



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**  
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia - FAENG



**Gabriela de Fátima Xavier Dias**



**Campo Grande, MS.**

**2024**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS E ARQUITETURA E URBANISMO E  
GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

**Gabriela de Fátima Xavier Dias**

**MICROPLÁSTICOS EM ÁGUA CINZA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais. Área de concentração: *Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos*.

**Orientador: Prof. Dr. Paula Loureiro Paulo  
Coorientador: Prof. Dr. Kennedy Francis Roche**

Aprovada em:

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Paula Loureiro Paulo  
Orientador PGTA- UFMS

Dr. Carlo Gottardo Morandi  
Instituição Rheinland-Pfälzische Technische  
Universität Kaiserslautern-Landau

Dr. Karen Midori Takahashi  
Instituição Fundação Universidade Federal  
de Mato Grosso do Sul

**Campo Grande, MS.  
2024**

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a minha família pelo apoio e incentivo. A Maria Gabriela pela ajuda, amizade e parceria ao decorrer da pesquisa. Agradeço também a Karen pela ajuda na pesquisa e auxílio no laboratório LabE. A minha orientadora Paula, pela compreensão, confiança e credibilidade no meu trabalho. E ao meu coorientador Kennedy, pela atenção e ajuda com a pesquisa no laboratório Lablim.

Agradeço ao PGTA, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA), da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e a CAPES pela bolsa concedida ao longo do mestrado.

Gostaria de agradecer o suporte obtido pelas instituições Brasileiras: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG; Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto – INCT ETEs Sustentáveis (INCT *Sustainable Sewage Treatment Plants*).

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT .....	vi
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo Geral .....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
4. METODOLOGIA.....	10
4.1 Coleta das amostras .....	10
4.2 Configuração do experimento.....	10
4.3 Análise visual dos MPs.....	12
4.4 Procedimento para o cálculo de MP por peso .....	13
4.5 Estimativa de liberação de microplásticos na AC .....	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
5.1 Estimativa da liberação de microplástico na AC.....	23
6. CONCLUSÃO.....	26
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Classificação das fibras têxteis .....	5
Figura 2- - Filtro utilizado para coleta da água das lavagens .....	12
Figura 3 - Amostra da lavagem .....	12
Figura 4- Microplásticos da amostra da lavagem.....	12
Figura 5 – Lente utilizada na análise visual. ....	12
Figura 6 -Amostra filtrada .....	13
Figura 7 - Quantidade de microplásticos liberados por cor.....	16
Figura 8 - Diâmetro de microplásticos por lavagem. ....	17
Figura 9 - Comprimento de microplásticos por lavagem. ....	18
Figura 10- Média de microplásticos por lavagem .....	19
Figura 11 - Quantidade de microplásticos liberados na lavagem mecânico. L1, L4, e L8 correspondem às lavagens 1, 4 e 8, respectivamente. ....	21
Figura 12- Quantidade de microplásticos liberados na lavagem mecânico + químico. L1, L4, e L8 correspondem às lavagens 1, 4 e 8, respectivamente.....	21
Figura 13 - Distribuição média dos microplásticos por quilo de roupa da lavagem mecânico + químico. ....	22

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Relação da largura e comprimento das roupas de cama.....	10
Tabela 2- Pesos do amaciante e detergente em pó das lavagens químico + mecânico ..	11
Tabela 3- Tipos de roupas e os respectivos pesos .....	15
Tabela 4 - Geração média de microplásticos .....	24

## RESUMO

Microplásticos têm recebido crescente atenção nos últimos anos devido à sua ampla distribuição no ambiente. A composição química dos microplásticos, bem como os poluentes adsorvidos sobre eles, podem ter impactos negativos nos organismos aquáticos e consequentemente afetar a vida humana. A lavagem de roupas confeccionadas em materiais sintéticos foi identificada como uma importante fonte de fibras microscópicas. Considerando que a fração da água cinza produzida na área de lavanderia representa em torno de 30% de toda a água residuária gerada em uma residência e, que esta fração é uma promissora fonte alternativa de água urbana, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos processos mecânicos e químicos e desgastes dos tecidos na liberação de microplásticos na água cinza durante o processo de lavagem de roupas. Foram realizadas oito lavagens de roupa de cama sintética com o uso de detergente em pó e amaciante. A partir das lavagens de roupa, foi observado uma queda de 61% de microplásticos nas lavagens mecânico e 12% de microplásticos nas lavagens mecânico + químico presentes na água cinza e, que a lavagem fazendo uso dos produtos químicos, preservaram a fibras das roupas. Com base nos resultados estimou-se a geração de  $1,20 \times 10^4$  microplásticos/LAC.kg roupa sintética e a partir de dados da literatura, considerando a geração de 28,1 L/hab/dia de água cinza da máquina de lavar, uma pessoa usando roupa sintética três vezes na semana gera  $6,88 \times 10^8$  microplásticos em um ano.

**Palavras-chave:** Esgoto doméstico, lavanderia, reúso, separação na fonte, microfibras

## ABSTRACT

Microplastics have received increasing attention in recent years due to their wide distribution in the environment. The chemical composition of microplastics, as well as the pollutants adsorbed on them, can have negative impacts on aquatic organisms and consequently affect human life. Washing clothes made from synthetic materials has been identified as an important source of microscopic fibers. Considering that the fraction of gray water produced in the laundry area represents around 30% of all the wastewater generated in a household and that this fraction is a promising alternative source of urban water, the aim of this work was to evaluate the influence of mechanical and chemical processes and fabric wear on the release of microplastics into gray water during the laundry process. Eight washes of synthetic bed linen were carried out using washing powder and fabric softener. From the laundry washes, a 61% drop in microplastics was observed in the mechanical washes and a 12% drop in microplastics in the mechanical + chemical washes present in the gray water, and that washing using chemical products preserved the clothing fibers. Based on the results, the generation of  $1,20 \times 10^4$  microplastics/LAC.kg of synthetic clothing was estimated and based on data from the literature, considering the generation of 28,1 L/in hab.day of gray water from the washing machine, a person wearing synthetic clothing three times a week generates  $6,88 \times 10^8$  microplastics in a year.

**Keywords:** Domestic sewage, laundry, reuse, source separation, microfibers

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Desde a década de 1940, a produção de plásticos cresceu exponencialmente, ultrapassando 311 milhões de toneladas até 2015 (Org. 2015). A aplicação generalizada de itens de plástico, juntamente com o manejo inadequado do descarte de seus resíduos, resulta na presença de microplásticos (MPs) em vários ambientes aquáticos, como rios, lagos, estuários, costas, ecossistemas marinhos e até fontes de água potável. As principais fontes de MPs provêm em grande parte de pneus, têxteis sintéticos, poeira urbana, marcações rodoviárias, revestimentos marítimos, produtos de higiene pessoal, pellets de plástico, entre outras (Dalla Fontana et al., 2020). Embora os plásticos sejam essenciais para a sociedade moderna, as consequências dessa utilização intensiva em longo prazo são em grande parte desconhecidas (Carney Almroth et al. 2018) e a sua ocorrência nos ambientes aquáticos e terrestres é uma das principais questões ambientais da atualidade, investigações estão sendo realizadas para identificar as fontes, o transporte e os efeitos deles.

Os têxteis foram considerados como uma importante fonte de MPs, uma vez que suas microfibras foram identificadas como um tipo frequente presentes em ambientes marinhos, na água doce e no solo (Pinlova et al., 2022). Os têxteis são fontes importantes de fibras sintéticas (poliéster e poliamida) (Remy et al., 2015) e teve seu aumento de uma produção anual de 2,1 milhões de toneladas de fibras sintéticas em 1950 para quase 50 milhões de toneladas de fibras sintéticas em 2010 representando quase 60% do consumo anual global de fibras, sendo 69,7 Mt utilizadas na indústria de vestuários (De Falco et al., 2019a). Estudos recentes avaliaram que as roupas sintéticas, em particular, contribuem em cerca de 35% de MPs nos oceanos mundiais. (Carney Almroth et al., 2018). A contaminação dos corpos de água ocorre a partir do lançamento no esgoto tratado de estações de tratamento esgoto (ETEs).

O efluente gerado pelo uso doméstico, associado ao uso de cosméticos e lavagem de tecidos, possui polímeros em sua composição e é descartado na rede de esgoto. Mesmo passando pelas etapas de tratamentos primário, secundário e terciário, as partículas plásticas não são totalmente retidas (Duis e Coors 2016). Isso ocorre porque o processo de tratamento requerido para reter essas partículas de dimensões microscópicas necessita de adaptações tecnológicas (Fendall & Sewell, 2009). As máquinas de lavar roupas são apontadas como uma fonte potencial geradora de fibras de microplásticos a partir dos tecidos, as quais são, por fim, lançadas nas águas residuais (Browne et al., 2011). Uma

carga aproximada de 5 a 6 kg libera em torno de 6.000.000 e 700.000 fibras de poliéster e tecido acrílico, respectivamente (Napper; Thompson, 2016). Em termos globais, são utilizadas mais de 840 milhões de máquinas de lavar roupas domésticas (De Falco et al., 2019a).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Estudar a ocorrência de microplásticos na fração de água cinza proveniente de lavanderia e estimar sua geração em uma residência.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Estimar a geração de microplástico em uma residência de duas pessoas.
- Verificar a influência mecânica e mecânica e química na liberação de microplástico em água de lavagens domésticas, quantificando as fibras emitidas de acordo com quantidade de lavagens das mesmas roupas de cama;
- Verificar a influência das lavagens mecânicas e dos processos físicos da máquina de lavar na liberação dos microplásticos em água cinza de lavanderia;

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Microplásticos**

O termo microplástico foi utilizado pela primeira vez no ano de 2004 por Thompson e outros autores, para descrever fragmentos de plástico granular e fibroso, obtidos de sedimentos marinhos e coluna d'água, do mar no Reino Unido, com dimensão de aproximadamente 20  $\mu\text{m}$  (Schmid, Cozzarini, e Zambello 2021). Partículas plásticas com comprimento  $< 5$  mm são hoje denominadas microplástico com distinção entre microplásticos grandes (1-5 mm), microplásticos pequenos ( $< 1$  mm) e nanoplásticos com tamanho entre 1 e 100 nm (Weinstein et al., 2016a).

