

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS**  
**Curso de Graduação em Farmácia-Bioquímica**

**Fármacos no meio ambiente: origem, perigos e alternativas**

Jonatas Elias Rita

Trabalho de Conclusão do Curso de  
Farmácia-Bioquímica da Faculdade de  
Ciências Farmacêuticas da Universidade  
de São Paulo

Orientador:

Prof. Dr. Mauri Sergio Alves Palma

São Paulo

2024

## AGRADECIMENTOS

À minha avó Ana, *in memoriam*, por tudo.

À minha mãe, Sonia, por ser minha base.

À Camila Salomão, pela inspiração.

Ao psicólogo Adelson, pela orientação vocacional.

Aos colegas de curso, sem os quais não venceria esse desafio.

Ao Professor Mauri, pela paciência e orientação.

*“What if I fall?” Oh but my darling, What if you fly?”*

(Erin Hanson)

## SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE TABELAS .....	1
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	2
LISTA DE SÍMBOLOS .....	3
RESUMO .....	4
ABSTRACT .....	5
1. INTRODUÇÃO .....	6
2. OBJETIVOS .....	8
3. METODOLOGIA .....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	9
4.1 Origens .....	9
4.2 Perigos .....	16
4.3 Alternativas .....	19
5. CONCLUSÃO .....	24
6. REFERÊNCIAS .....	26
7. ANEXO A – Tabela A.1: Fármacos encontrados em águas brasileiras .....	32

LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** – Medicamentos mais comercializados no Brasil em 2023 ..... 9

**Tabela 2** – Resumo dos fármacos contaminantes no Brasil ..... 13

**Tabela A.1** – Fármacos encontrados em águas brasileiras ..... 32

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AINES	Anti-inflamatório(s) não esteroide(s)
ANVISA/Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CE	Ceará
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ETA/ETAs	Estação(ões) de Tratamento de Água
ETE/ETEs	Estação(ões) de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IWA	International Water Association
LD	Limite de detecção
MG	Minas Gerais
OMS/WHO	Organização Mundial da Saúde/World Health Organization
pH	potencial hidrogeniônico
pKa	logaritmo negativo da constante de dissociação
PR	Paraná
RAFA	Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RJ	Rio de Janeiro
Sabesp	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SC	Santa Catarina
SP	São Paulo
spp.	espécies
USP	Universidade de São Paulo

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	por cento
µg	micrograma(s)
L	litro
mg	miligramas(s)
ng	nanograma(s)
α	alfa
β	beta

## RESUMO

RITA, J. E. **Fármacos no meio ambiente: origem, perigos e alternativas**. 2024. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Farmácia-Bioquímica – Faculdade de Ciências Farmacêuticas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

Palavras-chave: contaminação, ambiental, fármacos.

**INTRODUÇÃO:** A melhora na expectativa de vida nos últimos anos deve-se em grande parte à melhora dos indicadores sanitários (tratamento de água e esgoto) e desenvolvimento de medicamentos, principalmente os antibióticos, que reduziram a mortalidade por doenças infecciosas. Como os fármacos são eliminados pela urina e/ou fezes, espera-se que atinjam corpos d'água. Além da eliminação, os medicamentos também são descartados de maneira incorreta, via lixo comum, contribuindo para a contaminação do meio ambiente. Muitas vezes o descarte incorreto associa-se ao uso irracional. Por se tratar de moléculas com atividade biológica, há preocupação com possíveis efeitos ecotoxicológicos, já que as Estações de Tratamento de Esgoto não são capazes de remover completamente os fármacos das águas tratadas. **OBJETIVOS:** listar os principais fármacos contaminantes do meio ambiente, estabelecer as causas e condições das contaminações, pontuar os riscos e listar as alternativas para mitigar os efeitos, através de tecnologias de tratamento e uso racional de medicamentos. **METODOLOGIA:** a pesquisa foi realizada em bases de dados bibliográficos, revistas científicas e bibliotecas de trabalhos acadêmicos, através de palavras-chave. A divisão em três etapas (fármacos presentes no meio ambiente e formas de contaminação, problemas e riscos e alternativas para mitigação dos efeitos da contaminação) foi apenas para organização do trabalho. O foco foi o ecossistema brasileiro, sem análise estatística. **RESULTADOS E DISCUSSÃO:** As origens dos fármacos no meio ambiente são devidas à excreção e descarte inadequado, decorrente do desconhecimento sobre o uso racional de medicamentos e perfis socioeconômicos. O tratamento nas estações não é suficiente para removê-los completamente, necessitando de tecnologias complementares. Os efeitos ecotoxicológicos de alguns fármacos são demonstrados por estudos, embora não se possa extrapolá-los para escala humana. A maior preocupação é a resistência bacteriana e problemas endócrinos. Na tabela de contaminantes das águas brasileiras, apenas cinco medicamentos dos vinte mais comercializados no país aparecem, mostrando uma lacuna nos estudos em âmbito geográfico e epidemiológico. A degradação biológica, uso de carvão ativado e processos oxidativos avançados se mostram promissores, apesar da necessidade de mais estudos além da escala laboratorial. A melhor opção para reduzir a contaminação é o descarte adequado. Concluímos que o uso de medicamentos é benéfico à população, apesar dos problemas decorrentes do uso irracional e da contaminação ambiental. Por não existir um método único de remoção, é necessário adaptar o uso das tecnologias à realidade do local de instalação. Mais estudos são necessários para dar suporte à tomadas de decisão. Fármacos no meio ambiente são um problema complexo que envolve várias áreas do conhecimento, mas o curso de graduação em Farmácia-Bioquímica forneceu ferramentas que permitem a integração entre áreas distintas.

## ABSTRACT

RITA, J. E. **Drugs in the environment: origin, dangers and alternatives**. 2024. Course Conclusion Paper of the Pharmacy – Biochemistry Course – School of Pharmaceutical Sciences – University of São Paulo, São Paulo, 2024.

Keywords: contamination, environmental, drugs.

**INTRODUCTION:** The improvement in life expectancy in recent years is largely due to the improvement of health indicators (water and sewage treatment) and the development of medicines, especially antibiotics, which have reduced mortality from infectious diseases. As drugs are eliminated through urine and/or feces, they are expected to reach water bodies. In addition to disposal, medicines are also disposed of incorrectly, via common waste, contributing to the contamination of the environment. Incorrect disposal is often associated with irrational use. Because these are molecules with biological activity, there is concern about possible ecotoxicological effects since Sewage Treatment Plants are not able to completely remove drugs from treated water. **OBJECTIVES:** to list the main drugs that pollute the environment, to establish the causes and conditions of contamination, to point out the risks and to list the alternatives to mitigate the effects, through treatment technologies and rational use of medicines. **METHODOLOGY:** the search was carried out in bibliographic databases, scientific journals and libraries of academic works, using keywords. The division into three stages (drugs present in the environment and forms of contamination, problems and risks, and alternatives to mitigate the effects of contamination) was only for the organization of the work. The focus was on the Brazilian ecosystem, without statistical analysis. **RESULTS AND DISCUSSION:** The origins of drugs in the environment are due to excretion and improper disposal, resulting from lack of knowledge about the rational use of drugs and socioeconomic profiles. The treatment in the plants is not enough to remove them completely, requiring complementary technologies. The ecotoxicological effects of some drugs are demonstrated by studies, although it is not possible to extrapolate them to a human scale. The biggest concern is bacterial resistance and endocrine problems. In the table of contaminants in Brazilian waters, only five of the twenty most commercialized drugs in the country appear, showing a gap in studies at the geographic and epidemiological level. Biological degradation, the use of activated carbon, and advanced oxidative processes show promise, despite the need for further studies beyond the laboratory scale. The best option to reduce contamination is proper disposal. **CONCLUSION:** The use of medicines is beneficial to the population, despite the problems resulting from irrational use and environmental contamination. As there is no single method of removal, it is necessary to adapt the use of technologies to the reality of the installation site. More studies are needed to support decision-making. Pharmaceuticals in the environment are a complex problem that involves several areas of knowledge, but the undergraduate course provided tools that allow the integration between different areas.



## 1. INTRODUÇÃO

A melhora da expectativa de vida nos últimos setenta e quatro anos deve-se em grande parte à melhora das condições sanitárias e desenvolvimento de medicamentos. Um bebê nascido em 1950 tinha esperança de viver 46,5 anos, enquanto um bebê nascido em 2019 já tinha 73,3 anos de expectativa de vida, na média global, com a projeção para 2048 atingindo 77 anos (WHO, 2023).

Entre a melhora das condições sanitárias, destaca-se o tratamento de água e esgoto. A falta de saneamento básico está ligada à transmissão de doenças, como cólica, disenteria, febre tifoide e parasitoses, além da propagação de resistência a antimicrobianos (WHO, 2022).

