhos, a família Muricidae se destaca por apresentar uma grande diversidade de espécies e de características morfológicas. Essa diversidade pode ser observada principalmente nas conchas, que apresentam diferentes formas e características e são utilizadas na classificação dos diferentes grupos que compõem a família. Além disso, algumas características anatômicas, como o opérculo e a rádula, também são utilizadas na identificação e classificação dos muricídeos (BARCO et al., 2010).

As conchas dos gastrópodes apresentam grande diversidade de formas e características, embora compartilhem um padrão básico de crescimento. Essas estruturas crescem principalmente pela região da abertura, com o aumento progressivo do número de voltas ao longo do desenvolvimento do organismo. Como consequência desse processo, as partes formadas anteriormente permanecem preservadas na concha, mantendo um registro do crescimento ontogenético do animal ao longo de sua vida (JOHNSON et al., 2019).

2.2. Conchas como registros ambientais

As conchas são estruturas biominerais que têm como uma de suas funções a proteção dos moluscos contra agressões físicas e químicas. Essas estruturas crescem ao longo da vida do organismo e podem registrar mudanças nas condições ambientais. Uma concha média é composta, em média, por 95–99% de minerais, principalmente carbonato de cálcio (CaCO_3), e 0,1–5% de fração orgânica, como proteínas, polissacarídeos e quitina. Além disso, muitos estudos microquímicos demonstram que o acúmulo de elementos como Ba, Mg, Mn e Sr nas conchas pode ser utilizado como indicadores de fatores ambientais (MARIMOUTOU et al., 2023).

O registro de vida dos moluscos, incluindo informações sobre mudanças ambientais, pode ser armazenado nas matrizes das conchas por meio de alterações estruturais, morfológicas e químicas. Estudos realizados com conchas de gastrópodes expostas a substâncias perigosas, evidenciaram alterações na forma e na composição das matrizes inorgânicas e orgânicas. Essas alterações podem estar relacionadas à contaminação costeira e vêm sendo estudadas como potenciais biomarcadores de poluição. Um exemplo é a *Stramonita brasiliensis* (Claremont & D. G. Reid, 2011) (Mollusca: Gastropoda: Muricidae), que apresentou diferentes formatos de concha entre locais com diferentes níveis de, sendo essas variações propostas como potenciais indicadores generalistas de poluição costeira (GOUVEIA et al., 2022).

2.3. Microplásticos e contaminação dos ambientes marinhos

Os plásticos são fortes responsáveis pela poluição dos ecossistemas marinhos, devido aos descartes inadequados de resíduos sólidos, ao despejo de efluentes e a sua composição química, que os torna mais resistentes às condições de temperaturas e salinidade da água, dificultando sua decomposição. Esses polímeros podem ser degradados e fragmentados pela ação das ondas, resultando na formação de partículas menores chamadas de microplásticos. Essas partículas possuem baixa biodegradação e apresentam um tamanho máximo de 5mm. De acordo com sua origem, os microplásticos podem ser classificados de duas maneiras: primários, quando são produzidos originalmente em pequenas dimensões, e secundários, quando são formados a partir da fragmentação gradual de materiais plásticos maiores (DÍAZ-MENDOZA et al., 2020).

Muitos estudos têm investigado a presença de microplásticos em moluscos, porém a maioria se concentra em bivalves, enquanto os estudos envolvendo gastrópodes, classe mais diversa do filo Mollusca, ainda são raros. Contudo, já existem alguns registros da ingestão dessas partículas por gastrópodes marinhos (FURFARO et al., 2022). Além de causarem efeitos nos organismos, os microplásticos também podem estar presentes em suas estruturas calcárias. No bivalve *Pinctada fucata* foram identificadas partículas de microplásticos tanto nas conchas quanto nas pérolas. Os resultados demonstraram que essas partículas podem ser incorporadas a essas estruturas durante sua formação, além de estarem associadas a alterações em suas características estruturais. Esses achados ampliam a compreensão sobre a interação dos microplásticos com os moluscos,

mostrando que sua presença não se limita aos tecidos e ao trato digestório (HAN et al., 2022).

A interação entre os microplásticos e estruturas calcárias também foi observada experimentalmente durante a formação da aragonita. Partículas de polietileno e poliestireno foram encapsuladas durante o crescimento dos cristais, demonstrando que os microplásticos podem ficar retidos na estrutura mineral durante sua formação. Além disso, a presença dessas partículas provocou alterações nas propriedades mecânicas da aragonita. Apesar desses resultados, os autores destacam a necessidade de estudos em organismos calcificadores para compreender como esse processo ocorre em estruturas formadas biologicamente (MATIJAKOVIĆ MLINARIĆ et al., 2024). Além disso, ressalta-se que os estudos sobre a interação dos microplásticos com moluscos têm se concentrado principalmente na ingestão, bioacumulação e nos efeitos dessas partículas sobre os organismos (RODRIGUES et al., 2023).

Em um estudo realizado com *Bursatella leachii*, espécie de gastrópode encontrada em uma região costeira com elevada presença de resíduos plásticos, foram encontrados microplásticos no conteúdo estomacal de todos os seis indivíduos analisados. Apesar do baixo número amostral ($n = 6$), o estudo fornece evidências da ingestão de microplásticos por essa espécie, embora os resultados não possam ser generalizados para os gastrópodes como um todo. Ainda existem lacunas sobre a interação dessas partículas com os representantes da classe Gastropoda de modo geral (FURFARO et al., 2022).

3. METODOLOGIA

3.1. Material de estudo e origem das amostras

As amostras de gastrópodes foram coletadas nos dois ambientes distintos: ambiente praiar na localidade de Ilhas de Trindade (ES) e plataformar raso na localidade de Ubatuba (SP), cuja metodologia de coleta está descrita em GHILARD et al. (2020). A escolha dessa áreas de coleta levou em consideração a exposição a ação antrópica, sendo a baía de Ubatuba mais exposta às alterações ambientais em decorrência da intervenção humana (e.g., barcos pesqueiros e turismo sazonal) do que as Ilhas Trindade que consistem em área protegida pela Marinha Brasileira, sem possibilidade de estabelecimento de moradia e turismo. Foram utilizadas 33 conchas de gastrópodes marinhos (Figura 1), sendo 11 provenientes de Ubatuba (SP) e 22 da Ilha da Trindade (ES). As amostras foram organizadas de acordo com o táxon, localidade, condição do organismo no momento da coleta, ponto de coleta e profundidade. A caracterização das amostras utilizadas no estudo está apresentada na Tabela 1.