Os microplásticos foram classificados em duas categorias: primários e secundários. Os microplásticos primários são aqueles produzidos na escala micro ( $< 5$  mm) para serem aplicados na fabricação de produtos industriais e domésticos, incluindo roupas e estofados, cosméticos, produtos de higiene pessoal e lavadores de jato de ar; enquanto os secundários são partículas menores obtidas da degradação ou fragmentação de partículas maiores, sendo cerca de 80% obtidos de fontes terrestres (Rahman et al. 2021)

Têm como características os tipos de formas e cores. Os tipos de formas mais comuns na literatura são os pellets, fragmentos e fibras, e em menor frequência os filmes, filamentos, esponjas, espumas e microesferas (Frias e Nash 2019), sendo essas formas e esses tipos dependentes das características dos microplásticos primários, processos de degradação e erosão da superfície das partículas de plástico e do tempo de residência no ambiente (Zhang et al., 2019). Assim, a forma dos microplásticos tem sido frequentemente usada para inferir sua origem e o transporte, visto que muitas formas são específicas de determinados produtos.

A cor é útil para identificar fontes potenciais de resíduos plásticos, bem como contaminações potenciais, durante a preparação da amostra, sendo normalmente encontrados nas cores vermelho, laranja, amarelo, marrom, bege, branco, cinza, azul e verde. No entanto, partículas escuras, brancas, transparentes ou translúcidas podem estar sub-representadas durante a inspeção visual (Zhang et al., 2019).

### 3.1.1 Microplástico da indústria têxtil

A figura 1 ilustra os tipos de fibras têxteis, destacando a importância de sabermos as suas origens e impactos relacionados a contaminação de microplásticos. Fibras naturais são na maioria das vezes mais sustentáveis e as fibras sintéticas são economicamente mais funcionais, mas são a maior fonte de microplásticos relacionado aos têxteis.

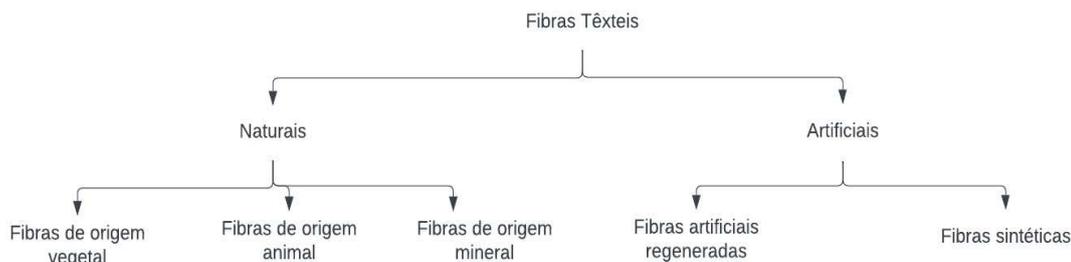


Figura 1- Classificação das fibras têxteis

A Figura 1 mostra a classificação das fibras têxteis, dividindo-as em dois grupos: naturais e artificiais. As fibras têxteis são materiais naturais ou sintéticos que podem ser transformados em fios e, posteriormente, em tecidos. Eles são a base da indústria têxtil e têm diferentes origens e propriedades. As fibras naturais são obtidas diretamente da natureza, sem processos químicos significativos de transformação. Elas são classificadas em três subgrupos:

- Fibras de Origem Vegetal: São geralmente biodegradáveis, renováveis e possuem boa respirabilidade, absorção de umidade e conforto térmico. Elas são amplamente utilizadas na indústria de vestuário. Exemplo: algodão;
- Fibras de Origem Animal: As fibras animais são conhecidas por sua suavidade, brilho e capacidade de manter o calor. Elas são frequentemente usadas em tecidos de luxo e produtos de alta qualidade. Exemplo: Seda;
- Fibras de Origem Mineral: As fibras minerais são resistentes ao calor e à chama, e são usadas em aplicações especiais como isolamentos térmicos. Exemplo: Amianto.(Audaces 2024)
- Fibras artificiais são fabricadas por meio de processos industriais que utilizam matérias-primas naturais ou sintéticas. Elas são divididas em duas subcategorias:
- Fibras Artificiais Regeneradas: São derivadas de materiais naturais, essas fibras passam por um processo químico de transformação. Elas são conhecidas por serem

macias e semelhantes à seda, e são amplamente utilizadas em roupas e tecidos domésticos. Exemplo: viscose.

- Fibras Sintéticas: consistem de polímeros sintéticos e são altamente duráveis, resistentes e de secagem rápida. Exemplo: Poliéster. (Audaces 2024)

Os MPs provenientes de produtos de lavagem de roupas e de higiene pessoal, presentes principalmente em águas residuais, especificamente as cinzas domésticas, são fontes de MPs nos sistemas de tratamento de águas residuais (Dubowski et al. 2020). As águas residuais tratadas contêm vários MPs, incluindo fibras têxteis sintéticas provenientes da lavagem de roupas e fragmentos de plástico abrasivos provenientes de agentes de limpeza. (Talvitie et al. 2015)

### **3.2 Água cinza (AC)**

A água cinza (AC) é definida como toda a água residuária gerada em uma residência, exceto as frações provindas das bacias sanitárias e mictórios, representando em torno de 60 a 80% do esgoto doméstico. A AC pode ser subdividida em diferentes frações, de acordo com sua origem. Na nomenclatura utilizada na literatura brasileira, de forma geral, a AC clara é aquela que exclui a fração proveniente da cozinha. Por outro lado, em vários países, a tendência é denominar a AC clara (ou fraca), aquela sem as frações provenientes da cozinha e da lavanderia (máquina de lavar roupa e/ou tanque). (Paulo, P.L. et al., 2022)

Com referência aos países desenvolvidos, a literatura indica um volume de água cinza na faixa de 90 a 120 L/d por pessoa, enquanto nos países de baixo rendimento, o volume diário é mais baixo, com valores na gama de 20-30 L/d por pessoa. (Morel A., 2006)

Geralmente, a quantidade de água cinza produzida a nível doméstico é aproximadamente igual ao volume de água necessário para a descarga dos sanitários. Em vez disso, para outros tipos de edifícios, como escritórios, a quantidade de água cinza produzida é consideravelmente inferior à necessidade de descarga de sanitas e mictórios e é igual, respetivamente, a 27% e 60% do consumo total de água (De Gisi, Casella, e Notarnicola 2017).

A composição da água cinza depende de vários fatores, incluindo fontes e instalações de onde a água é retirada. Por exemplo, a qualidade e o tipo de abastecimento de água (poço subterrâneo ou água canalizada), as atividades no agregado familiar (estilo

de vida, personalizado e uso de produtos químicos), instalação de onde é retirada água cinza (pia de cozinha, banheiro ou lavanderia), localização geográfica, bem como dados demográficos e nível de ocupação. (De Gisi, Casella, e Notarnicola 2017)

A água cinza da lavanderia contém sódio, fosfato, surfactantes, amônia e nitrogênio de detergente em pó e roupas sujas (características químicas), alto teor de sólidos em suspensão, fiapos e turbidez, DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) elevada e cargas variáveis de coliformes termotolerantes (características microbiológicas). Análises mais aprofundadas indicam maior concentração de poluentes orgânicos e físicos na cozinha e na lavanderia em relação ao banheiro e águas cinza mistas. Os poluentes mais significativos das águas cinzas são os sabões para a roupa em pó (De Gisi et al., 2017).

A AC é uma importante fonte de microplásticos em águas residuais domésticas (Ngo et al. 2019), que se acumula tanto a partir de águas fontes primárias, como produtos de higiene pessoal, cosméticos, creme dental, e fontes secundárias, como quebra/abrasão de embalagens ou superfícies plásticas, e têxteis sintéticos de lavanderia (Anastasiou et al. 2014).