No campo do desenvolvimento de medicamentos, os antibióticos merecem destaque, pois levaram à redução de mortes por doenças infecciosas e transmissíveis, tanto nos países desenvolvidos quanto nos subdesenvolvidos, sendo, neste último, em menor grau, devido a piores condições sanitárias (ADEDEJI, 2016).

Os fármacos, após exercerem seus efeitos no organismo, são eliminados. A farmacocinética prevê quatro etapas que ocorrem com o fármaco: (1) absorção, quando o fármaco passa para a corrente sanguínea; (2) distribuição, quando o fármaco é levado aos tecidos, onde exercerá seu efeito; (3) metabolismo, quando a molécula se torna mais hidrofóbica e (4) excreção, quando o fármaco e seus metabólitos finalmente deixam o organismo. Destaca-se que a separação das etapas é um modelo didático, pois os fármacos possuem diferentes perfis farmacocinéticos e as etapas também são dependentes do organismo do paciente.

Na etapa de metabolismo, alguns são completamente metabolizados a compostos inativos, enquanto outros são metabolizados a moléculas ativas (pró-fármacos), outros são moléculas ativas com metabólitos também ativos, e outros não sofrem metabolismo, mantendo sua atividade biológica. A excreção em sua maioria acontece via urina, porém alguns fármacos podem ser excretados via fezes. Segundo o IBGE (2024), apenas 62,5% dos domicílios brasileiros são conectados à rede de esgoto sanitário, enquanto as residências sem acesso utilizam fossas não ligadas à rede, valas, descarte em corpos d'água ou outros. Em menor grau, produtos de uso tópico como pomadas e cremes

também vão para o esgoto pela lavagem das mãos e corpo. Paralelamente ao esgoto doméstico, os fármacos podem atingir os corpos d'água pelo descarte inadequado através do lixo. RAMOS *et al.* (2017), elenca que o descarte incorreto muitas vezes vem associado ao uso irracional de medicamentos. A WHO (2024), define como racional o uso do medicamento apropriado, na dose necessária, pelo tempo adequado e ao menor custo.

AANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, através da RDC – Resolução da Diretoria Colegiada nº 222, de 28 de março de 2018, determina que produtos farmacêuticos constituem o grupo de resíduos B (químicos), sujeitos a destinação específica. Entretanto, o descarte de medicamentos no lixo doméstico (grupo D, comum) faz com que os fármacos não sejam tratados, pois são destinados como resíduos domiciliares, sem qualquer tratamento.

Segundo o IBGE (2024), 90,9% da população tem o lixo coletado de forma direta ou indireta, 7,9% queimam o lixo na propriedade, 0,3% enterra o lixo e 0,6% despeja em terreno, encosta ou área pública.

Qualquer que seja a forma de coleta do esgoto ou lixo, as moléculas presentes nos aterros podem ser carregadas para os corpos d'água, seja diretamente, como no esgoto, ou via chuvas, como nos aterros. Sendo moléculas com atividade biológica, BORGES *et al.* (2016) considera a possibilidade de efeitos bioquímicos.

A partir do final da década de 1970, a presença de fármacos no meio ambiente tem recebido atenção (HIGNITE & AZARNOFF, 1977; AHERNE; ENGLISH; MARKS, 1985 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013).

LIMA *et al.* (2017), pontuam que as operações unitárias adotadas nas estações de tratamento de água não são eficientes na remoção de microcontaminantes (presença em concentrações traço), além de que a cloração pode levar à formação de espécies de toxicidade desconhecida.

## **2. OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como objetivos: (i) listar os principais fármacos contaminantes do meio ambiente, baseado nos usos e potenciais efeitos ecotoxicológicos; (ii) estabelecer as causas e condições das contaminações; (iii) pontuar os riscos à saúde humana e animal e (iv) listar as alternativas para mitigação dos efeitos, através de tecnologias de tratamento e uso racional de medicamentos.

## **3. METODOLOGIA**

A pesquisa foi realizada em bases de dados bibliográficos, revistas científicas e bibliotecas de trabalhos acadêmicos. Os trabalhos aqui referenciados são das bibliotecas: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, Biblioteca Virtual em Saúde do Ministério da Saúde, Pubmed, Repositório da Produção USP, Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Portal de Periódicos da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Scielo e Science Direct. Através das palavras-chave: contaminação, ambiental, poluição, fármacos, origens, causas, efeitos, riscos, saúde, humana, animal, alternativas, perspectivas, revisão. Inicialmente foi previsto a divisão em três etapas: na primeira etapa, uma análise dos principais fármacos presentes no meio ambiente e formas de contaminação. Na segunda etapa, os problemas relacionados aos fármacos e, na terceira etapa, busca de alternativas para redução ou mitigação da contaminação ou dos efeitos da contaminação. Ao longo da pesquisa, observou-se que os artigos continham dados das três etapas, de forma que a divisão em etapas passou a ser apenas para organização do trabalho.

Como o foco do presente trabalho é o ecossistema brasileiro, as formas de contaminação e descarte inadequado em outros países não foram analisadas. Os artigos com contaminantes sem dados de coleta no Brasil também foram desconsiderados. Já em relação aos métodos e tecnologias de tratamento, não houve restrição geográfica. Não foi abordada análise estatística.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Origens

O Anuário Estatístico da ANVISA traz o ranking dos vinte medicamentos mais comercializados no país, com medicamentos de grande interesse à saúde pública, pela quantidade de uso e pelas indicações de tratamento (Tabela 1). Em relação aos medicamentos sujeitos a controle especial (aqueles elencados na Portaria 344/1998 e suas atualizações), os dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Produtos Controlados exige tratamento estatístico, impossibilitando a compilação deles neste estudo.

Tabela 1 – Medicamentos mais comercializados no Brasil em 2023

Ranking	Princípio ativo	Indicação primária	Apresentações comercializadas	Aparece em estudos sobre contaminação
1	Cloreto de sódio	Reposição hídrica e eletrolítica; diluente e veículo	Entre 150 e 300 milhões	Não
2	Losartana potássica	Hipertensão arterial	Entre 150 e 300 milhões	Não
3	Cloridrato de metformina	Diabetes <i>mellitus</i> tipo 2	Entre 150 e 300 milhões	Não
4	Dipirona	Dor e febre	Entre 100 e 150 milhões	Sim
5	Nimesulida	Inflamação; dor e febre	Entre 100 e 150 milhões	Não
6	Ibuprofeno	Dor leve a moderada; febre; inflamação musculoesquelética	Entre 100 e 150 milhões	Sim
7	Paracetamol	Dor e febre	Entre 50 e 100 milhões	Sim
8	Cloridrato de nafazolina	Congestão nasal	Entre 50 e 100 milhões	Não

<b>Ranking</b>	<b>Princípio ativo</b>	<b>Indicação primária</b>	<b>Apresentações comercializadas</b>	<b>Aparece em estudos sobre contaminação</b>
9	Levotiroxina sódica	Hipotireoidismo	Entre 50 e 100 milhões	Não
10	Hidroclorotiazida	Hipertensão arterial; diurético	Entre 50 e 100 milhões	Não
<b>11</b>	<b>Dipirona monoidratada</b>	<b>Dor e febre</b>	<b>Entre 50 e 100 milhões</b>	<b>Sim</b>
12	Cloridrato de fenilefrina; maleato de clorfeniramina; paracetamol	Sintomas gripais	Entre 50 e 100 milhões	Não (exceto paracetamol)
<b>13</b>	<b>Atenolol</b>	<b>Cardiopatia isquêmica; hipertensão arterial</b>	<b>Entre 50 e 100 milhões</b>	<b>Sim</b>
14	Omeprazol	Doença do refluxo gastroesofágico	Entre 50 e 100 milhões	Não
15	Loratadina	Sintomas alérgicos	Entre 50 e 100 milhões	Não
16	Sinvastatina	Dislipidemia; prevenção primária e secundária de cardiopatia isquêmica	Entre 50 e 100 milhões	Não
17	Citrato de sildenafila	Disfunção erétil	Entre 50 e 100 milhões	Não
18	Maleato de enalapril	Hipertensão arterial	Abaixo de 50 milhões	Não
<b>19</b>	<b>Etinilestradiol; levonorgestrel</b>	<b>Contracepção</b>	<b>Abaixo de 50 milhões</b>	<b>Sim</b>
20	Azitromicina di-hidratada	Infecções bacterianas	Abaixo de 50 milhões	Não

Fonte: adaptado do Anuário Estatístico do Mercado Farmacêutico 2022, Formulário Terapêutico Nacional 2010, bulas de remédios e estudos de contaminação. Em negrito, os medicamentos com estudos de contaminação ambiental.

Dentre os 20 medicamentos mais comercializados no Brasil, apenas 5 aparecem nos estudos de contaminação do meio ambiente, de onde já se pode concluir que há uma lacuna entre os principais fármacos usados no Brasil e bases de dados de contaminação e o destino deles no meio ambiente.