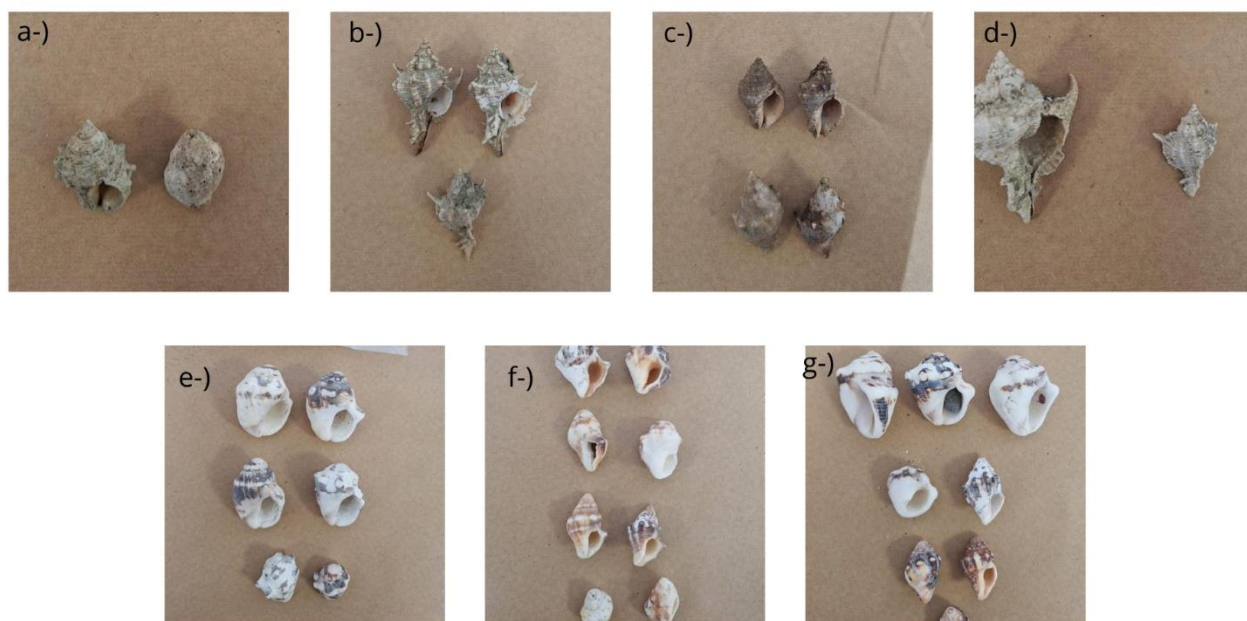


Figura 1 – Exemplares das conchas de gastrópodes marinhos utilizadas no estudo: (a) *Stramonita brasiliensis*, Ubatuba (SP); (b) *Siratus senegalensis*, Ubatuba (SP); (c) *Stramonita brasiliensis*, Ubatuba (SP); (d) *Siratus senegalensis*, Ubatuba (SP); (e) *Vasula*

desltoidea, Ilha da Trindade (ES); (f) *Gastrópode carnívoros*, Ilha da Trindade (ES); (g) cf *Stramonita rustica*, Ilha da Trindade (ES). **Fonte:** Elaborado pelo autor (2026).

Tabela 1 – Caracterização das amostras de gastrópodes marinhos utilizadas no estudo

Táxon	Tamanho amostral (n)	Localidade	Condição da concha	Profundidade (m)
<i>Stramonita brasiliensis</i>	2	Ubatuba	Morto	10
<i>Siratus senegalensis</i>	3	Ubatuba	Vivo	10
<i>Stramonita brasiliensis</i>	4	Ubatuba	Vivo	10
<i>Siratus senegalensis</i>	2	Ubatuba	Morto	10
<i>Vasula desltoidea</i>	6	Trindade	Morto	0 - Praia dos Cabritos
Gastrópode carnívoros	8	Trindade	Morto	0 - Praia dos Cabritos
cf <i>Stramonita rustica</i>	8	Trindade	Morto	0 – Praia Brava

Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 Preparação, secagem e pesagem das amostras

Antes do início do processamento das amostras, a bancada de trabalho foi limpa e os materiais que poderiam representar possíveis fontes de contaminação por plástico foram retirados do local. Durante todas as etapas de preparação, limpeza, medição, acondicionamento, secagem e pesagem das conchas realizadas antes do processamento no laboratório de Química, foram utilizadas luvas nitrílicas. Inicialmente, todas as conchas foram lavadas em água corrente para a remoção de sujidades superficiais. Em seguida, cada amostra foi limpa individualmente com auxílio de pincel e água destilada, utilizando três béqueres sucessivos, conforme figura 2. As conchas permaneceram aproximadamente 10 minutos em cada béquer e, antes da transferência para o seguinte, foram novamente limpas com o pincel, buscando remover os resíduos presentes em sua superfície.

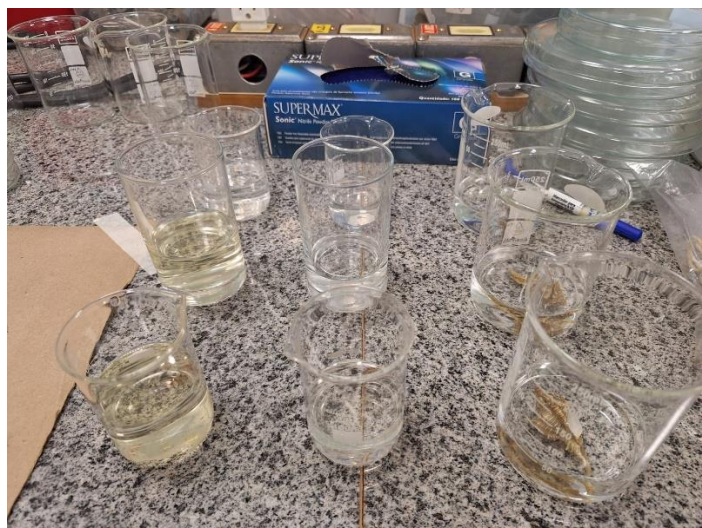


Figura 2 - Limpeza das conchas em béqueres contendo água destilada.

Fonte: Acervo da autora (2026).

Após a passagem pelos três béqueres, as conchas foram mantidas em temperatura ambiente para secagem natural (figura 3). As amostras foram identificadas de acordo com o táxon e a localidade de origem, utilizando papel e lápis para auxiliar no controle e na identificação, e posteriormente acondicionadas individualmente em papel-alumínio. Em seguida, foram realizadas as medidas de altura e comprimento das conchas com auxílio de paquímetro, e os valores obtidos foram registrados em planilha.



Figura 3 – Secagem das conchas em temperatura ambiente após a etapa de limpeza.

Fonte: Acervo da autora (2026).

3.3 Secagem e determinação da massa das conchas

Após a realização das medidas, cada concha foi colocada em estufa a 50 °C para secagem (figura 4). Em intervalos de uma hora, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas individualmente em balança, sendo posteriormente retornadas à estufa para continuidade da secagem. O procedimento foi repetido até a estabilização da massa, considerada após quatro pesagens consecutivas, admitindo-se variação de até quatro unidades no último algarismo apresentado pela balança.



Figura 4 – Secagem das conchas em estufa a 50 °C.

Fonte: Acervo da autora (2026).

3.4 Fragmentação e maceração das conchas

Após a estabilização da massa, uma porção de cada concha foi selecionada para o processamento. Devido à rigidez do material, as conchas foram inicialmente fragmentadas com auxílio de um alicate e martelo e, posteriormente, maceradas individualmente em almofariz e pistilo de ágata polida. Durante a fragmentação, cada amostra foi posicionada sobre uma folha de papel-alumínio, utilizada para recuperar os fragmentos gerados e evitar a perda de material (figuras 5 e 6). Após a maceração, o material obtido foi transferido para recipientes de vidro individualmente identificados.



Figura 5 – Materiais utilizados na maceração e acondicionamento das amostras.

Fonte: Acervo da autora (2026).



Figura 6 – Maceração dos fragmentos de concha em almofariz e pistilo de ágata polida.

Fonte: Acervo da autora (2026).

Entre o processamento de uma amostra e outra, a bancada e os instrumentos utilizados foram higienizados com álcool, e a folha de papel-alumínio foi substituída, com o objetivo de reduzir a possibilidade de transferência de material entre as amostras. Apenas uma porção de cada concha foi macerada, sendo o restante preservado.

3.5 Análise na espectroscopia no infravermelho

Após a maceração, uma porção do material obtido de cada uma das 33 amostras foi submetida à análise por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Para a realização da análise, uma pequena quantidade do material macerado foi retirada do recipiente de vidro e posicionada diretamente no equipamento para obtenção do espectro de cada amostra. Posteriormente, os espectros obtidos foram submetidos a tratamento matemático, incluindo correção da linha de base, suavização e normalização, permitindo a comparação entre as amostras.

3.6 Análise de Componentes Principais (PCA)

Após o processamento dos espectros obtidos por FTIR, os dados das 33 amostras foram submetidos à Análise de Componentes Principais (PCA, do inglês *Principal Component Analysis*). A análise foi utilizada para reduzir a dimensionalidade dos dados espectrais e avaliar padrões de similaridade e diferenciação entre as amostras provenientes de Ubatuba (SP) e da Ilha da Trindade (ES).