### **3.3 Lavagens domésticas de têxteis**

As lavagens têxteis, feitas à mão ou em máquinas de lavar, são partes importantes das atividades domésticas diárias e pouco influenciadas por questões sociais e culturais. (Salvador Cesa et al., 2017)

Para os países desenvolvidos, em geral, 95% das residências são equipadas com máquinas automáticas, presume-se que existam 840 milhões de máquinas de lavar roupa, que consomem anualmente cerca de 20 km<sup>3</sup> de água. (Claus Barthel Thomas Götz 2013)

Um estudo relacionado ao movimento dinâmico de máquinas de lavar domésticas com eixo horizontal, indicam que o desempenho de limpeza é resultado de um processo que envolve diferentes etapas e escalas, aliados às ações químicas dos detergentes, permitem a liberação de sujeira e suspensão no líquido de lavagem. Essa liberação ocorre por ações mecânicas e químicas (Mac Namara et al. 2012)

Tanto as ações mecânicas quanto químicas durante a lavagem, enfraquecem a estrutura das fibras, com dano progressivo na cadeia molecular e redução no grau de polimerização. (Burckett et al. 2007)

O enfraquecimento e emissão das fibras dependem de fatores relacionados máquina de lavar e a utilização dos seus recursos. Além disso, essas variáveis atuarão diretamente na estrutura têxtil e formarão fibras que serão liberadas ao meio ambiente. (Salvador Cesa, Turra, e Baruque-Ramos 2017)

### **3.3.1 Influência mecânica nas lavagens de roupas**

A liberação de microplásticos das roupas sintéticas é causada por tensões mecânicas e químicas, que os tecidos sofrem durante um processo de lavagem em uma máquina de lavar roupa. Devido às suas dimensões, a maioria das microfibras liberadas, não podendo ser removidas integralmente por estações de tratamento de esgoto, atinge rios e oceanos (Magnusson & Norén, 2014). Dessa forma, nos últimos anos, surgiu uma forte necessidade de avaliar os efeitos da liberação de microfibras e quantificar durante lavagens de roupas sintéticas.

A influência mecânica refere-se a força física aplicadas às roupas durante o ciclo de lavagem, que incluem agitação, fricção e centrifugação. Estes processos são fundamentais para a remoção de sujeira, mas também contribuem significativamente para o desgaste das fibras têxteis.

- **Agitação Mecânica:**
- (Napper e Thompson 2016) demonstraram que a agitação dentro das máquinas de lavar é responsável por liberar uma quantidade substancial de fibras sintéticas, particularmente quando as roupas são lavadas em ciclos mais agressivos.
- **Impacto da Fricção:**
- A fricção aumenta a degradação física das fibras sintéticas, como poliéster e nylon, exacerbando a liberação de microplásticos no efluente da lavagem (De Falco et al. 2019b).
- **Efeito da Centrifugação:**
- A força centrífuga exerce pressão sobre as fibras têxteis, aumentando a probabilidade de ruptura e, conseqüentemente, a emissão de microplásticos (Hernandez, Nowack, e Mitrano 2017)
- A duração do ciclo de lavagem e a temperatura da água também são fatores mecânicos que afetam a integridade das fibras.
- **Tempo de Lavagem:**
- Quanto mais longo o ciclo de lavagem, maior é a exposição das fibras à agitação e fricção, resultando em uma maior quantidade de microplásticos liberados.

- Influência da Temperatura:
- Temperaturas mais altas podem aumentar a degradação das fibras sintéticas, facilitando a liberação de microplásticos (Browne et al. 2011)

### **3.3.2 Influência dos surfactantes na liberação de microplásticos nas lavagens de roupas**

Os produtos detergentes, incluindo os detergentes domésticos e industriais, representam um mercado em constante crescimento há vários anos, em particular devido à crescente procura nos países emergentes e em desenvolvimento. Hoje em dia, tanto o contexto legislativo como os consumidores exigem a concepção e o desenvolvimento de produtos mais seguros, cada vez mais eficientes e ecológicos, especialmente na indústria de cuidados de lavanderia. Os detergentes para a roupa são misturas complexas que contêm até 25 compostos, como surfactantes, enzimas, polímeros e fragrâncias (Gaubert et al., 2016).

É relatado que os produtos de lavagem podem reduzir significativamente a ação mecânica durante a lavagem. Essa tendência é atribuída à presença de espuma, gerada pelo surfactante, e à absorção de surfactantes nas superfícies das fibras. Os primeiros reduzem a ação de batimento e fricção, evitando danos ao tecido, enquanto os surfactantes reduzem o atrito entre as fibras (Bishop, 1995).

Estimou-se que a utilização de um amaciante durante uma lavagem doméstica de uma carga de lavagem de 5 kg de tecidos de poliéster poderia reduzir a liberação de microfibras em mais de 35% (liberação total de cerca de 4.000.000 de microfibras) em relação à quantidade liberada durante a lavagem, lavando nas mesmas condições, mas apenas com detergente líquido (cerca de 6.000.000 de microfibras). (De Falco et al., 2018).

No que diz respeito ao amaciante, o seu efeito pode ser explicado pela sua capacidade de reduzir o atrito entre as fibras, permitindo que as microfibras fiquem paralelas ao feixe de fibras e diminuindo assim fenômenos prejudiciais e de ruptura (De Falco et al. 2019b)

Embora o conhecimento sobre microplásticos tenha avançado significativamente nos últimos anos, ainda existem lacunas para compreensão de seu impacto ambiental. Esta pesquisa visa explorar novas abordagens para a identificação e quantificação de microplásticos em águas de lavanderia.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Coleta das amostras

Foram utilizadas para a realização dos experimentos quatro lotes de roupas de cama de 2,61 kg compostos por uma colcha de casal, uma colcha de solteiro, um jogo de cama de solteiro e um jogo de cama de casal (Tabela 1). Todas as roupas de cama utilizadas foram da marca Casa (Riachuelo) e os tecidos, compostos de 100% poliéster. A escolha do tecido de poliéster para este estudo foi motivada pela sua significativa liberação de microplásticos durante os processos de lavagem e uso. Este material, sendo um polímero sintético amplamente utilizado na indústria têxtil, é conhecido por desprender partículas plásticas. Ao optar pelo poliéster, busca-se evidenciar o impacto potencial desse tipo de tecido na poluição por microplásticos, contribuindo para a discussão sobre a sustentabilidade em têxteis e a necessidade de alternativas mais ecológicas.

Tabela 1- Relação da largura e comprimento das roupas de cama.

Tipo de roupa de cama		Largura (m)	Comprimento (m)
Colcha de casal		1,90	2,15
Colcha de solteiro		1,4	2,15
Jogo de cama de solteiro	Lençol	1,40	2,20
	Lençol com elástico	0,88	1,88
	Fronha	0,50	0,70
	Lençol	2,0	2,20
Jogo de cama de casal	Lençol com elástico	1,38	1,88
	Fronha (duas)	0,50	0,70

Para a lavagem das roupas, foi utilizada uma máquina lava e seca da marca Samsung, modelo WD9102RNW, com capacidade de lavagem de 10,4 kg por ciclo. Para a lavagem, o ciclo lavagem rápida foi utilizado para todos os lotes, com um total de 3 enxagues pós-lavagem, água fria e rotação de 800 rpm.

### 4.2 Configuração do experimento

O experimento foi realizado utilizando quatro lotes novos, sendo dois lavados somente com água (mecânico) e sem a adição de químicos (detergente em pó e amaciante) e os outros dois lotes lavados utilizando detergente em pó (35 g) e amaciante (55 g)

(mecânico + químico) para avaliação do efeito dos produtos. As lavagens foram divididas em lotes 1 e 2 para mecânico, e 3e 4 para mecânico + químico. O detergente e amaciante foram pesados na balança marca Shimadzu, modelo BL 3200 H.

Foram utilizados praticamente a mesma quantidade em todas as lavagens (Tabela 2). Foram oito lavagens realizadas para cada lote, sendo que para os lotes mecânicos foram analisadas apenas as amostras da 1<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup> e 8<sup>a</sup> lavagem.

Tabela 2- Pesos do amaciante e detergente em pó das lavagens químico + mecânico

<b>Lavagens Lote 3 (Químico+Mecânico)</b>	<b>Peso Amaciante (g)</b>	<b>Peso Sabão em pó (g)</b>
1	54,93	34,41
2	54,12	34,32
3	54,53	34,4
4	54,19	34,5
5	54,52	34,69
6	54,62	34,6
7	54,73	34,93
8	54,26	34,05
<b>Lavagens Lote 4 (Químico+Mecânico)</b>	<b>Peso Amaciante (g)</b>	<b>Peso Sabão em pó (g)</b>
1	54,81	34,26
2	54,85	34,8
3	54,44	34,04
4	54,2	34,24
5	54,18	34,52
6	54,72	34,24
7	54,35	34,26
8	54,21	34,33

A tabela 2 representa a quantidade de amaciante e detergente em pó utilizados no experimento de lavagens de roupas para a quantificação de microplásticos. A quantificação exata dos produtos utilizados, a exemplo do amaciante e detergente em pó, é importante para garantir a reprodutibilidade do experimento.

Foram coletadas amostras da água cinza da máquina de lavar, totalizando em média 80 litros de água por ciclo completo (lavagem + 3 enxágues). As amostras foram filtradas em uma rede de plâncton de malha de 20 µm de abertura, tela de poliamida (100% nylon) (dimensões de 30 cm de diâmetro x 70 cm de comprimento com aro em aço inox 1/4 revestido por lona) (Figura 2). Ao final de cada lavagem, o filtro de 20 µm foi lavado com água destilada (cerca de 300 ml) para limpeza e remoção total de qualquer resíduo de amostra no filtro (Figura 3).