A principal via dos fármacos atingirem a rede de esgoto é a excreção urinária ou fecal, embora haja contribuição em menor grau de outras formas, como banhos ou lavagem de mãos após o uso de produtos tópicos. No esgoto, seguirá até a ETE, onde passará pelas etapas de tratamento. O tratamento não remove completamente os fármacos e outras moléculas (GHISELLI, 2006 apud BORGES *et al.*, 2016), de modo que seguirão seu curso até as águas de abastecimento, pois o tratamento nas ETAs também não os remove (WEBB *et al.*, 2003; JONES; LESTER; VOULVOULIS, 2005 apud BORGES *et al.*, 2016). Borrelly *et al.* (2012) acrescenta que pode haver distribuição por transporte aquático e dispersão na cadeia alimentar.

Segundo a Sabesp ([20--?]), o tratamento de esgoto consiste na coleta, tratamento e disposição final, sendo que para a coleta a residência precisa estar ligada à rede de esgoto, lembrando que quase 40% das residências não estão ligadas. Inicialmente, resíduos sólidos e areia (densidade maior que 1 g/cm<sup>3</sup>). As etapas de tratamento podem ser utilizadas em conjunto, ou não, conforme as características locais. O lodo ativado consiste em tratamento biológico com eficiência de 90% na remoção de matéria orgânica, sendo o efluente despejado no meio ambiente (porém não potável para consumo) e o lodo destinado a aterros autorizados. Borrelly *et al.* (2012), dizem que a adsorção dos fármacos no lodo depende da hidrofobicidade da molécula e interações no meio, bem como da interação da molécula com o microrganismo. O RAFA - Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente é um reator fechado, com eficiência de 65% a 75%, exigindo tratamento complementar. Na lagoa facultativa, o processo superficial é aeróbico e no fundo é anaeróbico. Na lagoa anaeróbica, todo o processo é anaeróbico, primeiramente a matéria orgânica é quebrada em moléculas menores e por fim convertida em metano, gás carbônico e água. Por fim, na lagoa aerada, o tratamento é aeróbico, com os sólidos mantidos em suspensão e necessita de uma lagoa de decantação para separação do efluente. O tratamento complementar é feito através de baias e valas de infiltração, onde

o efluente passa por filtros de pedregulho e areia. Adicionalmente, pode haver uma etapa de flotação, com adição de coagulante, formando flocos mais fáceis de serem removidos.

O tratamento de água, ainda segundo a Sabesp ([20--?]), consiste das seguintes etapas:

- pré-cloração: adição de cloro para oxidação da matéria orgânica e metais;
- pré-alkalinização: adição de cal ou soda para ajuste de pH;
- coagulação: adição de sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro coagulante, seguido de agitação violenta, para formação de flocos;
- decantação: separação dos flocos;
- filtração: passagem por tanques de pedras, areias e carvão vegetal, para remoção de sujeira residual;
- pós-alkalinização: correção final de pH;
- desinfecção: adição de cloro para remoção de vírus e bactérias;
- fluoretação: adição de flúor;

Após o tratamento, a água é armazenada em reservatórios para posterior abastecimento. Em poços profundos, a Sabesp realiza apenas cloração e fluoretação.

Além do esgoto doméstico, os fármacos também atingem o meio ambiente pelo descarte do esgoto em fossas, valas e corpos d'água. Também pelo lixo, indo para aterros não preparados e, com chuvas, penetrando no solo e atingindo lençóis freáticos. Embora 90,9% da população tem acesso à coleta de lixo, esse lixo coletado é classificado como doméstico, pertencendo ao grupo D (comum), sem tratamento específico para fármacos (grupo B, químico), conforme RDC nº 222/2018 da Anvisa. Além dos perigos no meio ambiente, o descarte de lixo também gera problemas para coletores de lixo, que em contato com os medicamentos podem ser expostos aos fármacos, seja para aproveitamento da embalagem ou até mesmo para consumo (PINTO *et al.*, 2014 apud RAMOS *et al.*, 2017).

A Tabela 2 traz um resumo dos principais fármacos encontrados em águas no Brasil. A tabela completa está no Anexo A (Tabela A.1) e foi produzida pelo autor compilando as concentrações encontradas nos estudos.

Tabela 2 – Resumo dos fármacos contaminantes no Brasil

<b>Fármaco</b>	<b>Local</b>	<b>Concentração</b>	<b>Estudo</b>
<b>17<math>\alpha</math>-Ethinilestradiol</b>	<b>Esgoto doméstico</b>	<b>0,005 <math>\mu</math>g/L</b>	<b>(TERNES <i>et al.</i>, 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)</b>
17 $\beta$ -Estradiol	Esgoto doméstico	0,021 $\mu$ g/L	(TERNES <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)
Ácido clofíbrico	Esgoto doméstico	1,0 $\mu$ g/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)
Amoxicilina	Água superficial	<0,1-1.284 ng/L	(LOCATELLI <i>et al.</i> , 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)
Carbamazepina	ETE	0,732 $\mu$ g/L (afluente) 0,774 $\mu$ g/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)
Cetoprofeno	Água superficial	<14-115 ng/L	(MONTAGNER; JARDIM, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)
Diclofenaco	Esgoto sanitário	790 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)
<b>Dipirona</b>	<b>Esgoto sanitário</b>	<b>36,4 <math>\mu</math>g/L</b>	<b>(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)</b>
Estrona	Água superficial	0,02-0,05 $\mu$ g/L	(TERNES <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)
Fluoxetina	Ambiente aquático e ETE	5,85 $\mu$ g/L (afluente) 0,112 $\mu$ g/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)
<b>Ibuprofeno</b>	<b>Efluente de ETE</b>	<b>70-600 ng/L</b>	<b>(STUMPF <i>et al.</i>, 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)</b>
<b>Paracetamol</b>	<b>Esgoto sanitário</b>	<b>18,1 <math>\mu</math>g/L</b>	<b>(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)</b>
Sulfametoxazol	Efluente de ETE	<1,9-124 ng/L	(BRANDT, 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)



<b>Fármaco</b>	<b>Local</b>	<b>Concentração</b>	<b>Estudo</b>
Trimetoprima	Efluente de ETE	<1-75 ng/L	(BRANDT, 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)

Fonte: autor, adaptado dos estudos referenciados. Em negrito, os fármacos presentes no ranking do Anuário Estatístico do Mercado Farmacêutico 2022 da Anvisa.

Na Tabela 2, temos o  $17\alpha$ -etinilestradiol, dipirona, ibuprofeno e paracetamol constando também do ranking da Anvisa. O ácido clofíbrico é um metabólito dos fibratos, que são usados em dislipidemia, embora não sejam a primeira opção de tratamento, papel esse das estatinas, com a sinvastatina integrando o ranking da Anvisa. Amoxicilina (antimicrobiano), carbamazepina (anticonvulsivante), fluoxetina (antidepressivo), sulfametoxazol (antimicrobiano) e trimetoprima (antimicrobiano) são medicamentos sujeitos a controle especial.  $17\alpha$ -etinilestradiol,  $17\beta$ -estradiol e estrona são hormônios femininos, sendo o primeiro de origem sintética, amplamente usado em contraceptivos, e os dois últimos naturais, produzidos nos ovários. Por fim, cetoprofeno, diclofenaco, dipirona, ibuprofeno e paracetamol integram a classe dos AINES, usados para tratar dor, febre e inflamação, de fácil obtenção, pois podem ser adquiridos sem prescrição médica, à exceção do cetoprofeno, por serem isentos de prescrição.

Do ponto de vista geográfico, os estudos trazem apenas 17 localidades. Estado do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos); São Paulo (Atibaia, Campinas, Paulínia, Americana e São Paulo-Represa Billings); Paraná (Curitiba); Ceará (Fortaleza); Minas Gerais (Belo Horizonte, Ouro Preto, Itabirito, Rio Acima e Nova Lima). Embora as regiões sejam de elevada densidade demográfica, vemos mais uma lacuna de informações em outras regiões do país.

Considerando o descarte de medicamentos, Pereira *et al.* (2019), aplicou um questionário em 153 residências na cidade de Picos (Piauí), onde 81,0% dos entrevistados afirmaram descartar no lixo doméstico, enquanto 90,8% afirmaram saber do risco ambiental do descarte incorreto. 94,1% não sabem o local adequado de descarte; 68,0% reconhecem riscos individuais e 77,1% percebem riscos coletivos. Sobre os motivos do descarte, 69,9% elencaram o prazo de validade e vencido. Da população

entrevistada, apenas 8,5% possuíam ensino superior e 34,6% ensino médio completo, evidenciado que o grau de escolaridade contribui para o conhecimento sobre descarte correto de medicamentos. 89,5% não recebeu informações sobre descarte adequado.