3.7 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Para a análise por espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), foi separada uma pequena porção de aproximadamente 10 mg de cada amostra, na forma de pó finamente dividido, com o objetivo de avaliar os grupos funcionais característicos presentes no material. Dessa porção, cerca de 1 a 3 mg foram prensados sobre o cristal de diamante do espectrofotômetro Agilent Technologies, modelo Cary 630 FTIR. As medidas foram realizadas na faixa espectral de 4000 a 650 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e taxa de 128 varreduras min^{-1} . As análises foram realizadas no Laboratório de Química de Materiais da Rede de Laboratórios Multiusuários da Universidade Federal de Uberlândia (RELAM-Pontal).

3.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para caracterizar a morfologia das amostras e auxiliar na identificação de microplásticos. Para a análise, o pó finamente dividido de algumas amostras foi colocado em porta-amostras de aço contendo fita de carbono dupla face. Em seguida, as amostras foram recobertas com uma fina camada de ouro, por meio do bombardeamento do metal com átomos de argônio sob alto vácuo durante 120 segundos, formando uma camada de aproximadamente 10 nm de espessura. Os porta-amostras foram então introduzidos em um microscópio eletrônico de varredura TESCAN, modelo Vega3 (Tóquio, Japão), equipado com microsonda de raios X. As micrografias das amostras foram obtidas em diferentes ampliações. As análises foram realizadas no Laboratório Multiusuários do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia (IQ/UFU).

3.9 Análise termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica (TGA) foi realizada para avaliar as propriedades térmicas das amostras. Para isso, uma pequena porção de aproximadamente 5 mg do pó finamente dividido foi colocada na microbalança do analisador térmico e submetida ao aquecimento na faixa de 25 °C a 900 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹, permitindo relacionar a diminuição da massa da amostra com o aumento da temperatura. As medidas foram realizadas sob atmosfera de nitrogênio (N₂), utilizando um analisador termogravimétrico TA Instruments, modelo TGA-55 (New Castle, DE, EUA), localizado na RELAM-Pontal.

Além disso, amostras fortificadas com 10%, 1% e 0,1% de PVC foram analisadas por TGA, com o objetivo de identificar os eventos térmicos associados ao polímero no material e compará-los com aqueles observados nas amostras sem fortificação, buscando verificar a possível presença de microplásticos.

4. RESULTADOS

4.1 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros obtidos por FTIR foram analisados com o objetivo de avaliar a composição química das conchas e verificar a presença de sinais que pudessem estar relacionados a polímeros. Antes da análise, os espectros foram submetidos a um

tratamento matemático para reduzir interferências instrumentais e permitir uma comparação mais confiável entre si. Esse tratamento incluiu a correção da linha de base para eliminar desvios do sinal, a suavização dos espectros para reduzir o ruído experimental e a normalização para minimizar diferenças decorrentes da quantidade de material analisado ou do contato da amostra com o cristal do equipamento.

Tabela 2 – Principais sinais e suas respectivas atribuições esperadas no FTIR para as amostras analisadas.

Região (cm⁻¹)	Atribuição
3600–3200	$\nu(\text{O-H})$ de água adsorvida e compostos orgânicos
2950–2850	$\nu(\text{C-H})$ alifático (lipídios, matéria orgânica, eventualmente PE/PP)
1650–1600	$\delta(\text{H-O-H})$ da água e Amida I
1540	Amida II (proteínas da concha)
1450–1410	$\nu_3(\text{CO}_3^{2-})$ muito intenso
1080–1000	C–O / polissacarídeos / silicatos
875–872	$\nu_2(\text{CO}_3^{2-})$
712	$\nu_4(\text{CO}_3^{2-})$ (calcita)
700–705	Aragonita

Fonte: Anizio Marcio de Faria (2026).

Foram consideradas regiões que podem apresentar sinais característicos de microplásticos. A banda em 2950 e 2850 cm⁻¹, associada ao estiramento C–H alifático pode indicar grupos CH₂ e CH₃ associados a lipídios, matéria orgânica ou microplásticos. A região 1700 e 1735 cm⁻¹, pode indicar carbonilas (C=O) ou produtos de oxidação associados ao PET, ao PMMA, ao PVC oxidado ou à matéria orgânica. A região 1100 e 1000 cm⁻¹ pode conter contribuição de C–O–C de ésteres, de PET, de polissacarídeos ou de biofilmes. Já entre 730 e 720 cm⁻¹, alguns polímeros apresentam bandas nessa faixa: PE, PP e PVC. Entretanto, há uma sobreposição importante com o carbonato, no qual foi detectado no FTIR nas amostras analisadas:

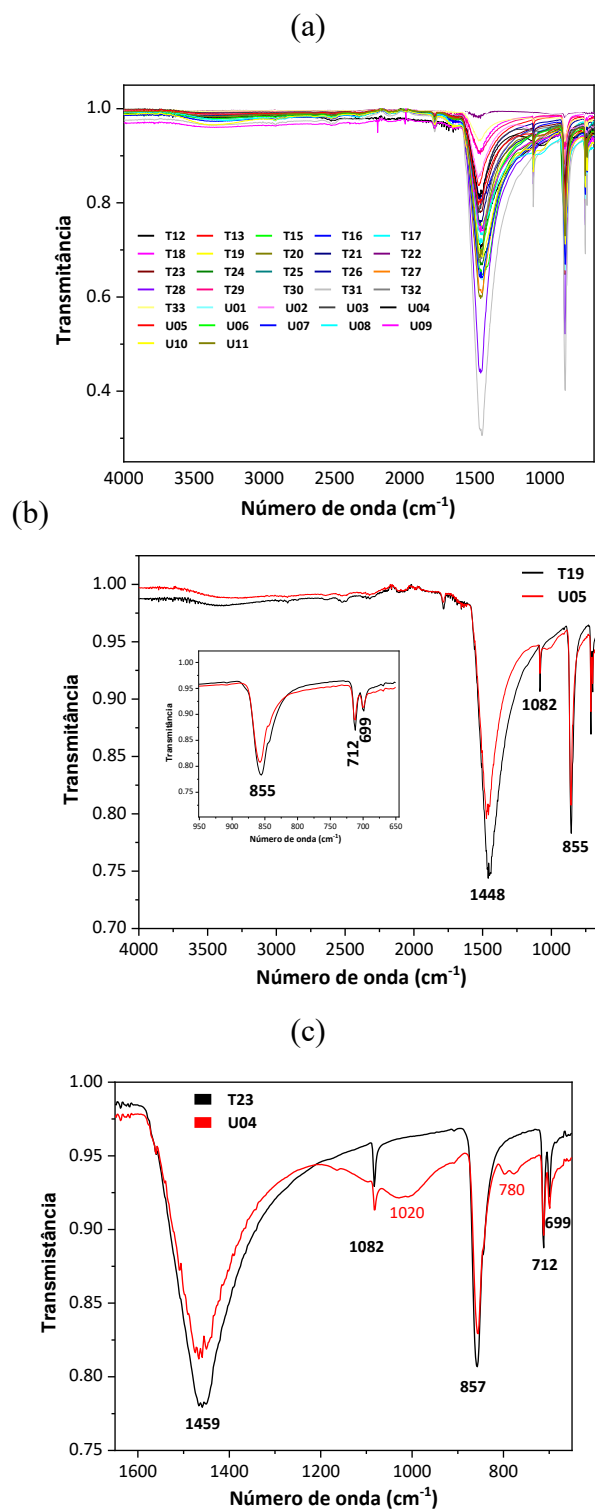


Figura 7 – Espectros FTIR das amostras de conchas coletadas na Ilha da Trindade e em Ubatuba: (a) espectros das 33 amostras analisadas; (b) comparação entre os espectros das amostras T19 e U05; (c) comparação entre os espectros das amostras T23 e U04. Fonte: Anizio Marcio de Faria (2026).