Figura 2- - Filtro utilizado para coleta da água das lavagens

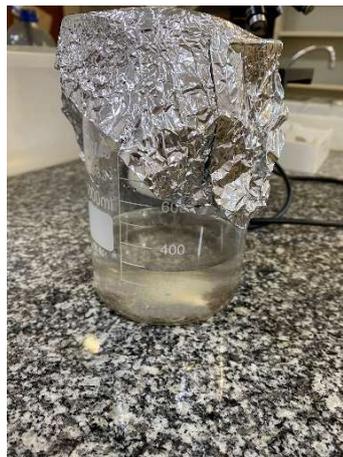


Figura 3 - Amostra da lavagem

### 4.3 Análise visual dos MPs

A análise visual das amostras foi realizada com 20 ml das amostras das lavagens, com o objetivo de contar 40 microplásticos de cada lavagem e medir o diâmetro e comprimento das 40 unidades. A contagem e a medição dos microplásticos foram realizadas com um retículo tipo régua (Figura 5), acoplado na lente de aumento 4x/0.10 do microscópio modelo Olympus BX41. Esse método foi realizado para utilizar a fórmula de aproximação dos números de microplásticos de cada lavagem (Figura 4).



Figura 4- Microplásticos da amostra da lavagem.



Figura 5 – Lente utilizada na análise visual.

#### 4.4 Procedimento para o cálculo de MP por peso

As amostras obtidas nas lavagens dos lotes de 1 a 4 retiradas do filtro de 20  $\mu\text{m}$  ao final de cada lavagem, foram filtradas em microfiltros de fibra de vidro de diâmetro de 47 mm. Antes de serem utilizados, os filtros foram levados a estufa por uma hora a 100°C. Após foram pesados em uma balança analítica da marca Shimadzu, modelo BL 3200 H. As amostras, após filtragem (Figura 6), foram mantidas em estufa por 24 horas, a 100 °C, sendo novamente pesadas e o peso do filtro descontado após a pesagem final



Figura 6 -Amostra filtrada

A estimativa da quantidade de microfibras liberadas pelas lavagens foi realizada pela fórmula, em que a quantidade de microfibras foi convertida em número de microfibras, N. (De Falco et al., 2019b).

$$N = \frac{M_{\text{tot}} \cdot \rho}{\pi D^2 L \cdot 4}$$

$M_{\text{tot}}$  = Peso total da amostra da lavagem

$\rho$  = (densidade)

L = (comprimento)

D = (diâmetro)

N = (número estimado de microplásticos)

O valor total do número estimado de microplásticos (N) foi dividido pelo peso das roupas lavadas em quilogramas.

#### 4.5 Estimativa de liberação de microplásticos na AC

Dados do IBGE (2022) mostram que a média de moradores por domicílio no Brasil é de 2,79 com maior frequência em arranjo nuclear, ou seja, um único núcleo formado pelo casal, com ou sem filhos ou enteados. Para a construção do cenário, foi considerada uma residência de duas pessoas, sendo de um homem e uma mulher.

Com relação ao tipo de roupa que é usualmente utilizado pelos brasileiros, não foi possível levantar dados representativos para uso na estimativa, bem como a frequência com que os brasileiros lavam cada peça de roupa. Assim, considerou-se o tipo de roupa feito 100% de polietileno, material frequentemente utilizado para a confecção de roupas esportivas.. Sabendo que cerca de 30% dos brasileiros praticam o nível recomendado de atividade física (IBGE, 2022) que corresponde a 150 minutos por semana, estimando cada atividade em 50 minutos, consideramos a prática sendo realizada 3 vezes na semana. Para o cenário em questão, considerou-se que os indivíduos praticam o nível recomendado de atividade física e que a cada dia de exercício praticado existe a troca de roupa. Assim, tem-se o uso de 3 camisetas e 3 calças ou shorts/bermuda por pessoa por semana. Além disso, os tamanhos das roupas considerados para os cenários foram os de maior venda no Brasil, o M e o G. (Concept automação comercial, 2021) (Lima, 2019).

Outro fator a se ponderar em relação aos vestuários de brasileiros, refere-se ao tipo do tecido das vestimentas usados, que tem impacto direto nos tipos de microplásticos que podem ser lançados no meio ambiente. A seguir, a Figura 1 apresenta os tipos de fibras, proporcionando uma visualização dos efeitos e da produção de microplásticos durante a lavagem.

O estudo (Menezes,2013) utilizou um conjunto de dados que estima a geração de água cinza em uma residência típica composta por quatro pessoas. Nesse contexto, cada indivíduo é responsável por gerar, em média, 28,1 litros de água proveniente de atividades de lavanderia por dia. Este valor corresponde a aproximadamente 32% de toda a água cinza gerada na residência, que totaliza 87,8 litros por pessoa por dia. A água cinza inclui a água descartada de lavatórios, chuveiros, banheiras e máquinas de lavar roupas, entre outras fontes. Além disso, a água da lavanderia representa cerca de 23% do volume total de efluente gerado por habitante, que é de 122,1 litros por dia. Infere-se, portanto, que quase um quarto de toda a água utilizada na residência está relacionada a atividades de lavagem de roupas, destacando a importância de compreender e gerenciar essa fonte significativa de efluente doméstico.

A partir de dados levantados em sites varejistas, obteve-se a relação de peso por tipo de roupa e por gênero, conforme é apresentado na tabela 3.

Tabela 3- Tipos de roupas e os respectivos pesos

<b>Tipo</b>	<b>Gênero</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Referência</b>
Camiseta	Unisex	200	Shopee
Shorts	Feminino	150	Estarneck Shop
Bermuda	Masculino	370	Amazon
Calça	Feminino	330	Riachuelo
	Masculino	425	Amazon

Na tabela 3 apresenta os diferentes tipos de roupas juntamente com seus pesos e referências para os produtos. Os tipos de roupas, o gênero, e o peso fornecem informações detalhadas sobre as condições do estudo, enquanto as referências permitem a verificação dos produtos utilizados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas lavagens mecânico e químico a maioria dos microplásticos são da coloração transparente (Figura 7). A predominância de microplásticos transparentes nas lavagens mecânico e mecânico + químico pode ser explicada pela própria composição das fibras de poliéster, que são naturalmente translúcidas. Além disso, o desgaste superficial das fibras durante o processo de lavagem, tanto pelo atrito mecânico quanto pelo uso de detergentes e amaciantes, pode liberar fragmentos de camadas internas que não possuem pigmentação. Na lavagem mecânico, os valores de maior frequência de diâmetro são de 0,01 mm e comprimento de 0,6 mm. Já na lavagem mecânico + químico, os valores de maior frequência de diâmetro são de 0,01 mm e comprimento 0,7 mm. O comprimento e o diâmetro dos MPs liberados na lavagem mecânico+químico foram mais homogêneos (Figuras 8 e 9). Além disso, o comprimento dos MPs liberados na lavagem somente mecânico foi menor em relação ao mecânico + químico (Figura 9). A homogeneidade pode indicar que o uso de detergente em pó e/ou amaciante configura uma proteção à roupa e conseqüentemente à liberação dos microplásticos.

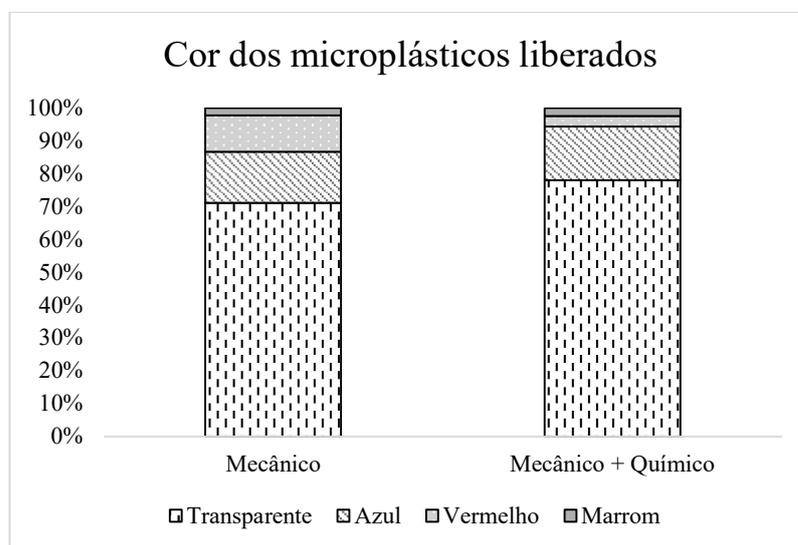


Figura 7 - Quantidade de microplásticos liberados por cor.

Na Figura 7, o gráfico apresentado mostra a cor dos microplásticos liberados durante o processo das lavagens mecânico e mecânico + químico. Na lavagem mecânica, 70% dos microplásticos liberados são transparentes, o que pode ser explicado pelo fato

de o poliéster ser naturalmente translúcido. Isso faz com que, ao se desgastar, a maioria dos fragmentos liberados não tenha cor. Os 20-30% restantes correspondem a microplásticos de outras cores, como azul, vermelho e marrom, que provavelmente se originam de partes pigmentadas das fibras, mas são liberados em menor quantidade. Na lavagem mecânico + químico os microplásticos transparentes predominam, representando entre 70% e 80%. Há uma leve variação na proporção de microplásticos de outras cores, como azul, vermelho e marrom, que ainda representam uma parte menor do total.