Em Paulínia (SP), Pinto *et al.* (2014), fizeram uma pesquisa comportamental com alunos de graduação e curso técnico, levantando o conhecimento do público-alvo sobre locais próprios para descarte e campanhas de esclarecimento. Os resultados mostram que 62% do descarte é feito no lixo comum e 19% em água corrente, enquanto apenas 10% são levados para o local de recolhimento adequado (posto de saúde, farmácia ou centro comunitário); 92% dos entrevistados não têm conhecimento sobre local de descarte de medicamento e 98% não sabem de campanhas sobre descarte correto. Chega-se, tal como na pesquisa em Picos, que a principal causa de descarte incorreto é a falta de conhecimento do assunto.

Em Santa Catarina, no município de Correia Pinto, Rausch, Agostinetti e Siegloch (2023), caracterizaram o descarte de medicamentos pela população rural, aplicando um questionário a 156 moradores da zona rural. Nesta população, 64,7% das pessoas não têm acesso à água tratada (versus 82,9% do país, conforme IBGE (2024) nem coleta de resíduos (versus 90,9% do país). 75% descartam medicamentos de forma inadequada. Novamente, a educação aparece relacionada ao descarte: 1,92% têm ensino superior e 12,2% ensino médio, 80,8% não receberam informações sobre descarte, mas 87,8% consideram o medicamento como um poluente.

No Brasil, 66,0% dos participantes de uma pesquisa descartam medicamentos no lixo comum e 7,0% na pia ou vaso sanitário, sendo que 71,9% nunca receberam informações sobre descarte correto (QUADRA *et al.*, 2019 apud PINTO, RAUSCH, AGOSTINETTO, 2023).

Curtarelli, Silva e Ferreira, (2010 apud PINTO; RAUSCH; AGOSTINETTO, 2023), trazem uma preocupação extra: o descarte inadequado de resíduos no meio rural tem potencial de contaminar reservatórios de captação de água para consumo. Especificamente no município de Correia Pinto (SC), a bacia hidrográfica do Rio Canoas concentra nascentes e córregos que abastecem o Sistema Aquífero Guarani/Serra Geral, com locais de captação de água.

Alencar *et al.* (2014, apud RAMOS *et al.*, 2017) e Bueno, Weber e Oliveira (2009, apud RAMOS *et al.*, 2017) elencam que o uso irracional, automedicação, falta de venda fracionada e até distribuição de amostra grátis como razões para acúmulo de medicamentos nas residências, que, sem utilidade, passam a ser inadequadamente descartados.

## 4.2 Perigos

Os perigos que a presença de fármacos no meio ambiente representa depende da atividade da molécula, sua concentração, propriedades físico-químicas e persistência no meio ambiente. Borges *et al.* (2016) elencam que os efeitos podem ser bioquímicos, endócrinos, imunológicos, mutagênicos e carcinogênicos. Destaca que a magnitude é impossível de ser avaliada, porém, são necessários estudos de acompanhamento.

Entre os fármacos presentes no meio ambiente brasileiro, os de maior preocupação são os antimicrobianos e hormônios sexuais femininos.

Os antimicrobianos presentes na Tabela A.1 são: amoxicilina, ciprofloxacino, claritromicina, doxiciclina, metronidazol, sulfametoxazol e trimetoprima. Com diferentes mecanismos de ação, são usados desde a atenção primária até em nível hospitalar, passando pela veterinária.

Santiago (2022) analisou o perfil de resistência de *Enterococcus* spp. a antimicrobianos em praias do litoral paulista, onde 41,5% apresentaram resistência a pelo menos três classes de antimicrobianos, sendo classificados como multirresistentes. Riboldi *et al.* (2009 apud SANTIAGO, 2002) e Zou *et al.* (2009, apud SANTIAGO, 2022) destacam que os Enterococos, apesar de comensais, são oportunistas, sendo a segunda causa mais comum de infecções associadas à assistência à saúde. O surgimento de cepas multirresistentes pode estar relacionado com descarga de esgotos, tanto clandestino quanto emissários submarinos ou aporte fluvial (ABESSA *et al.*, 2012; STONE *et al.*, 2008 apud SANTIAGO, 2022). Se as águas lançadas estiverem contaminadas com antimicrobianos, há contribuição no desenvolvimento da resistência (ZAHEER *et al.*, 2020 apud SANTIAGO, 2022), potencializando a capacidade de provocar doenças (OLIVEIRA; PINHATA, 2008; KAYSER, 2003 apud SANTIAGO, 2022).

O desenvolvimento de resistência bacteriana é favorecido pela presença em baixas concentrações dos antimicrobianos nas águas (HALLING-SORENSEN *et al.*, 1998 apud BILA; DEZOTTI, 2003), que não são suficientes para matar nem inibir o crescimento. Miranda e Castillo (1998, apud BILA; DEZOTTI, 2003) apresentam a resistência de *Aeromonas* a cloranfenicol, tetraciclina, sulfametoxazol e trimetoprima, as duas últimas constando na Tabela A.1. Resistência de *E. coli* a 16 antibióticos também foi relatada por Mckeon, Calabrese e Bissonnette (1995, apud BILA; DEZOTTI, 2003).

A resistência bacteriana é uma preocupação em virtude da dificuldade do tratamento de doenças infecciosas, levando a piores quadros de saúde dos pacientes afetados. O desenvolvimento de novos antimicrobianos é uma opção difícil de ser executada, pois a demanda de tempo e dinheiro é impeditiva para uma solução a curto prazo.

Já em relação aos hormônios sexuais femininos, o 17 $\alpha$ -etinilestradiol, o 17 $\beta$ -estradiol, a estrona e outras moléculas não abordadas no presente estudo são definidos como disruptores ou desreguladores endócrinos. Borrely *et al.* (2012) definem que disruptores endócrinos interferem na ação de hormônios, pelo agonismo, antagonismo ou modificação dos níveis fisiológicos destes.

Os principais efeitos prejudiciais dos desreguladores endócrinos são: danos morfológicos, metabólicos e alterações sexuais (BERGMAN *et al.*, 2012; SANTOS, 2011 apud LIMA *et al.*, 2017), feminização de machos, declínio na capacidade reprodutiva e óbitos (ROBINSON *et al.*, 2003; PANTER; THOMPSON; SUMPTER, 2000 apud LIMA *et al.*, 2017). Bila e Dezotti (2003) ressaltam que a exposição durante a diferenciação sexual pode causar a feminização de peixes. Apresentam a vitelogenina como um marcador da atividade estrogênica: trata-se de uma proteína muito pouca expressa em machos, pois é regulada pelo estrogênio. Assim, quando aumentada no plasma, evidencia a exposição a substâncias com atividade estrogênica. O aumento de vitelogenina em virtude da exposição a estrógenos foi corroborado por: anomalias no crescimento da concha em mexilhões *Elliptio complanata* (GAGNÉ *et al.*, 2001 apud BILA; DEZOTTI, 2003); tartarugas *Chrysemys picta* apresentaram alterações na produção de ovos (IRWIN; GRAY; OBERDÖRSTER, 2001 apud BILA; DEZOTTI, 2003); incidência de hermafroditismo em peixes *Oryzias latipes* (KANG *et al.*, 2002 apud BILA; DEZOTTI,

2003) e feminização de peixes machos *Rutilus rutilus* (RODGER-GRAY *et al.*, 2001 apud BILA; DEZOTTI, 2003).

Borrely *et al.*, (2012) avaliaram a toxicidade da fluoxetina em ensaios com a bactéria marinha *Vibrio fischeri* (avaliação da eficiência de tratamento biológico) e o anfípode *Hyalella azteca* (empregado em estudos com sedimentos). Enquanto a concentração para inibir a fotoluminescência da bactéria foi de 30 mg/L, a mortalidade do anfípode foi atingida com 1,25 mg/L, valores superiores ao encontrados nas ETEs (5,85 µg/L no afluente e 0,112 µg/L no efluente).

Em relação aos outros fármacos constantes da Tabela A.1, os estudos não trazem informações sobre ecotoxicidade.

Embora os estudos de ecotoxicidade sejam de extrema importância, Brandt (2012, apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013), ressalta que não é possível afirmar a existência de riscos à saúde pública. Como motivos, elenca a escassez de evidências mais consistentes e a ausência de estudos epidemiológicos. Entretanto, ressalta a preocupação com os efeitos no ambiente aquático.

Tambosi *et al.* (2010, apud LIMA *et al.*, 2017), Kim *et al.* (2007, apud LIMA *et al.*, 2017) e Damstra *et al.* (2002, apud LIMA *et al.*, 2017) trazem efeitos de toxicidade aquática, genotoxicidade, alterações endócrinas e seleção de bactérias resistentes. Tais estudos, contudo, foram realizados pela exposição de animais e microrganismos em laboratórios, com dificuldades de extrapolação dos dados para uma escala que envolva exposição humana. Destaca ainda que a diversidade de moléculas não permite generalizações sobre o comportamento no meio ambiente, seus efeitos e destino. Lima *et al.* (2017), reforçam a ausência de procedimentos e parâmetros de potabilidade relacionado à presença de fármacos em águas de abastecimento, destacando a ausência de dados toxicológicos conclusivos para estabelecer concentrações seguras. Tambosi *et al.* (2010, apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013) esperam que haja aumento na ocorrência de fármacos no meio ambiente, pois o consumo de medicamentos tende a aumentar, pelos benefícios à saúde e maior prevalência de doenças, bem como aumento da expectativa de vida. Espera-se que a preocupação e desenvolvimento de pesquisas aumentem na mesma proporção.