A análise dos espectros de FTIR das 33 amostras, apresentadas na Figura 7a, mostrou que os sinais registrados podem ser atribuídos à assinatura mineral das conchas. O conjunto de bandas registradas em $\approx 1450\text{ cm}^{-1}$, $\approx 855\text{ cm}^{-1}$, $\approx 710\text{ cm}^{-1}$ e $\approx 700\text{ cm}^{-1}$, conforme observado na Tabela 2, é praticamente diagnóstico de carbonato de cálcio. A comparação entre amostras específicas permitiu observar com maior detalhe essas bandas, como apresentado para as amostras T19 e U05 na Figura 7b e T23 e U04 na Figura 7c. Dependendo da espécie de molusco, pode haver predominância de calcita, de aragonita ou de uma mistura das duas fases. Nas amostras analisadas, a mistura das duas formas cristalinas do CaCO_3 está presente nas conchas, de acordo com os espectros de FTIR, com sinais em 710 cm^{-1} (calcita) e 700 cm^{-1} (aragonita).

Com o objetivo de avaliar possíveis diferenças entre as amostras provenientes das duas localidades, os dados espectrais foram submetidos à Análise de Componentes Principais (PCA). Os dois primeiros componentes principais explicaram 97,5% da variância total e 69,4% correspondente ao primeiro componente principal (PC1) e 28,1% ao segundo componente principal (PC2). O gráfico de dispersão obtido pela PCA está apresentado na Figura 8.

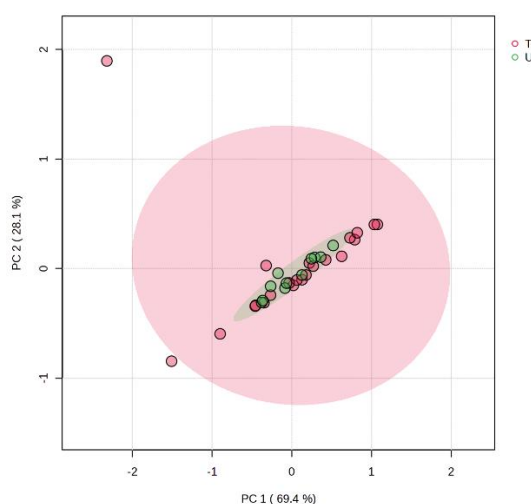


Figura 8 - Gráfico de dispersão da Análise de Componentes Principais (PCA) dos dados espectrais obtidos por FTIR das amostras de conchas coletadas em Ubatuba (U) e na

Ilha da Trindade(T).

Fonte: Anizio Marcio de Faria (2026).

No presente estudo, o PCA indicou que as conchas provenientes das áreas com maior atividade humana e das áreas preservadas apresentaram grande semelhança química, não sendo observada uma separação clara entre os grupos. Isso indica que, a espectroscopia FTIR não foi capaz de discriminar os grupos amostrais com base no grau de influência antrópica do ambiente de coleta. É muito provável que os principais responsáveis pela variabilidade sejam pequenas diferenças na intensidade das bandas de carbonato em $\sim 1450\text{ cm}^{-1}$, $\sim 855\text{ cm}^{-1}$ e $\sim 712\text{ cm}^{-1}$, e não bandas relacionadas à matéria orgânica ou a polímeros, que não foram detectadas nas amostras.

4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para uma avaliação da superfície em diferentes escalas, foram empregadas as ampliações de 500, 1k e 5kx, o que permite tanto uma ampla investigação dos resíduos, quanto em detalhes. Nas imagens, observa-se ao fundo uma estrutura porosa, correspondente à membrana utilizada durante a etapa de filtração. As micrografias são apresentadas na figura 9.

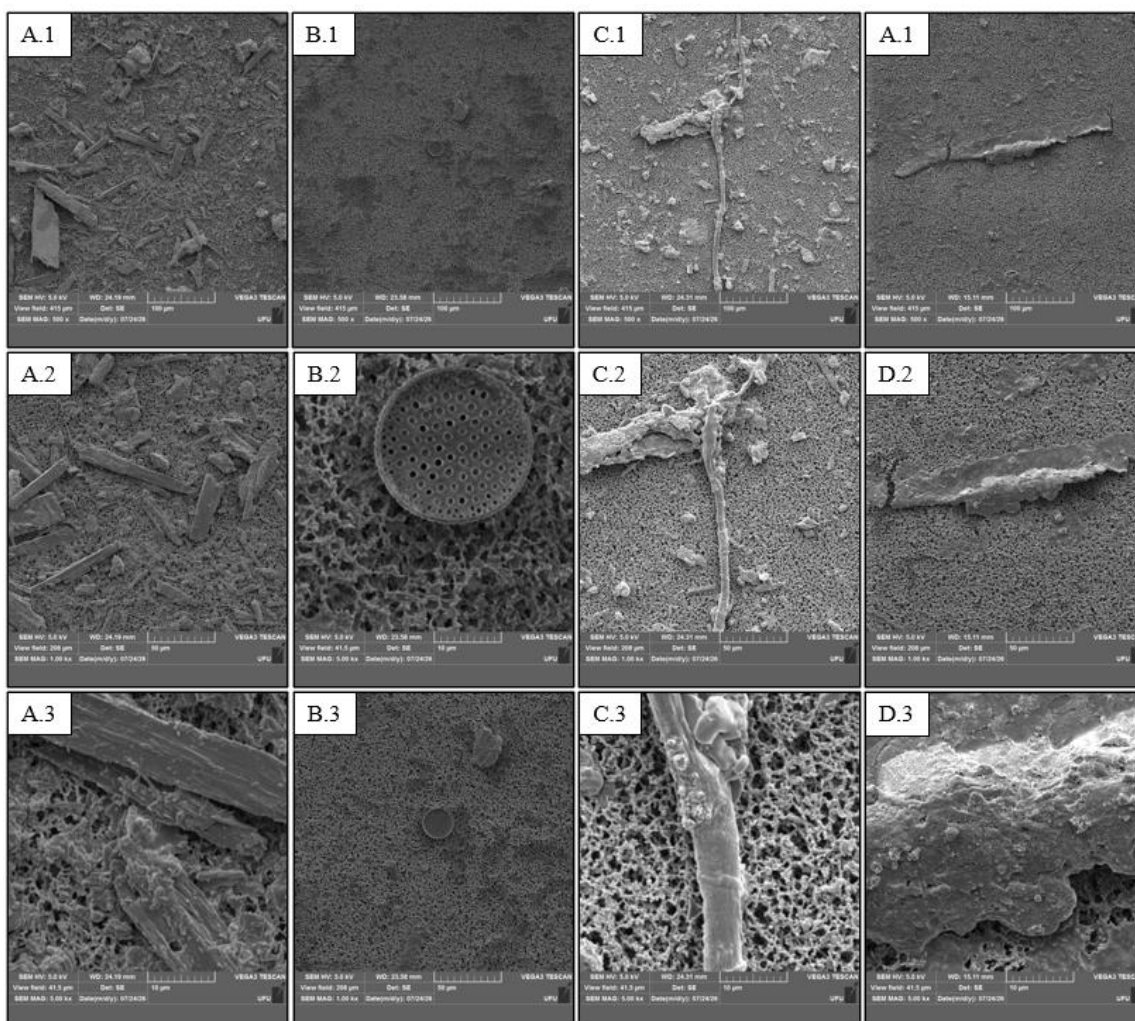


Figura 9- Imagens de MEV obtidas para as conchas coletadas em diferentes lugares. (A) T28 KOH; (B) U11 HCl; (C) U5 KOH e (D) T22 HCl. Ampliações: (.1) 500 x; (.2) 1kx e (.3) 5 kx.