Comparando os dois processos, observa-se que o uso de produtos químicos não parece alterar significativamente a proporção de microplásticos de diferentes cores liberados, embora possa haver uma ligeira diferença nos microplásticos coloridos, que apresentam pequenas variações entre os dois processos.

As cores são úteis para identificar possíveis fontes de resíduos plásticos e avaliar a contaminação durante a preparação de amostras. Geralmente, os microplásticos aparecem em cores como vermelho, laranja, amarelo, marrom, bege, branco, cinza, azul e verde. Entretanto, partículas de cor escura, branca, transparente ou translúcida tendem a ser subestimadas durante a inspeção visual, o que pode levar à sua menor representação em análises visuais (Yulan Zhang et al. 2020)

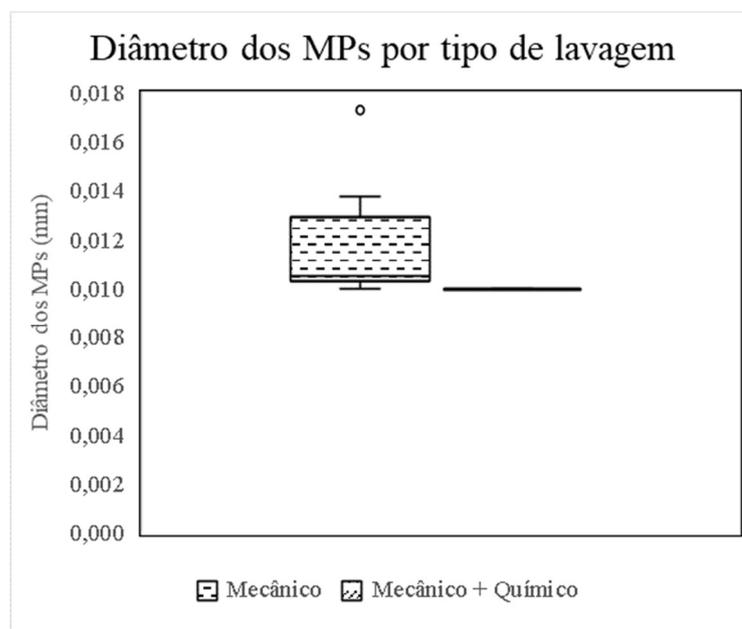


Figura 8 - Diâmetro de microplásticos por lavagem.

A Figura 8 mostra a comparação entre o diâmetro dos microplásticos (MPs) liberados durante dois tipos de lavagem: mecânico e mecânico + química. Na lavagem

mecânico, o diâmetro dos MPs tem uma distribuição mais variada, conforme indicado pela caixa de dispersão.

A lavagem mecânica + químico mostra-se uma faixa de diâmetros muito mais estreita e uniforme, com pouca ou nenhuma variação, indicando que os MPs liberados são mais uniformes em tamanho assim podendo indicar que o uso de detergente e amaciante influencia a estrutura e a degradação das fibras liberadas.

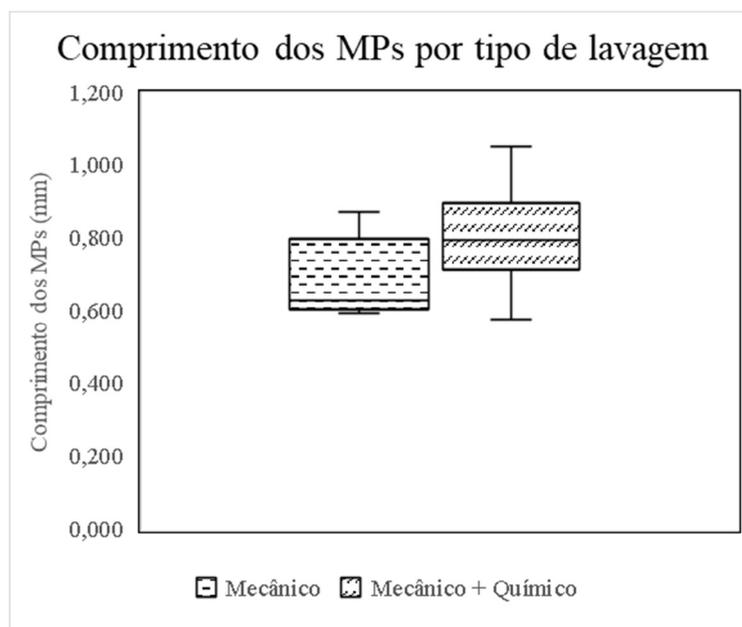


Figura 9 - Comprimento de microplásticos por lavagem.

Na Figura 9 o comprimento dos microplásticos da lavagem mecânico está distribuído de maneira mais concentrada entre cerca de 0,6mm e 0,8 mm, com uma mediana em torno de 0,7 mm. O comprimento dos microplásticos da lavagem mecânico + químico apresenta uma distribuição mais ampla, entre aproximadamente 0,8 mm e 1,0 mm, com uma mediana em torno de 0,9 mm. A diferença na distribuição dos comprimentos dos microplásticos entre as lavagens mecânico e mecânico + químico pode estar associada ao efeito protetor do detergente e do amaciante sobre as fibras.

Na lavagem mecânico + químico gera o maior comprimento de microplásticos. Isso pode ser observado pela mediana do boxplot, que está em torno de 0,9 mm, enquanto a mediana da lavagem mecânico está em aproximadamente 0,7 mm. Além disso, os valores máximos também são maiores para a lavagem mecânico + químico.

A maior mediana e os valores máximos mais elevados para o comprimento dos microplásticos na lavagem mecânico + químico indicam que o uso de detergente e

amaciante exerce um efeito protetor sobre as fibras. Esses produtos reduzem a abrasão e a fragmentação das fibras, resultando em microplásticos mais longos e menos fragmentados. Assim, as partículas liberadas têm maior comprimento em comparação à lavagem mecânica, onde as fibras estão mais expostas e sofrem maior desgaste.

Para o objetivo de verificar se há diferença entre os tipos de mecânico e mecânico + químico, é feito o gráfico de Box-Plot. O box-plot mostra a distribuição da média de microplásticos por tipo de lavagem, com as estatísticas de ordem (percentil 25, mediana, percentil 75).

Adicionalmente, a figura 10 mostra a distribuição da média de microplásticos por tipo de lavagem. O número de microplástico médio produzido pela lavagem mecânica foi de 4.121.744 e do mecânico + químico foi de 2.529.691. Os produtos usados na lavagem podem diminuir de forma significativa o impacto mecânico durante o processo de lavagem. Isso ocorre por causa da espuma gerada pelos surfactantes, que formam uma camada nas fibras. A espuma reduz a força do batimento e da fricção, evitando que o tecido se desgaste, enquanto os surfactantes diminuem o atrito entre as fibras, preservando sua integridade (Bishop, 1995).

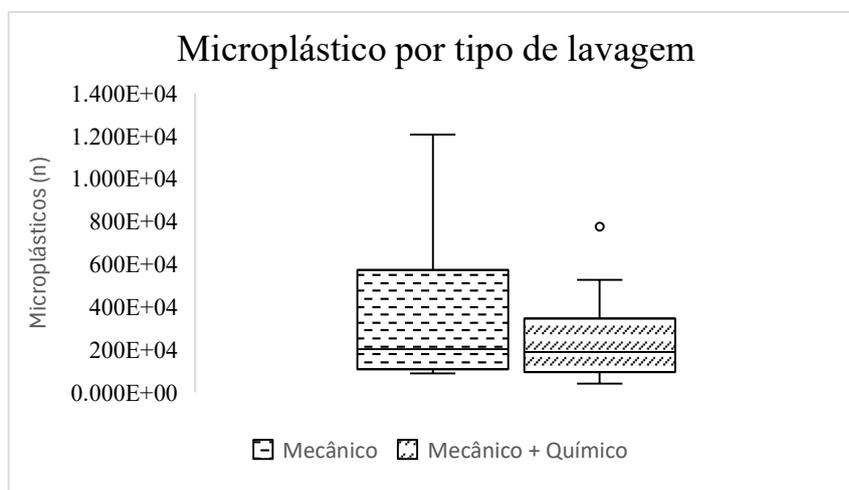


Figura 10- Média de microplásticos por lavagem

A Figura 10 acima está comparando a quantidade de microplásticos gerados por diferentes tipos de lavagens: "Mecânico" e "Mecânico + Químico". O eixo vertical indica a quantidade de microplásticos contados, numericamente representada. No eixo horizontal, Mecânico: Lavagens que envolvem apenas a ação mecânica (sem produtos químicos). Mecânico + Químico: Lavagens que combinam ação mecânica com produtos químicos (ex., detergentes, amaciantes).

Nos gráficos apresentados, diversos elementos visuais são utilizados para ilustrar a distribuição dos dados, permitindo uma análise comparativa entre os tratamentos "Mecânico" e "Mecânico + Químico". Os componentes do gráfico, como as caixas (retângulos), barras verticais e pontos, são fundamentais para interpretar a dispersão dos dados e identificar possíveis valores atípicos.

A parte central da caixa representa o intervalo interquartil (IQR), que corresponde à diferença entre o primeiro quartil (Q1) e o terceiro quartil (Q3). Este intervalo engloba os 50% centrais dos dados, fornecendo uma visão da variabilidade interna entre os quartis. Além disso, a linha horizontal dentro da caixa indica a mediana (Q2), que é o valor central da distribuição dos dados quando ordenados. A mediana é um importante indicador de tendência central, pois aponta o ponto médio da distribuição.