### 4.3 Alternativas

Entre os métodos de tratamento, podemos elencar processos oxidativos avançados, filtros de carvão ativado e tratamento biológico. Como visto, tanto as ETEs quanto as ETAs não removem completamente os fármacos contaminantes no processo tradicional de tratamento, tornando necessário o uso de tecnologias para melhor controle de contaminação.

Borges *et al.* (2016) demonstram o uso de carvão ativado granular como uma opção viável para ETA. Em baixas taxas de filtração, o material é colonizado por biofilme de *Bacillus*, *Burkholderia*, *Cupriavidus*, *Pseudomonas*, *Shinella* e *Sphingomonas*, decompondo diclofenaco, ibuprofeno, naproxeno e amoxicilina (todos presentes na Tabela A.1) em compostos assimiláveis. O estudo foi conduzido com a concentração de 1 µg/L, valor em acordo com as concentrações encontradas nas águas. A bactéria em maior presença é o *Bacillus*, de fácil obtenção e manuseio microbiológico, tornando a adoção do método mais plausível. Minillo *et al.* (2009, apud BORGES *et al.*, 2016) apontam a capacidade de *Pseudomonas* metabolizar cefalexina, diclofenaco e paracetamol. Os outros gêneros também participam de forma sinérgica na metabolização pelo biofilme. O uso dos fármacos como fonte de carbono e energia ocorre após o declínio da matéria orgânica, a partir de 35 dias. Apesar de promissor, há a ressalva de que não há diferença estatística entre a filtração apenas com carvão comparada com a filtração com carvão colonizado, bem como o tempo necessário para remoção, o que torna a aplicação do método pouco plausível para ETAs de grande demanda, como as que atendem regiões de elevada densidade demográfica. López *et al.* (2005, apud BORGES *et al.*, 2016) reforçam que, embora promissores, os estudos não trazem contribuições a respeito da melhora da qualidade da água, mas o uso de sistemas pilotos combinados com o tratamento convencional é positivo.

Ainda no campo microbiológico, Wang e Wang (2016) trazem estudos de culturas puras, entretanto, sua aplicabilidade nas ETEs é pouco viável, necessitando de tanques dedicados a cada cultura. As culturas mistas demonstram melhor potencial para remoção de microcontaminantes pelo sinergismo entre as espécies e maior facilidade de aplicação comparado às culturas puras. Joss *et al.* (2006, apud AQUINO, BRANDT E CHERNICHARO, 2013) destacam que a biodegradação é diretamente proporcional à

concentração, de modo que regimes de baixa concentração apresentam baixa taxa de remoção.

Lima et. al (2017) trazem novamente o carvão ativado como alternativa viável, com baixo custo e facilidade implantação. O carvão ativado em pó apresenta taxa de remoção de até 99% em dose de 2,5 mg/L e 2 horas de tempo de contato. Já o carvão ativado granular apresenta taxa de remoção superior a 90%. Destacam que o uso deve ser após a etapa de clarificação, pois o coagulante compete pelo sítio de adsorção. Uma grande vantagem do carvão granular é sua disponibilidade: a partir da casca de coco, é um resíduo agrícola, com baixo custo. Wang e Wang (2016) ponderam, entretanto, que a presença de matéria orgânica compete com os sítios de adsorção, reforçando a necessidade de o processo de filtração com carvão ocorrer após as etapas convencionais de tratamento.

Em relação a compostos específicos, há disparidade nos resultados: enquanto Yu *et al.* (2008, apud WANG J.; WANG S., 2016) trazem taxas de remoção de até 100% para carbamazepina e naproxeno, usando carvão granular, Nam *et al.* (2014, apud WANG J.; WANG S., 2016) obtiveram taxas elevadas com carvão em pó (95% para naproxeno e sulfametoxazol e 100% para diclofenaco), ao passo que Snyder *et al.* (2007, apud WANG J.; WANG S., 2016) trazem medidas mais comedidas: apenas 35% para sulfametoxazol, 40% para diclofenaco, 50% para naproxeno e 70% para carbamazepina.

Wang e Wang (2016) aventam o uso de grafeno (matriz bidimensional de átomos de carbono ligados covalentemente, em formato de colmeia) e óxido de grafeno como potenciais removedores, mas os estudos ocorreram apenas em laboratório e precisam ser reproduzidos em estações para avaliação de performance; também tem alto custo de produção. Nanotubos de carbono apresentaram resultados promissores, mas, assim como no caso do grafeno, mais estudos em escala maior precisam ser feitos.

Aquino, Brandt e Chernicharo (2013) trazem aspectos de cinética e fatores físico-químicos que interferem na capacidade de remoção de um fármaco por uma matriz sólida. Interações eletrostáticas, lipofilicidade, pH do meio e *pKa* da molécula influenciam sua ionização e ligação aos sólidos suspensos e determinam a capacidade de adsorção, onde moléculas hidrofílicas têm baixa adsorção, pois permanecem no meio aquoso (ROGERS, 1996; TER LAACK *et al.*, 2005 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO,

2013). A temperatura é importante tanto para a cinética de reações quanto para o crescimento de microrganismos metabolizadores.

Em relação aos métodos químicos, Lima *et al.* (2017) destacam que agentes desinfetantes dependem do potencial de oxidação. Souza (2014, apud LIMA *et al.*, 2017) traz que o uso de cloro tem moderada remoção de sulfametoxazol, estradiol e diclofenaco, enquanto segundo Bianchetti (2008, apud LIMA *et al.*, 2017) a taxa de remoção de etinilestradiol varia de 40% a 99,2%, conforme a dose de hipoclorito de sódio e tempo de contato. Pereira (2011, apud LIMA *et al.*, 2017) e Rigobello *et al.* (2013, apud LIMA *et al.*, 2017) verificaram remoção de estrona e diclofenaco acima de 97%, em tempo de contato de 24 horas. Destacam que a oxidação pode levar à formação de intermediários clorados, necessitando atenção a tais compostos.

A fotodegradação pela luz solar é desprezível (IWA, 2010 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013). Como razões, elencam-se a baixa fração de luz ultravioleta, presença de sólidos em suspensão, baixa área dos tanques, além da limitação do horário diurno e dias nublados. A volatilização, na qual o composto passa da fase líquida para a gasosa, também é um processo desprezível: Aquino, Brandt e Chernicharo (2013) lembram que esse processo sequer é considerado nas pesquisas, pois a volatilização dos fármacos é praticamente nula mesmo em sistemas aerados. Cabe acrescentar que a suposta volatilização, se não acompanhada de filtro de ar, tornaria a poluir águas, com a molécula carregada pelas correntes de ar e chuvas.

Outras técnicas apresentam eficiência bem elevada, porém a um custo maior, de modo que a análise de custo e benefício demanda avaliações da realidade de cada ETA, orçamento e treinamento de pessoal. Entre os métodos, destacam-se:

**Incineração:** A OMS destaca a necessidade de incineradores modernos e filtração de ar para este tipo de operação. Se realizada de forma incorreta, pode lançar resíduos mais poluentes do que os originais, como por exemplo organoclorados gerando dioxinas ou furanos, que são carcinogênicos ((WHO, 2004 apud FALQUETO; KLIGERMAN, 2013).

**Processo Oxidativos Avançados:** A taxa de remoção varia conforme a técnica utilizada: ozônio em dose superior a 1 mg/L remove de 90% a 100% os contaminantes (LIMA *et al.*, 2017), enquanto o uso de peróxido de hidrogênio acoplado ao ozônio não



demonstra eficiência significativa frente ao ozônio isolado, com elevado custo operacional (SNYDER *et al.*, 2007 apud LIMA *et al.*, 2017).

O processo Fenton tem baixo custo e já é utilizado (MOTA *et al.*, 2005 apud ALVES; PALMA, 2015). Resulta em água, dióxido de carbono e sais inorgânicos. O íon ferroso apresenta baixa toxicidade e catalisa a formação de radicais hidroxila a partir do peróxido de hidrogênio. Alves e Palma (2015) destacam, em estudo de oxidação da oxitetraciclina, taxa de remoção aproximada de 90%, em várias faixas de temperatura e concentração.