Fonte: Renato Pereira Gomes (2026)

As partículas observadas apresentaram morfologia predominantemente angular e heterogênea, com diferentes formas e tamanhos entre as amostras. As amostras provenientes da Ilha da Trindade apresentaram uma distribuição mais homogênea dos resíduos, sem estruturas muito diferentes entre si. Já nas amostras de Ubatuba, foi observada maior heterogeneidade superficial, com partículas apresentando diferentes morfologias. Apesar dessas diferenças entre as localidades, a análise por MEV não permitiu identificar de forma clara a presença de microplásticos nas amostras analisadas.

A fim de identificar a composição da estrutura circular encontrada na Figura 9B, foi realizada a análise por espectroscopia por dispersão de energia (EDS), acoplada ao MEV. A resposta obtida é apresentada na figura 10.

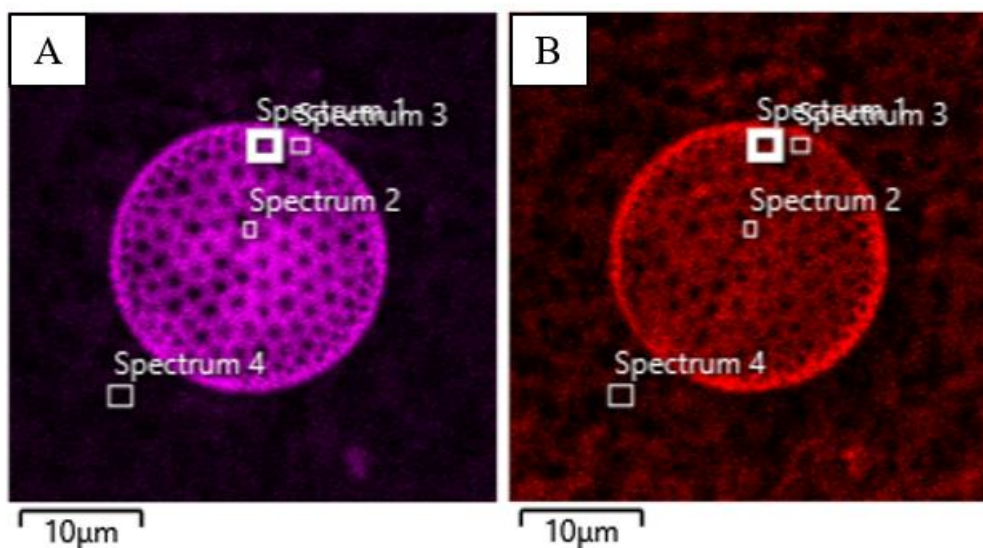


Figura 10- Espectros de EDS referente a estrutura circular observada nos resíduos da amostra U11 HCl. (A) Silício e (B) Oxigênio.

Fonte: Renato Pereira Gomes (2026).

A predominância desses elementos, associada à morfologia circular observada, sugere que a estrutura corresponda a remanescentes de diatomáceas. Dessa forma, os resultados obtidos por EDS indicam que a estrutura observada possui origem biológica, e não polimérica. Apesar da análise morfológica e composicional realizada, não foi possível identificar de forma inequívoca a presença de microplásticos nas amostras analisadas.

4.3 Análise Termogravimétrica (TGA/DTG)

Inicialmente, foram realizadas análises termogravimétricas dos polímeros PVC, polipropileno (PP) e poliestireno (PS), utilizados como materiais de referência para auxiliar na identificação de possíveis eventos térmicos relacionados à presença desses polímeros nas amostras de conchas. Cada material apresentou um perfil térmico característico, permitindo estabelecer as principais faixas de temperatura relacionadas aos seus processos de degradação.

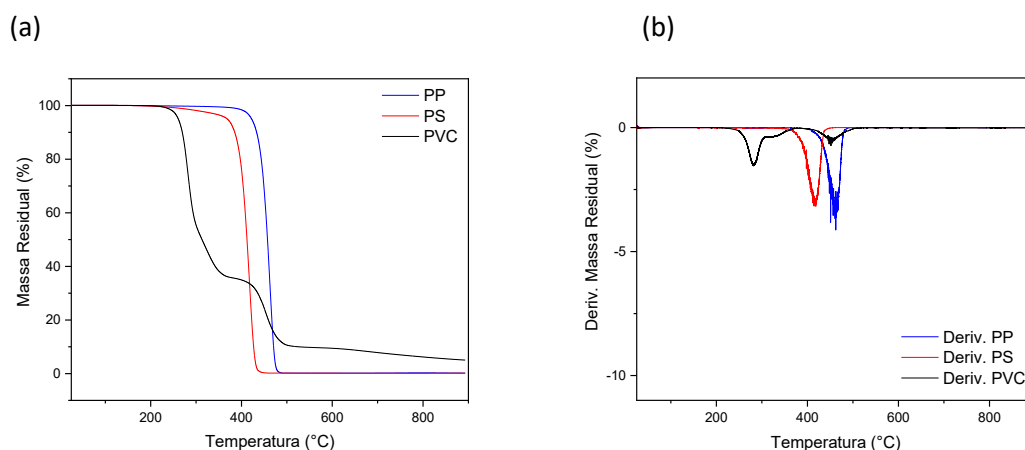


Figura 11 – Curvas TGA (a) e DTG (b) dos polímeros de referência PP, PS e PVC. Taxa de aquecimento: 10 °C min⁻¹. Atmosfera de N₂ com fluxo de 60 cm³ min⁻¹.

Fonte: Roberta Marcelino e Marcos Vinicius Ferreira (2026).

A curva TGA/DTG do PVC apresentou um perfil de decomposição característico deste polímero em duas etapas principais. A primeira etapa correspondeu ao evento principal, responsável pela maior porcentagem de perda de massa (cerca de 50%), ocorreu entre aproximadamente 260 e 340 °C, e estando relacionado à desidrocloração da cadeia polimérica. Esse evento apresentou uma temperatura máxima de decomposição térmica (T_{máx}) de 281 °C. A segunda etapa ocorreu entre 420 e 500 °C, aproximadamente, com T_{máx} de 473 °C, sendo atribuída à degradação dessas estruturas carbonizadas remanescentes. O resíduo final a 900 °C correspondeu a cerca de 5% da massa do polímero.

Já o PP apresentou um único evento responsável pela decomposição de praticamente todo o polímero, iniciando em torno de 440 °C e resultando em perda quase completa da massa, deixando uma quantidade residual muito pequena (cerca de 0,2% de massa a 900 °C). Sua T_{máx} se deu em cerca de 463 °C. De forma semelhante, o PS também apresentou uma única etapa de degradação, entre aproximadamente 390 e 430 °C, com T_{max} de 418 °C e resultando em um resíduo de cerca de 0,2% a 900 °C.