No caso da lavagem "Mecânico", a mediana se encontra em torno de  $500E+04$ , sugerindo que metade das observações estão acima e metade abaixo desse valor. Já para a lavagem "Mecânico + Químico", a mediana está ligeiramente abaixo de  $400E+04$ , indicando uma pequena diferença em relação a lavagem "Mecânico".

As barras verticais, que se estendem das caixas até os valores máximos e mínimos, representam a variabilidade dos dados fora dos quartis superior e inferior. Elas indicam a amplitude dos dados dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR) a partir de Q1 e Q3, excluindo valores atípicos.

Para a lavagem "Mecânico", as barras verticais se estendem aproximadamente de  $200E+04$  a  $1.200E+04$ , evidenciando uma dispersão significativa nos dados. Em contraste, para a lavagem "Mecânico + Químico", as barras se estendem de cerca de  $200E+04$  a  $800E+04$ , sugerindo uma dispersão menor em comparação a lavagem "Mecânico".

O ponto no gráfico, localizado acima da barra vertical da lavagem "Mecânico + Químico", representa um valor atípico. Este ponto se refere a um valor que está significativamente distante do restante dos dados, sugerindo uma exceção dentro da distribuição. A presença deste ponto sugere que, em algumas lavagens, a quantidade de microplásticos liberada excedeu o esperado para aquela categoria, indicando uma variabilidade que não se alinha com a tendência geral observada.

Este gráfico de caixa mostra a distribuição da quantidade de microplásticos por tipo de lavagem, destacando como as lavagens mecânicas puras tendem a produzir uma variabilidade maior na liberação de microplásticos, enquanto a combinação com produtos químicos geralmente leva a uma distribuição mais contida.

Para a lavagem de 2,61 kg de roupa ao longo das 8 lavagens (Figuras 11 e 12), observa-se, que há um decréscimo da média de microplásticos ao logo das lavagens, sendo que na primeira teve uma maior geração de microplásticos, com uma maior produção para o mecânico.

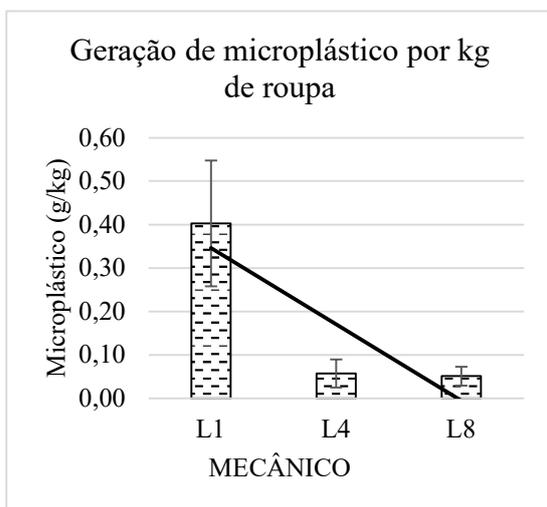


Figura 11 - Quantidade de microplásticos liberados na lavagem mecânico. L1, L4, e L8 correspondem às lavagens 1, 4 e 8, respectivamente.

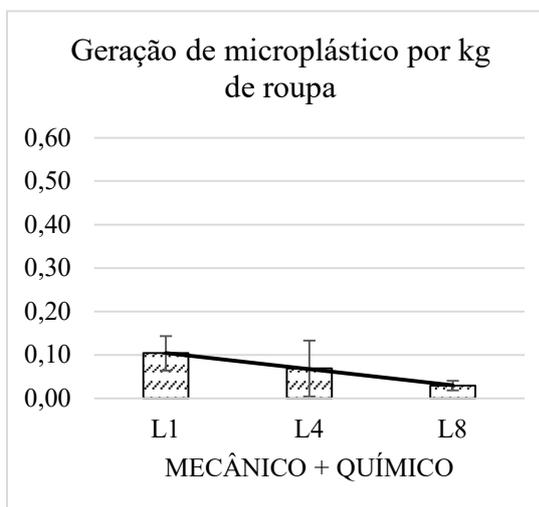


Figura 12- Quantidade de microplásticos liberados na lavagem mecânico + químico. L1, L4, e L8 correspondem às lavagens 1, 4 e 8, respectivamente.

Analisando o gráfico da Figura 11 que corresponde às lavagens mecânicas, a quantidade de microplásticos gerados é medida em gramas por quilograma de roupa. L1, L4 e L8, representam lavagens consecutivas. A primeira barra (L1) mostra a maior quantidade de microplásticos gerados, com um valor de aproximadamente 0,35 g/kg.

À medida que as lavagens progredem para L4 e L8, a quantidade de microplásticos gerados diminui significativamente. Em L4, o valor é em torno de 0,10 g/kg, e em L8, cerca de 0,05 g/kg.

As barras verticais (linhas de erro) representam a variabilidade ou incerteza dos dados, geralmente expressa como erro padrão ou intervalo de confiança. Quanto mais longas as barras, maior a variação nos dados coletados. No gráfico, L1 apresenta a maior variabilidade.

O gráfico da Figura 12 todas as barras apresentam valores menores em comparação com o gráfico mecânico. Para L1, a quantidade de microplásticos gerados é cerca de 0,10 g/kg. As lavagens L4 e L8 apresentam quantidades ainda menores, próximas de 0,05 g/kg e 0,02 g/kg, respectivamente.

As barras verticais (linhas de erro) são similarmente ao gráfico anterior, essas barras mostram a variação dos dados. A variabilidade é menor em comparação com o gráfico apenas mecânico, notável em L1.

As lavagens mecânicas apresentam uma maior quantidade de microplásticos gerados em todas as lavagens. As lavagens mecânico+químico geram uma menor quantidade de microplásticos em comparação às lavagens mecânicas, sugerindo que a adição de produtos químicos podem reduzir a liberação de microplásticos.

Avaliando as oito lavagens do tipo mecânico + químico (Figura 13), foi possível observar a diminuição da média de microplásticos ao longo das lavagens dos lotes, porém, da quarta para a sexta lavagem há um aumento, fora do padrão da média de microplásticos.

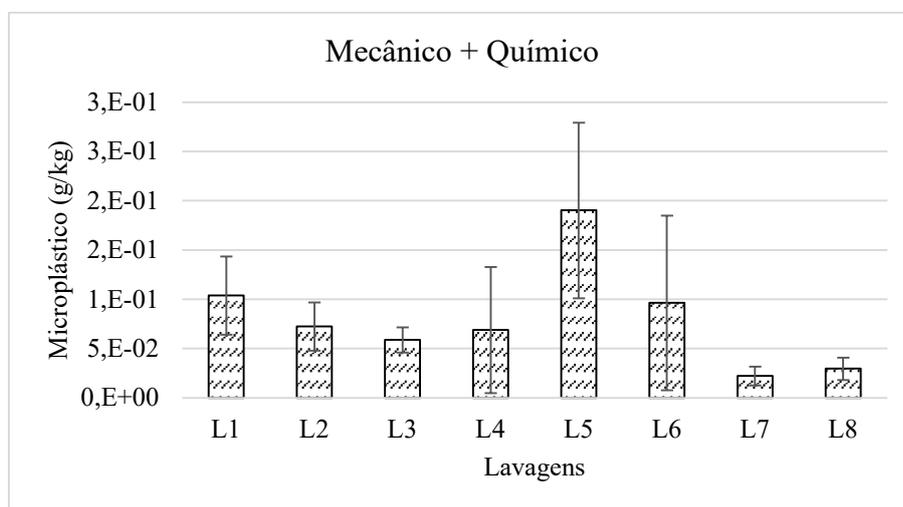


Figura 13 - Distribuição média dos microplásticos por quilo de roupa da lavagem mecânico + químico.

Na lavagem 5, observa-se uma barra de erro longa, indicando uma variação significativa nos dados. Isso sugere que, para essa lavagem, a quantidade de microplásticos gerados variou consideravelmente entre as diferentes amostras ou replicações experimentais.

As lavagens L1, L2, L3, L4, L6, L7 e L8 apresentam barras de erro menores, o que indica que a geração de microplásticos foi mais consistente e teve menos variação entre as amostras ou experimentos. A menor variabilidade nestas lavagens sugere que os processos de degradação mecânica e química das fibras têxteis foram mais uniformes nessas etapas.

A diferença no número de microplásticos entre as lavagens, especialmente entre a quarta (L4) e a sexta (L6), pode ser atribuída a vários fatores. Como os microplásticos

são partículas extremamente pequenas e difíceis de serem pesadas com precisão, algumas fibras podem ter sido retidas ou perdidas durante o processo de lavagem e centrifugação. Essas perdas podem ocorrer devido à natureza delicada do material, que pode facilmente escapar ou ficar preso em diferentes etapas do processo, afetando a contagem final de microplásticos detectados (Cesa, 2017).

### **5.1 Estimativa da liberação de microplástico na AC**

O poliéster é uma das fibras sintéticas mais comuns utilizadas na indústria têxtil e, conseqüentemente, uma das principais fontes de microplásticos liberados durante as lavagens de roupas. Ao utilizar roupas 100% poliéster, o experimento reflete de forma realista a contribuição desse material específico para a poluição por microplásticos no ambiente.