**Ultravioleta:** O uso de radiação ultravioleta para geração de radicais apresentou remoção de ibuprofeno maior que 90% no processo heterogêneo, com uso de dióxido de titânio como catalisador, e 100% de remoção do antimicrobiano norfloxacino, no processo homogêneo com peróxido de hidrogênio (LIMA *et al.*, 2017). De la Cruz *et al.* (2012, apud Wang J.; Wang S., 2016) trazem remoção de 100% de uma gama de fármacos: atenolol, bezafibrato, carbamazepina, cetoprofeno, ciprofloxacino, diclofenaco, ibuprofeno, metoprolol, naproxeno, sulfametoxazol e trimetoprima. Ressalta-se que os experimentos foram conduzidos em laboratório e são necessários estudos em escala de estação de tratamento.

**Raios Gama:** Wang J. e Wang S. (2016) trazem estudos que mostram a remoção de contaminantes por raios gama; porém, considerando as eficiências dos outros processos e os riscos e custos associados à radiação gama, não seria uma opção viável.

**Filtração por membrana de poliamida:** Embora seja um método físico de separação, Lima *et al.* (2017) a apresentam como alternativa de uso ainda proibitivo no Brasil, por seu custo. Apresenta eficiência de remoção acima de 90%. Pode ser utilizada osmose reversa ou nanofiltração. Snyder *et al.* (2007, apud LIMA *et al.*, 2017) concluem que a taxa de remoção é virtualmente total (100%), em virtude de concentrações no permeado serem inferiores aos limites de detecção.

Wang e Wang (2016) ressaltam que muitos estudos focam nos fármacos contaminantes e eficiência de remoção dos processos, porém, também é necessário olhar para as reações de degradação e seus intermediários, lançando luz sobre tais compostos e seus riscos. Finalizam que processos isolados podem não ser eficientes na remoção, pelos produtos gerados, alta energia e/ou tempo necessários, sendo indicado o emprego em conjunto de diferentes técnicas. A combinação de um processo biológico

com um processo oxidativo avançado tem mostrado boa eficiência de remoção tanto dos contaminantes quanto dos intermediários, embora mais estudos sejam necessários para estabelecer as condições ótimas.

A RDC 222/2018 da Anvisa, além de especificar os grupos de resíduos dos serviços de saúde, incluindo os medicamentos no grupo B (químico), também define responsabilidades para a implantação de coleta e destinação final. A logística reversa é entendida como a responsabilidade pela destinação adequada dos medicamentos sendo das fabricantes, importadoras, distribuidoras e revendedoras (PARANÁ, 2012), retirando do consumidor/paciente essa responsabilidade. Entretanto, sem as campanhas educativas e sem a devida fiscalização, os medicamentos acabam por serem destinados no grupo D (comum).

Assim, o descarte adequado de medicamentos é a principal alternativa à redução de contaminantes, pois seu custo de implantação é extremamente baixo, dependendo apenas de campanhas de conscientização, e o benefício implica diretamente em redução da contaminação, que por consequência se reflete em menor carga de tratamento nas estações. Destaca-se ainda que o descarte adequado vem junto com o uso racional, trazendo melhores indicadores de saúde.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho se deu no âmbito de conclusão de curso e buscou integrar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso, desde a bioquímica e farmacologia, passando pela química e física, até os aspectos de farmácia clínica, uso racional de medicamentos e farmacoepidemiologia.

É indiscutível os benefícios dos medicamentos na saúde da população, tanto para problemas autolimitados quanto para condições crônicas. A automedicação e o descarte inadequado estão dentro do uso irracional, que tem raízes mais profundas, que perpassam desde os níveis de escolaridade até a realidade de atendimento do Sistema Único de Saúde.

A presença dos fármacos no meio ambiente é decorrente tanto de descarte inadequado quanto da excreção do organismo, no esgoto doméstico. Métodos de tratamento convencionais nas estações de água e esgoto não removem completamente tais contaminantes, com preocupação crescente sobre seus efeitos ecotoxicológicos.

Não existe um método “coringa”, que seja capaz de remover de forma generalizada os contaminantes, sendo necessário, portanto, que estudos de contaminação sejam realizados em cada região, para escolha do método que melhor remova aqueles contaminantes. Idealmente, seriam feitos estudos individualizados para cada estação de tratamento, o que exige investimentos e atenção dos gestores indisponíveis para este tema, pois o esgotamento sanitário é um assunto que geralmente fica em segundo plano nas decisões políticas, dificultando ainda mais a adoção dos processos aqui listados.

Apesar das tecnologias de tratamento nas estações e a logística reversa do medicamento retirarem do consumidor a preocupação com a destinação final, o descarte adequado ainda é a maneira mais efetiva de reduzir contaminação e custos de tratamento, pois envolve baixíssimo custo e altíssimo benefício.

Mais estudos também são necessários, desde a determinação regional do perfil de contaminação até confirmação de dados ecotoxicológicos, além de formas de aprimorar os resultados obtidos em laboratório para as escalas e condições de uma estação de tratamento. É importante também que os estudos de contaminação e processos de tratamento estejam alinhados com o perfil epidemiológico da região, para

garantir a maior eficiência possível. Para isso é necessária maior publicidade de dados de prescrição e comercialização.

Por fim, nota-se que a contaminação ambiental por fármacos é um problema complexo e envolve áreas que a princípio são distintas, mas o conhecimento propiciado pelo curso de graduação dá elementos para integração delas.

## 6. REFERÊNCIAS

ADEDEJI, W. A. **The Treasure Called Antibiotics**. Annals of Ibadan Postgraduate Medicine, [s. l.], v. 14, ed. 2, p. 56-57, 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5354621/>. Acesso em: 25 abr. 2024.

ALVES, V. T.; PALMA, M. S. A. **Estudo da oxidação de oxitetraciclina pelo processo fenton: verificação da influência da temperatura e concentração inicial do fármaco**. Chemical Engineering Proceedings. São Paulo: 2015. Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/chemicalengineeringproceedings/cobeqic2015/142-32521-249229.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.

AQUINO, S. F. de; BRANDT, E. M. F.; CHERNICHARO, C. A. de L. **Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura**. Eng Sanit Ambient, [s. l.], v. 18, ed. 3, p. 187-204, jul/set 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/DV5v33YwS6jFK4mw99WkTsc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. **Fármacos no Meio Ambiente**. Quim. Nova, [s. l.], v. 26, ed. 4, p. 523-530, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/CL8FpLGxfhZqM66TMgPp9Xw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BORGES, R. M.; MINILLO, A.; LEMOS, E. G. de M.; PRADO, H. F. A. do; TANGERINO, E. P. **Uso de filtros de carvão ativado granular associado a microrganismos para remoção de fármacos no tratamento de água de abastecimento**. Eng Sanit Ambient, [s. l.], v. 21, ed. 4, p. 709-720, out/dez 2016. DOI 10.1590/S1413-41522016118787. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/qShs6gCcN46bLKrnCB9Ljkr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BORRELY, S. I.; CAMINADA, S. M. L.; PONEZI, A. N.; SANTOS, D. R. dos; SILVA, V. H. O. **Contaminação das águas por resíduos de medicamentos: ênfase ao cloridrato de fluoxetina**. O Mundo da Saúde, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 556-563, 2012. Disponível em:

[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/artigos/mundo\\_saude/contaminacao\\_aguas\\_residuos\\_medicamentos\\_enfase.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/artigos/mundo_saude/contaminacao_aguas_residuos_medicamentos_enfase.pdf). Acesso em: 10 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Anuário Estatístico do Mercado Farmacêutico 2022**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/medicamentos/cmed/anuario-estatistico-2022>. Acesso em: 30 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – **RDC nº 222, de 28 de março de 2018**, Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 29 de mar. 2018. Seção 1, p. 228.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos. **Formulário Terapêutico Nacional 2010**. 02 ed. Brasília: Ministério da Saúde; 2010. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/formulario\\_terapeutico\\_nacional\\_2010.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/formulario_terapeutico_nacional_2010.pdf). Acesso em: 30 abr. 2024.

BRASIL, Ministério do Planejamento e Orçamento. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo demográfico 2022: características dos domicílios: resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em:

[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3106/cd\\_2022\\_domicilios.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3106/cd_2022_domicilios.pdf).

Acesso em: 25 abr. 2024.

CITRATO DE SILDENAFILA: comprimido revestido. Responsável técnico Telma Elaine Spina. Hortolândia: EMS S.A, 2022. Bula de remédio. Disponível em: <https://consultas.anvisa.gov.br/#/bulario/q/?nomeProduto=CITRATO%20DE%20SILDENAFILA>. Acesso em: 30 abr. 2024.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. *In:* **Abastecimento de água**. [S. l.], [20--?]. Disponível em: <https://www.sabesp.com.br/site/imprensa/explicacoes/abastecimento.aspx?secaold=196>. Acesso em: 01 mai. 2024.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. *In:* **Coleta e Tratamento de Esgoto**. [S. l.], [20--?]. Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/site/imprensa/explicacoes/esgotamento.aspx?secaold=197>. Acesso em: 01 mai. 2024.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. *In:* **Tipos de tratamento**. [S. l.], [20--?]. Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=61>. Acesso em: 01 mai. 2024.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. *In:* **Tratamento de água**. [S. l.], [20--?]. Disponível em: <https://www.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>. Acesso em: 01 mai. 2024.