Em seguida, antes de analisar as amostras de conchas, foram analisadas amostras de referência de carbonato de cálcio, uma vez que este é o componente majoritário desses materiais. Foi observado um evento térmico principal, correspondente à decomposição térmica do carbonato de cálcio (CaCO₃), entre 620 e 780 °C, sendo responsável pela maior perda de massa da amostra. Esse evento é atribuído à reação de calcinação do CaCO₃, na

qual o carbonato se decompõe em óxido de cálcio (CaO) e dióxido de carbono (CO₂), com T_{máx} de aproximadamente 693 °C e resíduo a 900 °C em torno de 55% (Imagem 12)

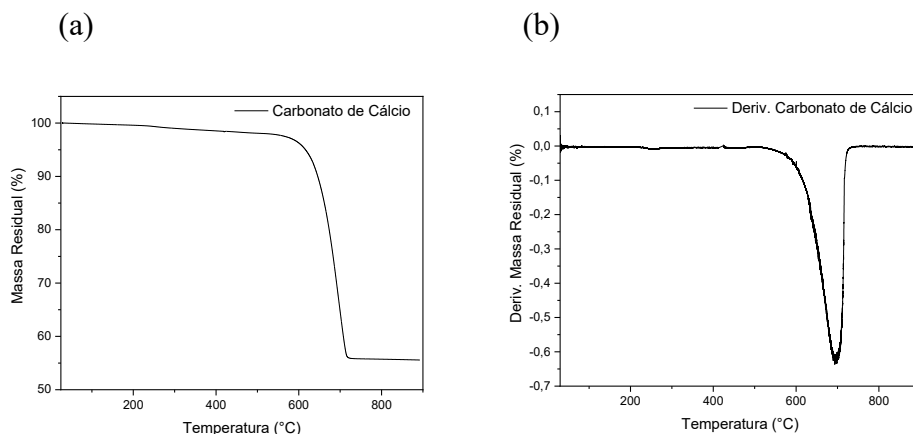


Figura 12 – Curvas TGA (a) DTG (b) para a amostra de referência de carbonato de cálcio. Taxa de aquecimento: 10 °C min⁻¹. Atmosfera de N₂ com fluxo de 60 cm³ min⁻¹. Fonte: Roberta Marcelino e Marcos Vinicius Ferreira (2026).

Como observado pelas curvas TGA/DTG apresentadas nas figuras 11 e 12, os polímeros testados e o material de referência de CaCO₃ apresentaram perfis térmicos e estabilidades térmicas diferentes, tornando viável o uso da técnica de TGA para identificação da presença dos polímeros testados na composição das conchas. Para isso, as amostras de conchas foram testadas por TGA/DTG, após maceração exhaustiva, a fim de investigar a presença de eventos adicionais nas faixas típicas dos polímeros que pudessem indicar a existência de materiais poliméricos incorporados às conchas. Os resultados das curvas TGA/DTG para as conchas estão apresentados na figura 12 sendo identificados pela letra T para amostras da região da ilha de Trindade e pela letra U para amostras da região de Ubatuba.

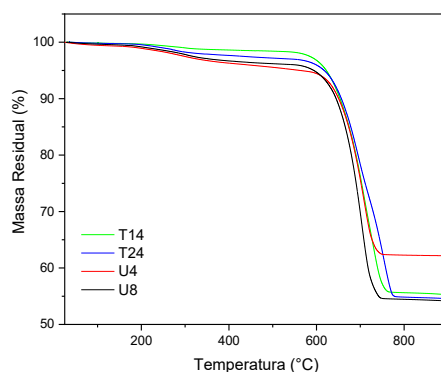


Figura 13 – Curvas TGA das conchas coletadas em Trindade e Ubatuba. Taxa de aquecimento: $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$. Atmosfera de N_2 com fluxo de $60\text{ cm}^3\text{ min}^{-1}$.

Fonte: Roberta Marcelino e Marcos Vinicius Ferreira (2026) ⁻¹.

As amostras T14 e T24, provenientes da Ilha de Trindade, apresentaram apenas um evento significativo de perda de massa entre aproximadamente 627 e 771 $^{\circ}\text{C}$, com T_{max} de 790 $^{\circ}\text{C}$ (T14) e 754 $^{\circ}\text{C}$ (T24). Esse comportamento é compatível com a decomposição térmica do carbonato de cálcio, principal constituinte mineral das conchas, sendo corroborado pelos elevados resíduos obtidos ao final do ensaio (55,31% e 54,60%, respectivamente), atribuídos principalmente à formação de CaO após a calcinação.

Nas amostras provenientes de Ubatuba, os comportamentos também foram predominantemente marcados pelo evento de decomposição do carbonato de cálcio. A amostra U4 apresentou apenas um evento de degradação, com T_{max} em 708 $^{\circ}\text{C}$, além de elevado resíduo final de 62,18%, atribuído ao carbonato de cálcio. Já a amostra U8 apresentou um pequeno evento inicial entre aproximadamente 180–333 $^{\circ}\text{C}$, responsável por apenas 3,0% de perda de massa, seguido da decomposição principal do carbonato de cálcio entre aproximadamente 638 e 726 $^{\circ}\text{C}$. Esse evento inicial não apresentou perfil compatível com a degradação característica dos polímeros de referência utilizados neste estudo.

As demais temperaturas e eventos térmicos de todas as amostras testadas neste trabalho estão detalhados na Tabela 3.

Tabela 3: Temperaturas características de decomposição (T_{onset}^* , T_{endset}^{**} e T_{max}), perda de massa (%PM) e resíduo a 900 $^{\circ}\text{C}$ das amostras analisadas.

Amostra	T _{onset} (°C)	T _{endset} (°C)	T _{max} (°C)	%PM	%Resíduo _{900 °C}	OBS
PVC	1ª 265,23	312,89	281,59	50,87	5,04	-----
	2ª 427,35	473,02	453,24	24,89		
T14	3ª 626,81	748,10	790,72	42,76	55,31	CaCO ₃
T14 – fort.	1ª 264,78	339,50	325,42	7,23	49,19	-----
	2ª 437,57	498,96	468,62	3,62		
10% m/m PVC	3ª 626,66	710,46	671,77	33,94	54,60	CaCO ₃
	T24	3ª 634,08	771,12	754,91	42,42	
T24 – fort.	1ª 270,30	341,23	291,11	6,04	50,61	-----
	2ª 425,02	488,70	462,03	3,14		
10% m/m PVC	3ª 623,46	730,97	680,32	37,63	62,18	CaCO ₃
	U4	3ª 647,44	729,58	708,75	32,83	
U8	1ª 180,23	333,23	303,15	3,00	54,20	-----
	2ª 637,60	725,64	704,22	41,89		
CaCO ₃	3ª 638,59	714,16	693,42	42,09	55,57	-----
PP	1ª 439,23	473,05	463,00	99,56	0,20	-----
PS	1ª 392,02	428,96	418,44	99,36	0,16	-----

*T_{onset}: temperatura de início de decomposição térmica extrapolada;

**T_{endset}: temperatura final de decomposição térmica extrapolada;

Fonte: Roberta Marcelino e Marcos Vinicius Ferreira (2026)

Como os resultados das curvas TGA/DTG não identificaram a presença de compostos poliméricos nas amostras das conchas, foram testadas amostras de conchas da Ilha Trindade fortificadas com PVC (pela adição de quantidades conhecidas desse polímero em pó) a fim de avaliar o limite da técnica TGA/DTG para identificação dos compostos poliméricos. Os resultados das curvas TGA/DTG para as amostras das conchas fortificadas com 10, 1,0 e 0,1 % m/m de PVC estão apresentados na figura 14.

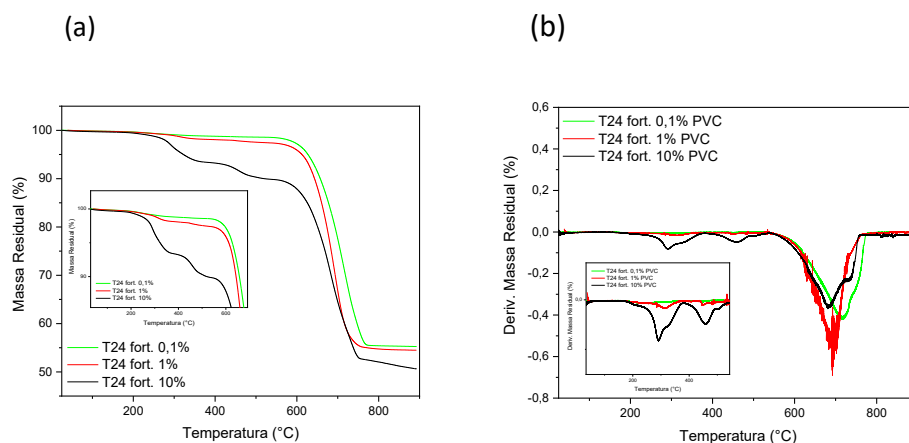


Figura 14- Curvas (a) TGA e (b) DTG das conchas da Ilha Trindade fortificadas com 10, 1,0 e 0,1 % m/m de PVC. Taxa de aquecimento: 10 °C min⁻¹. Atmosfera de N₂ com fluxo de 60 cm³ min⁻¹.