Análise feita baseada em estimativas do uso de roupas 100% poliéster e a quantidade de microplásticos liberados durante o processo de lavagem, a análise subsequente aborda os seguintes pontos:

- **Seleção das Roupas e Pesos Utilizados:**

O cálculo do peso das roupas (1.230 g para o gênero feminino e 1.765 g para o gênero masculino) ao longo de uma semana foi feito para representar o uso típico de roupas de poliéster em uma residência composta por duas pessoas (casal). Esse peso foi escolhido para refletir um cenário realista de uso de roupas de poliéster em uma semana típica, considerando as peças comuns como camisetas, shorts/bermudas, e calças.

Na cidade de Campo Grande, a maioria dos casais é composta por parceiros de sexo oposto, o que influencia as práticas cotidianas, incluindo a lavagem de roupas. Essa realidade torna-se relevante para o presente estudo, que se propõe a analisar as diferenças nas preferências e práticas de lavagem de roupas entre os gêneros feminino e masculino.(PLANURB 2020)

- **Geração de Água Cinza (AC):**

A geração de 28,1 L/hab /dia de água cinza (AC) é baseada em dados da literatura (Menezes, 2013). Essa quantidade reflete o volume de água de lavanderia gerada por uma pessoa por dia.

- **Liberação de Microplásticos na Lavagem:**

A quantidade média de microplásticos gerados ( $0,99 \pm 0,61$  mg de MP/LAC.kg de roupa ou  $11.968,24 \pm 7.432,59$  partículas de MP/LAC.kg de roupa) é baseada em dados

experimentais obtidos durante as lavagens utilizando tanto por processos mecânicos quanto químicos. Esses valores foram utilizados para calcular a quantidade anual de microplásticos que seria liberada na água cinza (AC) ao longo de um ano. Nesse contexto, LAC representa "litros de água cinza," referindo-se ao volume de água residual gerado em cada ciclo de lavagem.

- **Cálculo da Liberação Anual de Microplásticos:**

Com os dados de geração de microplásticos por litro de água cinza (LAC) e a quantidade de água cinza gerada semanalmente, foi possível estimar a geração anual de microplásticos. A estimativa de 30,43 g de MP por ano e  $3,68E+08$  partículas de MP por ano reflete o impacto cumulativo do uso de roupas de poliéster em termos de poluição por microplásticos. O valor de 30,43 g por ano, torna-se significativo ao se considerar o acúmulo dessas partículas ao longo dos anos e a multiplicação desse efeito em milhões de residências. Isso sugere que mesmo atividades domésticas diárias podem ter um impacto ambiental significativo. Embora o peso total de microplásticos possa parecer limitado, o número de partículas revela o grau de fragmentação desses poluentes. Cada uma dessas partículas tem o potencial de se espalhar amplamente nos sistemas hídricos, devido ao seu tamanho reduzido, e de se acumular em diversas camadas dos ecossistemas, desde a água superficial até os sedimentos.

Tabela 4 - Geração média de microplásticos

Gênero	Peso de roupa (g)/semana	AC (L/hab.dia)	mg de MP/L <sub>AC</sub> .kg <sub>roupa</sub>	n de MP/L <sub>AC</sub> .kg <sub>roupa</sub>	g de MP		n de MP	
					Semana	Ano	Semana	Ano
Feminino	1230				0,24	12,5	2,90E+06	1,51E+08
Masculino	1765	28,1	0,9907	1,20E+04	0,34	17,93	4,16E+06	2,17E+08
Roupas de cama	2610				0,51	26,52	6,14E+06	3,20E+08
<b>Total</b>					<b>1,09</b>	<b>56,95</b>	<b>1,32E+07</b>	<b>6,88E+08</b>

Considerando a geração média por pessoa, tem-se o equivalente à  $6,88 \times 10^8$  MP por ano. Com este resultado, podemos comparar com resultados de outro estudo que mediu os valores de microplásticos por pessoa gerados em água cinza de um navio.

A análise da geração de microplásticos (MPs) revela diferenças significativas entre os ambientes domésticos e o contexto marítimo do navio R/V Onnuri. A pesquisa indica que a geração média de MPs por pessoa em ambientes domésticos, com ênfase em roupas de poliéster, é de aproximadamente  $6,88 \times 10^8$  MP por ano. Esse valor é

consideravelmente superior ao estimado para a descarga de água cinza do R/V Onnuri, que é de  $4,1 \times 10^6$  n de MPs/ pessoa x ano.

Em termos de massa, a estimativa anual total de MPs no ambiente doméstico é de cerca de 30,43 g, comparada aos 91 g totais no R/V Onnuri. Embora o número de MPs no ambiente doméstico seja muito maior, a diferença em massa é menor, o que sugere que as partículas liberadas no ambiente doméstico podem ser menores, contribuindo para um número elevado, mas com menor massa total.

Ao comparar esses resultados, o ambiente doméstico contribui significativamente mais para a poluição por microplásticos do que as operações do R/V Onnuri. Enquanto a descarga anual de MPs em um ambiente doméstico pode gerar mais partículas por pessoa em comparação com o navio, essa diferença ressalta o impacto maior da poluição gerada nas residências em relação ao ambiente específico de um navio em atividades de pesquisa.

O artigo dos autores (Jang et al. 2024) que investigaram a produção de microplásticos do referido navio é o único que se encontrou que aborda diretamente a questão da liberação de microplásticos em águas cinzas provenientes de lavanderias em um ambiente controlado como o de um navio. Isso o torna uma referência fundamental para entender como a lavagem de roupas pode contribuir para a poluição por microplásticos em ambientes marítimos.

O R/V Onnuri é um navio de pesquisa que passa uma quantidade significativa de tempo no mar (195 dias por ano). Nele se estudam as emissões de microplásticos nesse contexto para avaliar o impacto que atividades humanas, como a lavagem de roupas, têm sobre os oceanos. Este estudo fornece dados sobre a contribuição de microplásticos gerados especificamente em lavanderias, que é uma área de preocupação crescente em relação à poluição aquática, por isso, apesar de espaços e condições diferentes da nossa pesquisa, consideramos importante relacionarmos a esse estudo por ser referência para estudos de análise de lavagem de roupas e produção de microplásticos.

O referido estudo fornece dados detalhados sobre a liberação de microplásticos em água de lavanderia a bordo de um navio. A falta de outros estudos comparáveis limita a capacidade de se realizar análises mais abrangentes e marca a necessidade de mais pesquisas nessa área. Esses dados fornecem uma base para futuras investigações e para a criação de estratégias que possam reduzir a poluição por microplásticos em ambientes marítimos e domésticos.

## 6. CONCLUSÃO

Existem diversos fatores na lavagem de roupas que influenciam significativamente na liberação de microplásticos, como o tempo de lavagem, a intensidade da ação mecânica e o uso de detergente e amaciante. A pesquisa demonstrou que a lavagem com ação mecânica isolada, sem a adição de produtos químicos, aumenta as tensões mecânicas aplicadas às peças de roupa, resultando em uma maior liberação de microplásticos. Em média, essa condição promove um aumento de 33% na quantidade de microplásticos liberados, evidenciando o impacto significativo da ação mecânica na fragmentação das fibras têxteis.

Por outro lado, as lavagens combinando ação mecânica com o uso de produtos químicos, como detergente em pó e amaciante, resultaram em uma menor quantidade de microplásticos liberados. Esse efeito pode ser atribuído ao fato de que os produtos químicos atuam protegendo as fibras dos tecidos, reduzindo assim o desgaste das roupas durante o processo de lavagem.

Além disso, foi observado que a quantidade de microplásticos liberados tende a diminuir ao longo de sucessivas lavagens, tanto nas lavagens mecânicas quanto nas que combinam ação mecânica e produtos químicos. Isto pode estar relacionado à remoção gradual de fibras nas lavagens. Nas lavagens mecânicas houve uma diminuição de 61% de microplásticos em relação ao total de microplásticos em todas as lavagens e na lavagem mecânico + químico foi uma queda de 12% de microplásticos. Uma possibilidade da queda na liberação de microplásticos conforme as roupas são lavadas repetidamente, as fibras superficiais soltas já foram removidas, e a estrutura têxtil torna-se mais resistente ao atrito.

Com base na relação entre a quantidade de microplásticos gerados por quilograma de roupa lavada e o volume de água utilizado, estimou-se que uma pessoa adulta, vestindo roupas de tamanho médio ou grande e seguindo um nível de atividade física recomendado, pode gerar aproximadamente 688 milhões de partículas de microplásticos por ano. Contextualizando, esse valor equivale à liberação de quase 1,9 milhão de partículas por dia apenas através das lavagens de roupas. Esse número destaca o impacto cumulativo das rotinas de lavanderia no ambiente, especialmente em residências que utilizam tecidos sintéticos, como o poliéster, que são altamente propensos à liberação de microplásticos.