Fonte: Roberta Marcelino e Marcos Vinicius Ferreira (2026).

Nas curvas TGA/DTG apresentadas na figura 14, foram observados dois eventos térmicos adicionais de perda de massa entre aproximadamente 265–340 °C e 425–500 °C, atribuídos às regiões de degradação do PVC puro, conforme observado na Figura 14. Esses eventos apresentaram T_{max} de 325 °C e 468 °C para a T14 fortificada e de 291 °C e 462 °C para a T24 fortificada. A presença desses eventos confirma que o método foi capaz de detectar o polímero PVC quando adicionado intencionalmente às amostras, demonstrando a capacidade técnica para identificar esse polímero na matriz analisada.

Dessa forma, também foram testadas quantidades de fortificações de 1,0 e 0,1 % m/m de PVC, conforme as curvas TGA/DTG apresentadas na Figura 14, a fim de avaliar o limite de identificação desse polímero através desta técnica. Os resultados obtidos também permitiram a observação dos eventos térmicos característicos da decomposição do PVC e indicaram que, caso estes microplásticos estejam presentes nas conchas analisada, eles estariam em quantidades inferiores a 1 µg de polímero por mg de amostra das conchas, conforme a capacidade de identificação desses polímeros pela técnica TGA/DTG empregada.

De modo geral, os resultados obtidos por TGA demonstraram que as amostras naturais apresentaram comportamento térmico dominado pela decomposição do carbonato de cálcio, sem evidências de eventos de degradação característicos de PVC, PP ou PS. Apenas as amostras fortificadas exibiram as etapas adicionais correspondentes ao PVC, confirmando que a metodologia é capaz de identificar sua presença quando o polímero está efetivamente incorporado à matriz. Esses resultados corroboram as observações obtidas por FTIR, no qual não foram identificadas bandas características de polímeros nas amostras ambientais, indicando que, para o conjunto de amostras analisado, a composição é predominantemente mineral e não foram encontradas evidências da presença dos microplásticos investigados. Caso resíduos de microplásticos estejam presentes, a técnica de TGA/DTG permitiu inferir que suas concentrações seriam inferiores a 1 µg de polímero por mg de amostra.

5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelas diferentes técnicas utilizadas neste estudo mostraram que as conchas analisadas apresentam composição predominantemente mineral, sem evidências claras da presença dos polímeros investigados. No entanto, a ausência de identificação de microplásticos não significa necessariamente que esses contaminantes não estejam presentes nas conchas, uma vez que cada técnica apresenta diferentes capacidades e limitações de detecção. Dessa forma, a análise conjunta dos resultados obtidos por FTIR, MEV/EDS e TGA/DTG permite compreender melhor tanto as características das amostras quanto as limitações encontradas na identificação de materiais poliméricos incorporados às conchas.

A análise por FTIR mostrou que os espectros das amostras foram marcados principalmente pelas bandas características do carbonato de cálcio, com presença de calcita e aragonita nas conchas analisadas. A PCA também mostrou grande semelhança química entre as amostras provenientes da Ilha da Trindade e de Ubatuba, sem uma separação clara entre os grupos. É provável que a variabilidade observada esteja relacionada principalmente a pequenas diferenças na intensidade das bandas de carbonato, e não à presença de matéria orgânica ou de polímeros, uma vez que não foram identificadas bandas características desses materiais nas amostras.

A análise por MEV mostrou partículas com morfologia predominantemente angular e heterogênea, diferindo das formas frequentemente descritas para microplásticos, que podem ocorrer como fibras, filmes, esferas ou fragmentos poliméricos com superfícies relativamente lisas ou fraturadas de maneira característica (HIDALGO-RUZ et al., 2012; PRATA et al., 2019). Embora os fragmentos também sejam considerados uma classe de microplásticos, sua identificação apenas pela análise morfológica é limitada, sendo necessária a utilização de técnicas complementares de caracterização química.

As amostras provenientes da Ilha da Trindade apresentaram uma distribuição mais homogênea dos resíduos, enquanto as amostras de Ubatuba apresentaram maior heterogeneidade superficial e partículas com diferentes morfologias. Essa diferença pode estar relacionada às distintas condições ambientais e aos diferentes níveis e fontes de influência antrópica entre as duas localidades. Embora a Ilha da Trindade seja uma ilha oceânica remota, a presença de resíduos plásticos já foi registrada nesse ambiente, incluindo diferentes formas de detritos plásticos associados aos substratos costeiros (SANTOS et al., 2022). No entanto, essa relação deve ser considerada com cautela, já que

as diferenças observadas na morfologia dos resíduos não foram suficientes para confirmar a presença de microplásticos nas amostras.

A análise por EDS da estrutura circular observada na amostra U11 HCl mostrou predominância de silício e oxigênio que, associada à morfologia observada, sugere que a estrutura corresponda a remanescentes de diatomáceas. Esses microrganismos apresentam frústulas constituídas por sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e são frequentemente encontrados em ambientes marinhos e costeiros, podendo permanecer aderidos a substratos biológicos, incluindo conchas de moluscos (ROUND et al., 1990). Dessa forma, os resultados obtidos por EDS reforçam a hipótese de que a estrutura observada possui origem biológica, e não polimérica.

Apesar das análises morfológicas e composicionais realizadas, não foi possível identificar de forma clara a presença de microplásticos nas amostras analisadas. No entanto, essa ausência de evidências não permite excluir completamente a ocorrência desses contaminantes. Partículas nanométricas e microplásticos menores podem apresentar maior dificuldade de detecção por MEV convencional, principalmente quando estão dispersos em matrizes mais complexas (COWGER et al., 2021). Dessa forma, a ausência de partículas claramente identificáveis nas imagens deve ser interpretada com cautela, podendo estar relacionada às limitações da metodologia utilizada e não necessariamente à ausência de microplásticos nas amostras.

Os resultados obtidos por TGA/DTG complementaram as análises anteriores, mostrando que o comportamento térmico das amostras naturais foram predominantemente relacionado à decomposição do carbonato de cálcio, sem a presença de eventos característicos da degradação dos polímeros utilizados como referência. A pequena perda de massa inicial observada na amostra U8 pode estar relacionada à eliminação de umidade adsorvida ou à presença de uma pequena quantidade de matéria orgânica residual, já que parte da composição das conchas está associada a proteínas, glicoproteínas, polissacarídeos, quitina e lipídios. Esses componentes participam da formação e organização dos cristais de CaCO_3 e podem contribuir para eventos térmicos diferentes daqueles relacionados à fração mineral.

Os testes realizados com as amostras fortificadas com PVC ajudaram a avaliar a capacidade da TGA/DTG na identificação desse polímero na matriz das conchas. Diferente das amostras naturais, as amostras fortificadas apresentaram eventos térmicos característicos da decomposição do PVC, inclusive nas menores concentrações testadas.

Isso mostra que a técnica foi capaz de identificar o polímero quando ele estava presente na matriz em quantidades conhecidas. Dessa forma, a ausência desses eventos nas amostras naturais reforça que não foram encontradas evidências de PVC nas condições utilizadas neste estudo.