Esse resultado ressalta a importância de compreender e mitigar os fatores que influenciam a liberação de microplásticos durante a lavagem de roupas, buscando práticas e tecnologias que reduzam a poluição ambiental causada por essas partículas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anastasiou, Evilena, Kirsi O. Lorentz, Gil J. Stein, e Piers D. Mitchell. 2014. “Prehistoric schistosomiasis parasite found in the Middle East”. *The Lancet Infectious Diseases* 14(7): 553–54. doi:10.1016/S1473-3099(14)70794-7.
- Audaces. 2024. “Fibras têxteis: conheça suas possibilidades de uso”. <https://audaces.com/pt-br/blog/fibras-texteis> (24 de setembro de 2024).
- <https://www.amazon.com.br/Kit-shorts-masculino-Elite-academia/dp/B086LHC4B4>
- <https://www.amazon.com.br/Cal%C3%A7a-Masculina-Poliester-Academia-Esportes/dp/B09CG4W3CS?th=1>
- Bishop, D P. *4 Physical and chemical effects of domestic laundering processes*.
- Browne, Mark Anthony, Phillip Crump, Stewart J. Niven, Emma Teuten, Andrew Tonkin, Tamara Galloway, e Richard Thompson. 2011. “Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks”. *Environmental Science and Technology* 45(21): 9175–79. doi:10.1021/es201811s.
- Burckett, James, St Laurent, Francesco De Buzzaccarini, Karen De Clerck, Hugo Demeyere, Regine Labeque, Rainer Lodewick, e Lieva Van Langenhove. *Handbook for Cleaning/Decontamination of Surfaces Laundry Cleaning of Textiles*. doi:10.1016/B978-0-444-51664-0.50003-6.
- Carney Almroth, Bethanie M., Linn Åström, Sofia Roslund, Hanna Petersson, Mats Johansson, e Nils Krister Persson. 2018. “Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment”. *Environmental Science and Pollution Research* 25(2): 1191–99. doi:10.1007/s11356-017-0528-7.
- Menezes, C. D. S. DE. 2013. *Tratamento e reuso de águas cinza para ampliação de áreas verdes*. 2013. 68f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.
- Claus Barthel Thomas Götz, Authors. 2013. *Appliances Guide The overall worldwide saving potential from domestic washing machines With results detailed for 10 world regions*.
- Dalla Fontana, Giulia, Raffaella Mossotti, e Alessio Montarsolo. 2020. “Assessment of microplastics release from polyester fabrics: The impact of different washing

- conditions”. *Environmental Pollution* 264: 113960. doi:10.1016/j.envpol.2020.113960.
- Dubowski, Yael, Yuval Alfiya, Yael Gilboa, Sara Sabach, e Eran Friedler. 2020. “Removal of organic micropollutants from biologically treated greywater using continuous-flow vacuum-UV/UVC photo-reactor”. *Environmental Science and Pollution Research* 27(7): 7578–87. doi:10.1007/s11356-019-07399-7.
- Duis, Karen, e Anja Coors. 2016. “Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects”. *Environmental Sciences Europe* 28(1): 1–25. doi:10.1186/s12302-015-0069-y.
- De Falco, Francesca, Maria Pia Gullo, Gennaro Gentile, Emilia Di Pace, Mariacristina Cocca, Laura Gelabert, Marolda Brouta-Agnésa, et al. 2018. “Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics”. *Environmental Pollution* 236: 916–25. doi:10.1016/j.envpol.2017.10.057.
- De Falco, Francesca, Emilia Di Pace, Mariacristina Cocca, e Maurizio Avella. 2019a. “The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution”. *Scientific Reports* 9(1): 1–11. doi:10.1038/s41598-019-43023-x.
- De Falco, Francesca, Emilia Di Pace, Mariacristina Cocca, e Maurizio Avella. 2019b. “The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution”. *Scientific Reports* 9(1). doi:10.1038/s41598-019-43023-x.
- <https://www.estarneckshop.com.br/product-page/short-feminino-para-sublima%C3%A7%C3%A3o-100-poli%C3%A9ster-fio-30-1>
- Fendall, Lisa S., e Mary A. Sewell. 2009. “Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers”. *Marine Pollution Bulletin* 58(8): 1225–28. doi:10.1016/j.marpolbul.2009.04.025.
- Frias, J. P.G.L., e Roisin Nash. 2019. “Microplastics: Finding a consensus on the definition”. *Marine Pollution Bulletin* 138: 145–47. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.11.022.
- Gaubert, Alexandra, Yohann Clement, Anne Bonhomme, Benjamin Burger, Delphine Jouan-Rimbaud Bouveresse, Douglas Rutledge, Hervé Casabianca, Pierre Lanteri, e Claire Bordes. 2016. “Characterization of surfactant complex mixtures using Raman spectroscopy and signal extraction methods: Application to laundry detergent deformation”. *Analytica Chimica Acta* 915: 36–48. doi:10.1016/j.aca.2016.02.016.

- De Gisi, Sabino, Patrizia Casella, e Michele Notarnicola. 2017. “Grey Water”. Em *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, Elsevier, 77–89. doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.10162-9.
- Hernandez, Edgar, Bernd Nowack, e Denise M Mitrano. 2017. Environ. Sci. Technol., Just Accepted Manuscript • Publication Date (Web *Synthetic Textiles as a Source of Microplastics from Households: A Mechanistic Study to Understand Microfiber Release During Washing*. <http://pubs.acs.org>.
- “IBGE”.
- Jang, Yu Lee, Jongwook Jeong, Soeun Eo, Sang Hee Hong, e Won Joon Shim. 2024. “Occurrence and characteristics of microplastics in greywater from a research vessel”. *Environmental Pollution* 341. doi:10.1016/j.envpol.2023.122941.
- Magnusson, Kerstin, e Fredrik Norén. 2014. *Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant*. [www.ivl.se](http://www.ivl.se).
- Mac Namara, C., A. Gabriele, C. Amador, e S. Bakalis. 2012. “Dynamics of textile motion in a front-loading domestic washing machine”. *Chemical Engineering Science* 75: 14–27. doi:10.1016/j.ces.2012.03.009.
- Napper, Imogen E., e Richard C. Thompson. 2016. “Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions”. *Marine Pollution Bulletin* 112(1–2): 39–45. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.09.025.
- Ngo, Phuong Linh, Biplob Kumar Pramanik, Kalpit Shah, e Rajeev Roychand. 2019. “Pathway, classification and removal efficiency of microplastics in wastewater treatment plants”. *Environmental Pollution* 255. doi:10.1016/j.envpol.2019.113326.
- Perfil Socioeconômico de Campo Grande Mato Grosso do Sul 27ª edição revista*. 2020.
- Pinlova, Barbora, Rudolf Hufenus, e Bernd Nowack. 2022. “Systematic study of the presence of microplastic fibers during polyester yarn production”. *Journal of Cleaner Production* 363. doi:10.1016/j.jclepro.2022.132247.
- Rahman, Arifur, Atanu Sarkar, Om Prakash Yadav, Gopal Achari, e Jaroslav Slobodnik. 2021. “Potential human health risks due to environmental exposure to nano- and microplastics and knowledge gaps: A scoping review”. *Science of the Total Environment* 757. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143872.
- Remy, François, France Collard, Bernard Gilbert, Philippe Compère, Gauthier Eppe, e Gilles Lepoint. 2015. “When Microplastic Is Not Plastic: The Ingestion of Artificial Cellulose Fibers by Macrofauna Living in Seagrass Macrophytodebris”.

- Environmental Science and Technology* 49(18): 11158–66.  
doi:10.1021/acs.est.5b02005.  
[https://www.riachuelo.com.br/calca-feminina-jogger-amarrac-o-poliester-lisa-verde-ak-by-riachuelo-14322927\\_sku](https://www.riachuelo.com.br/calca-feminina-jogger-amarrac-o-poliester-lisa-verde-ak-by-riachuelo-14322927_sku)
- Salvador Cesa, Flavia, Alexander Turra, e Julia Baruque-Ramos. 2017. “Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: A review from textile perspective with a focus on domestic washings”. *Science of the Total Environment* 598: 1116–29. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.04.172.
- Schmid, Chiara, Luca Cozzarini, e Elena Zambello. 2021. “Microplastic’s story”. *Marine Pollution Bulletin* 162. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111820.  
[https://shopee.com.br/Camisa-100-Poli%C3%A9ster-165-gramatura-\(Qualidade-TOP-Melhor-custo-beneficio\)-i.358579469.6683727853](https://shopee.com.br/Camisa-100-Poli%C3%A9ster-165-gramatura-(Qualidade-TOP-Melhor-custo-beneficio)-i.358579469.6683727853)
- Talvitie, Julia, Mari Heinonen, Jari Pekka Pääkkönen, Emil Vahtera, Anna Mikola, Outi Setälä, e Riku Vahala. 2015. “Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea”. *Water Science and Technology* 72(9): 1495–1504. doi:10.2166/wst.2015.360.
- Weinstein, John E., Brittany K. Crocker, e Austin D. Gray. 2016. “From macroplastic to microplastic: Degradation of high-density polyethylene, polypropylene, and polystyrene in a salt marsh habitat”. *Environmental Toxicology and Chemistry* 35(7): 1632–40. doi:10.1002/etc.3432.
- Zhang, Y., Tanguang Gao, Shichang Kang, e Mika Sillanpää. 2019. “Importance of atmospheric transport for microplastics deposited in remote areas”. *Environmental Pollution* 254. doi:10.1016/j.envpol.2019.07.121.
- Zhang, Yulan, Shichang Kang, Steve Allen, Deonie Allen, Tanguang Gao, e Mika Sillanpää. 2020. “Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives”. *Earth-Science Reviews* 203. doi:10.1016/j.earscirev.2020.103118.