Considerando o conjunto das análises realizadas, os resultados obtidos por FTIR, MEV/EDS e TGA/DTG não apresentaram evidências claras da presença dos microplásticos investigados nas amostras de conchas. Apesar da concordância entre as diferentes técnicas, esses resultados não permitem afirmar que esses contaminantes estejam completamente ausentes, uma vez que podem estar presentes em concentrações ou tamanhos inferiores à capacidade de detecção dos métodos utilizados. Dessa forma, os resultados mostram a importância do uso de técnicas complementares na investigação de microplásticos em matrizes complexas como as conchas, além da necessidade de estudos futuros utilizando métodos com maior sensibilidade para avaliar a possível presença desses contaminantes em menores concentrações.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostraram que as conchas analisadas apresentaram composição predominantemente mineral, principalmente associada ao carbonato de cálcio, não sendo encontradas evidências claras da presença dos microplásticos investigados. As análises por FTIR, MEV/EDS e TGA/DTG apresentaram resultados complementares e, dentro das condições utilizadas neste estudo, não permitiram confirmar a presença de materiais poliméricos incorporados às conchas.

No entanto, a ausência de detecção não permite afirmar que os microplásticos estejam completamente ausentes, uma vez que podem estar presentes em tamanhos ou concentrações inferiores à capacidade de detecção das técnicas utilizadas. Além disso, a presença de resíduos plásticos já foi registrada na Ilha da Trindade, demonstrando que, apesar de seu isolamento geográfico, esse ambiente está sujeito à contaminação por materiais plásticos. Os testes de fortificação mostraram que a TGA/DTG foi capaz de identificar o PVC nas concentrações testadas, indicando que, caso esse polímero esteja presente nas amostras naturais, sua concentração pode estar abaixo do limite alcançado pelo método. Os testes de fortificação mostraram que a TGA/DTG foi capaz de identificar o PVC nas concentrações testadas, indicando que, caso esse polímero esteja presente nas amostras naturais, sua concentração pode estar abaixo do limite alcançado pelo método.

Para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de técnicas com maior sensibilidade e capazes de investigar partículas presentes em menores concentrações e tamanhos. Também seria interessante ampliar o número de amostras e espécies analisadas, permitindo avaliar com maior precisão o potencial das conchas de gastrópodes como registros da contaminação por microplásticos em ambientes com diferentes níveis de influência antrópica.

7. REFERÊNCIAS

ABARRETO, Cecília Perdigão. Controle da poluição marinha para a manutenção da qualidade dos oceanos. 2013. 88 f. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/30820>. Acesso em: 22 jul. 2026.

BARCO, Andrea et al. A molecular phylogenetic framework for the Muricidae, a diverse family of carnivorous gastropods. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, v. 56, n. 3, p. 1025–1039, 2010. DOI: 10.1016/j.ympev.2010.03.008.

COWGER, W. et al. Microplastic spectral classification needs an open source community: Open Specy to the rescue! *Analytical Chemistry*, v. 93, n. 21, p. 7543–7548, 2021. DOI: 10.1021/acs.analchem.1c00123.

DÍAZ-MENDOZA, Claudia et al. Plastics and microplastics, effects on marine coastal areas: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 32, p. 39913–39922, 2020. DOI: 10.1007/s11356-020-10394-y.

FURFARO, Giulia et al. SEM/EDX analysis of stomach contents of a sea slug snacking on a polluted seafloor reveal microplastics as a component of its diet. *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, 10244, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-14299-3.

GHILARDI, Renato Pirani; PINTO, Maria Clara Silva ; MARCONDES, Thays Paganella; RODRIGUES, Sabrina Coelho . Perceptions on Actualistic Paleontology in Four Distinct Areas of Energy Supply Along the Coast of the States of Rio de Janeiro, São Paulo, and Paraná, Brazil. *Topics in Geobiology*. 1ed.: Springer International Publishing, 2020, v. , p. 243-267.

GOLA, Deepak et al. The impact of microplastics on marine environment: a review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, v. 16, p. 100552, 2021. DOI: 10.1016/j.enmm.2021.100552.

GOUVEIA, Nayara et al. Chemical contamination in coastal areas alters shape, resistance and composition of carnivorous gastropod shells. *Chemosphere*, v. 307, pt. 2, 135926, 2022. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135926.

GOUVEIA, Nayara et al. Mollusc shell shape as pollution biomarkers: which is the best biological model? *Marine Pollution Bulletin*, v. 179, 113663, 2022. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113663.

HAN, Zaiming et al. Microplastics impact shell and pearl biomineralization of the pearl oyster *Pinctada fucata*. *Environmental Pollution*, v. 293, 118522, 2022. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118522.

HARAYASHIKI, Cyntia Ayumi Yokota et al. Mollusk shell alterations resulting from coastal contamination and other environmental factors. *Environmental Pollution*, v. 265, pt. B, 114881, 2020. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114881.

HIDALGO-RUZ, Valeria; GUTOW, Lars; THOMPSON, Richard C.; THIEL, Martin. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, v. 46, n. 6, p. 3060–3075, 2012. DOI: 10.1021/es2031505.

JOHNSON, Adam B.; FOGEL, Nina S.; LAMBERT, J. David. Growth and morphogenesis of the gastropod shell. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 116, n. 14, p. 6878–6883, 2019. DOI: 10.1073/pnas.1816089116.

MARIMOUTOU, Maëva et al. Metal localisation in gastropod shells: new insights from mass spectrometry techniques. *Chemosphere*, v. 344, 140375, 2023. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.140375.

MENDONÇA, Andréa de Souza; SOUZA, Rafael Jovito. Microplástico e recursos hídricos: poluente ou contaminante? *Revista GeoAmazônia*, Belém, v. 14, n. 25, p. 196–213, 2025. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/geoamazonia/article/view/19553>. Acesso em: 22 jul. 2026.

MILOSLAVICH, Patricia et al. Large-scale spatial distribution patterns of gastropod assemblages in rocky shores. *PLOS ONE*, v. 8, n. 8, e71396, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0071396.

MLINARIĆ, Nives Matijaković et al. Microplastic encapsulation in aragonite: efficiency, detection and understanding of potential environmental impacts. *Environmental Science: Processes & Impacts*, v. 26, n. 7, p. 1116–1129, 2024. DOI: 10.1039/D4EM00004H.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Montego Bay, 10 dez. 1982. Disponível em: https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf. Acesso em: 22 jul. 2026.

PIATTI, Tania Maria; RODRIGUES, Reinaldo Augusto Ferreira. Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais. Maceió: Usina Ciência, Universidade Federal de Alagoas, 2005. (Série Conversando sobre Ciências em Alagoas). Disponível em: https://usinaciencia.ufal.br/multimidia/livros-digitais-cadernos-tematicos/plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf. Acesso em: 22 jul. 2026.

PINHATTI, Victor Carrera. Microplástico: um contaminante invisível. 2022. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/16810>. Acesso em: 22 jul. 2026.

RODRIGUES, Cândido; SALLA, Raquel; ROCHA, Thiago Lopes. Bioaccumulation and ecotoxicological impact of micro(nano)plastics in aquatic and land snails: historical review, current research and emerging trends. *Journal of Hazardous Materials*, v. 444, pt. A, 130382, 2023. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.130382.

ROUND, F. E.; CRAWFORD, R. M.; MANN, D. G. The diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 747 p.

SANTOS, Fernanda Avelar et al. Plastic debris forms: rock analogues emerging from marine pollution. *Marine Pollution Bulletin*, v. 182, p. 114031, 2022. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.114031.

SILVÉRIO, Gabriel Ferreira. Paleobiologia da conservação em gastrópodes da Baía de Ubatuba. 2026. Dissertação (Mestrado em Biociências) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2026.

VIEIRA, Ricardo. Os impactos do plástico nos oceanos: microplásticos na vida marinha e no corpo humano. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 2717–2728, 2025. DOI: 10.51891/rease.v11i4.18972. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v11i4.18972>. Acesso em: 22 jul. 2026.

VITONIS, João Emmanuel Vargas Ventura. Estudo da variação genética de *Stramonita brasiliensis* (Mollusca, Gastropoda). 2016. 41 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. DOI: 10.47749/T/UNICAMP.2016.978788.