CLORIDRATO DE NAFAZOLINA: solução nasal (gotas). Responsável técnico Telma Elaine Spina. Hortolândia: EMS S.A, 2023. Bula de remédio. Disponível em:

<https://consultas.anvisa.gov.br/#/bulario/q/?nomeProduto=CLORIDRATO%20DE%20NAFAZOLINA>. Acesso em: 30 abr. 2024.

FALQUETO, E.; KLIGERMAN, D. C. **Diretrizes para um Programa de Recolhimento de Medicamentos Vencidos no Brasil**. Ciência & Saúde Coletiva, [s. l.], v. 18, ed. 3, p. 883-892, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/9jVFsfDwSpHnBcvCnJZ9WPC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 abr. 2024.

LIMA, D. R. S.; TONUCCI, M. C.; LIBÂNIO, M.; AQUINO, S. F. de. **Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnicas de remoção**. Engenharia Sanitária e Ambiental, [s. l.], v. 22, ed. 6, p. 1043-1054, nov/dez 2017. DOI 10.1590/S1413-41522017165207. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/d3VdtTVcSScq8SLm93tPYqR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 mar. 2023.

NIMESULIDA: comprimido. Responsável técnico Ivanete A. Dias Assi. Itapevi: Eurofarma Laboratórios S.A., 2019. Bula de remédio. Disponível em: <https://eurofarma.com.br/produtos/bulas/patient/pt/bula-nimesulida.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2024.

PARANÁ. **Lei nº 17.211, de 3 de julho de 2012**. Dispõe sobre a responsabilidade da destinação dos medicamentos em desuso no Estado do Paraná e seus procedimentos. [S. l.], 3 jul. 2012. Disponível em: <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=70132&indice=1&totalRegistros=1&dt=4.4.2020.13.37.40.452>. Acesso em: 10 mar. 2023.

PEREIRA, F. G. F.; SÁ, F. H. de M.; SILVA, R. da R. L.; SILVA, R. K. dos S. e; FORMIGA, L. M. F.; SOUZA, E. C. de. **Conhecimento e comportamento autorreferidos sobre descarte domiciliar de medicamentos**. Revista de Pesquisa Cuidado é Fundamental (Online), [s. l.], v. 11, ed. 1, p. 154-159, jan/mar 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.9789/2175->



5361.2019.v11i1.154-159. Disponível em:  
[https://seer.unirio.br/index.php/cuidadofundamental/article/view/6846/pdf\\_1](https://seer.unirio.br/index.php/cuidadofundamental/article/view/6846/pdf_1). Acesso em:  
22 abr. 2024.

PINTO, G. M. F.; SILVA, K. R. da; PEREIRA, R. de F. A. B.; SAMPAIO, S. I. **Estudo do descarte residencial de medicamentos vencidos na região de Paulínia (SP), Brasil**. Engenharia Sanitária e Ambiental, [s. l.], v. 19, ed. 3, p. 219-224, jul/set 2014. DOI 10.1590/S1413-41522014019000000472. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/esa/a/5qp6ZpKMcywyMqkW8sGRx3w/?format=pdf&lang=pt>.  
Acesso em: 22 abr. 2024.

RAMOS, H. M. P.; CRUVINEL, V. R. N.; MEINERS, M. M. M. de A.; QUEIROZ, C. A.; GALATO, D. **Descarte de medicamentos: uma reflexão sobre os possíveis riscos sanitários e ambientais**. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. XX, ed. 4, p. 149-174, out-dez 2017. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/asoc/a/648TQV9twSrPLBNdRhXpYWR/?format=pdf&lang=pt>.  
Acesso em: 10 mar. 2023.

RAUSCH, P. C.; AGOSTINETTO, L.; SIEGLOCH, A. E. **Descarte de resíduos de medicamentos pela população rural**. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 26, 2023. DOI <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20220044r1vu2023L1AO>. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/asoc/a/DPtnKcFj47srQf3Q5sZCnNN/?lang=pt>. Acesso em: 23 abr. 2024.

RESFENOL: cápsulas. Responsável técnico Márcia Cruz. Porto Alegre: Kley Hertz Farmacêutica S.A., 2014. Bula de remédio. Disponível em:  
<https://resfenol.com.br/resfenol-bula.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2024.

SANTIAGO, G. S. **Perfil fenotípico e genotípico de resistência a antimicrobianos e virulência em Enterococcus spp. isolados de águas recreacionais costeiras do estado de São Paulo**. 2022. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Faculdade de

Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. doi:10.11606/D.6.2022.tde-29112022-181811. Acesso em: 22 abr. 2024.

STUMPF, M.; TERNES, T. A.; WILKEN, R.; RODRIGUES, S. V.; BAUMANN, W. **Polar drug residues in sewage and natural waters in the state of Rio de Janeiro, Brazil.** Science of The Total Environment, [s. l.], v. 225, ed. 1-2, p. 135-141, 12 jan. 1999. ISSN 0048-9697. DOI [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00339-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00339-8). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969798003398>. Acesso em: 22 abr. 2024.

WANG, J.; WANG, S. **Removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from wastewater: A review.** Journal of Environmental Management, [s. l.], v. 182, p. 620-640, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.049>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716304868?via%3Dihub#abs0015>. Acesso em: 28 set. 2023.

WHO. World Health Organization. *In: Promoting rational use of medicines.* [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.who.int/activities/promoting-rational-use-of-medicines>. Acesso em 29 abr. 2024.

WHO. World Health Organization. *In: Sanitation: Key facts.* [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>. Acesso em: 25 abr. 2024.

WHO. World Health Organization. **World health statistics 2023: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals.** Genebra: WHO, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240074323>. Acesso em 25 abr. 2024.

## 7. ANEXO A – Tabela A.1 – Fármacos encontrados em águas brasileiras

Tabela A.1 – Fármacos encontrados em águas brasileiras

Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
19	17 $\alpha$ -Ethinilestradiol	Esgoto doméstico	0,005 $\mu$ g/L	(TERNES <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	-
-	17 $\beta$ -Estradiol	Esgoto doméstico	0,021 $\mu$ g/L	(TERNES <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	-
-	17 $\beta$ -Estradiol	-	2-12 $\mu$ g/mulher/dia	(BELFROID <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	Excreção diária por mulher
-	17 $\beta$ -estradiol	Esgoto sanitário, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	21 ng/L	(TERNES <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Esgoto sanitário, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	6.690 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Efluente de ETE, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	5.560 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	1.900-6.000 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Esgoto sanitário, Curitiba (PR)	1.330-2.270 ng/L	(FROEHNER, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-

Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
-	17 $\beta$ -estradiol	Efluente de ETE, Curitiba (PR)	490-760 ng/L	(FROEHNER, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	<45-6.806 ng/L	(MONTAGNER; JARDIM, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Esgoto sanitário, Fortaleza (CE)	<64-300 ng/L	(PESSOA <i>et al.</i> , 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Efluente de ETE, Fortaleza (CE)	<64 ng/L	(PESSOA <i>et al.</i> , 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Esgoto sanitário, Fortaleza (CE)	<40-7.400 ng/L	(SOUZA, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Efluente de ETE, Fortaleza (CE)	<40-4.000 ng/L	(SOUZA, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	106-6.800 ng/L	(MONTAGNER, 2007 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Água superficial, Belo Horizonte (MG)	<1-37 ng/L	(MOREIRA <i>et al.</i> , 2009 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Água superficial, Ouro Preto, Itabirito, Rio Acima, Nova Lima (MG)	<4-63 ng/L	(MOREIRA <i>et al.</i> , 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Água superficial, Belo Horizonte (MG)	<9,3 ng/L	(BRANDT, 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-

Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
-	17 $\beta$ -estradiol	Esgoto sanitário, Belo Horizonte (MG)	<9,3-31 ng/L	(QUEIROZ <i>et al.</i> , 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	17 $\beta$ -estradiol	Água superficial, Belo Horizonte (MG)	<9,3 ng/L	(QUEIROZ <i>et al.</i> , 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
4	4-amino-antipirina (metabólito da dipirona)	ETE	1,517 $\mu$ g/L (afluente) e 0,676 $\mu$ g/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 55,4%
-	Ácido clofíbrico (metabolito de fibratos)	ETE	0,215 $\mu$ g/L (afluente) e 0,131 $\mu$ g/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 39,1%
-	Ácido clofíbrico (metabolito de fibratos)	Esgoto doméstico	1,0 $\mu$ g/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	-
-	Ácido clofíbrico (metabolito de fibratos)	Água superficial	0,02-0,03 $\mu$ g/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	-
-	Ácido fenofíbrico (fenofibrato)	ETE	0,079 $\mu$ g/L (afluente) e 0,196 $\mu$ g/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de -148,1% (aumento)
-	Amoxicilina	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	<0,1-1.284 ng/L	(LOCATELLI <i>et al.</i> , 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-

Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
13	Atenolol	ETE	1,080 µg/L (afluente) e 0,468 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 56,7%
-	Bezafibrato	ETE	1,948 µg/L (afluente) e 0,763 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 60,8%
-	Bezafibrato	Esgoto doméstico	1,2 µg/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	-
-	Bezafibrato	Efluente de ETE	1,0 µg/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	-
-	Bezafibrato	Água superficial	0,025 µg/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	-
-	Bezafibrato	Esgoto sanitário, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	1.180 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Bezafibrato	Efluente de ETE, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	580-1.050 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Bezafibrato	Água superficial, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	<25 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Bezafibrato	Efluente de ETE, Belo Horizonte (MG)	<4,3-309 ng/L	(BRANDT, 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-

Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
-	Bezafibrato	Esgoto sanitário, Belo Horizonte (MG)	<4,3-249 ng/L	(QUEIROZ <i>et al.</i> , 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Bezafibrato	Efluente de ETE, Belo Horizonte (MG)	<4,3-278 ng/L	(QUEIROZ <i>et al.</i> , 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Carbamazepina	ETE	0,732 µg/L (afluente) e 0,774 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de -5,7% (aumento)
-	Cetoprofeno	ETE	0,483 µg/L (afluente) e 0,333 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 31,1%
-	Cetoprofeno	Esgoto sanitário, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	790 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Cetoprofeno	Efluente de ETE, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	200-700 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Cetoprofeno	Água superficial, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	<10-60 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Cetoprofeno	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	<14-115 ng/L	(MONTAGNER; JARDIM, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-

Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
-	Cetorolaco	ETE	0,407 µg/L (afluente) e 0,228 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 44,0%
-	Ciprofloxacino	ETE	0,62 µg/L (afluente) e 0,234 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 62,3%
-	Claritromicina	ETE	0,344 µg/L (afluente) e 0,15 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 56,4%
-	Codeína	ETE	2,8605 µg/L (afluente) e 1,93 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 32,5%
-	Diclofenaco	Represa Billings, São Paulo, SP	1,039 µg/L (afluente) e 0,679 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 34,6%
-	Diclofenaco	Água superficial	0,02 a 0,06 µg/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	-
-	Diclofenaco	Esgoto sanitário, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	790 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Diclofenaco	Efluente de ETE, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	200-700 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-



Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
-	Diclofenaco	Água superficial, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	<10-60 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Diclofenaco	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	<14-115 ng/L	(MONTAGNER; JARDIM, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Diclofenaco	Esgoto sanitário, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	2.870 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Diclofenaco	Efluente de ETE, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	1.780 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Diclofenaco	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	2.000-6.000 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Diclofenaco	Esgoto sanitário, Fortaleza (CE)	<400-5.600 ng/L	(SOUZA, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Diclofenaco	Efluente de ETE, Fortaleza (CE)	<400-1.900 ng/L	(SOUZA, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Diclofenaco	Efluente de ETE, Belo Horizonte (MG)	<7-755 ng/L	(BRANDT, 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Diclofenaco	Esgoto sanitário, Belo Horizonte (MG)	<7-240 ng/L	(QUEIROZ <i>et al.</i> , 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-

Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
-	Diclofenaco	Efluente de ETE, Belo Horizonte (MG)	<7-486 ng/L	(QUEIROZ <i>et al.</i> , 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
4	Dipirona	Esgoto sanitário, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	36,4 µg/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
4	Dipirona	Efluente de ETE, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	23,7 µg/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
4	Dipirona	Esgoto sanitário, Fortaleza (CE)	<2,2-8,97 µg/L	(SOUZA, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
4	Dipirona	Efluente de ETE, Fortaleza (CE)	<2,2-1,38 µg/L	(SOUZA, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Doxiciclina	ETE	0,65 µg/L (afluente) e 0,42 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 35,4%
-	Estrona	Água superficial	0,02 a 0,05 µg/L	(TERNES <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	-
-	Estrona	Esgoto doméstico	0,04 µg/L	(TERNES <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	-
-	Estrona	Esgoto sanitário, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	40 ng/L	(TERNES <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-

Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
-	Estrona	Esgoto sanitário, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	4.830 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Estrona	Efluente de ETE, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	4.130 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Estrona	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	3.500-5.000 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Estrona	Esgoto sanitário, Curitiba (PR)	870-1.380 ng/L	(FROEHNER, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Estrona	Efluente de ETE, Curitiba (PR)	<LD	(FROEHNER, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Estrona	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	<16 ng/L	(MONTAGNER; JARDIM, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Estrona	Esgoto sanitário, Fortaleza (CE)	<48-560 ng/L	(PESSOA <i>et al.</i> , 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Estrona	Efluente de ETE, Fortaleza (CE)	<48-280 ng/L	(PESSOA <i>et al.</i> , 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Estrona	Esgoto sanitário, Fortaleza (CE)	<40-4350 ng/L	(SOUZA, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Estrona	Efluente de ETE, Fortaleza (CE)	<40-4.350 ng/L	(SOUZA, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-

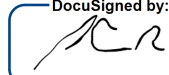
Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
-	Fluoxetina	Ambiente aquático e ETE	5,85 µg/L (afluente) e 0,112 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 98,1%
-	Genfibrozila	ETE	1,562 µg/L (afluente) e 0,757 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 51,5%
-	Genfibrozila	Esgoto sanitário, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	300 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Genfibrozila	Efluente de ETE, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	180-400 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
6	Ibuprofeno	Represa Billings, São Paulo, SP	13,482 µg/L (afluente) e 3,48 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 74,2%
6	Ibuprofeno	Água superficial	0,01 µg/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud BILA; DEZOTTI, 2003)	-
6	Ibuprofeno	Esgoto sanitário, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	350 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
6	Ibuprofeno	Efluente de ETE, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	70-600 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-

Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
6	Ibuprofeno	Água superficial, Rio de Janeiro, Niterói, Resende, Três Rios e Campos (RJ)	<10 ng/L	(STUMPF <i>et al.</i> , 1999 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
6	Ibuprofeno	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	<51 ng/L	(MONTAGNER; JARDIM, 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
6	Ibuprofeno	Esgoto sanitário, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	54.200 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
6	Ibuprofeno	Efluente de ETE, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	48.400 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
6	Ibuprofeno	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	<22.300 ng/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Metoprolol	ETE	1,535 µg/L (afluente) e 0,679 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 55,8%
-	Metronidazol	ETE	0,09 µg/L (afluente) e 0,055 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 38,9%
-	Naproxeno	ETE	5,077 µg/L (afluente) e 0,934 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 81,6%

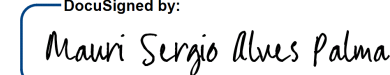
Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
7	Paracetamol	Esgoto sanitário, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	18,1 µg/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
7	Paracetamol	Efluente de ETE, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	59,0 µg/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
7	Paracetamol	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	<8,3 µg/L	(GHISELLI, 2006 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Propanolol	ETE	0,198 µg/L (afluente) e 0,102 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 48,5%
-	Sulfametoxazol	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	<0,2-106 ng/L	(LOCATELLI <i>et al.</i> , 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Sulfametoxazol	Efluente de ETE, Belo Horizonte (MG)	<1,9-124 ng/L	(BRANDT, 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Sulfametoxazol	Esgoto sanitário, Belo Horizonte (MG)	<1,9-151 ng/L	(QUEIROZ <i>et al.</i> , 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Sulfametoxazol	Efluente de ETE, Belo Horizonte (MG)	<1,9-161 ng/L	(QUEIROZ <i>et al.</i> , 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Sulfametoxazol	ETE	0,3 µg/L 2 (afluente) e 0,15 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 17,5%

Ranking Anvisa	Fármaco	Local	Concentração	Estudo	Observação
-	Trimetoprima	ETE	0,43 µg/L (afluente) e 0,424 µg/L (efluente)	(BORRELY <i>et al.</i> , 2012)	Taxa de remoção de 1,4%
-	Trimetoprima	Água superficial, Atibaia, Campinas, Paulínia e Americana (SP)	<0,3-484 ng/L	(LOCATELLI <i>et al.</i> , 2011 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Trimetoprima	Efluente de ETE, Belo Horizonte (MG)	<1-75 ng/L	(BRANDT, 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Trimetoprima	Esgoto sanitário, Belo Horizonte (MG)	23-114 ng/L	(QUEIROZ <i>et al.</i> , 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-
-	Trimetoprima	Efluente de ETE, Belo Horizonte (MG)	<1-88 ng/L	(QUEIROZ <i>et al.</i> , 2012 apud AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013)	-

Fonte: autor, compilado com bases nos estudos referenciados. LD: limite de detecção. ETE: estação de tratamento de esgoto.

DocuSigned by:  
  
 456CE3F095D14D8...

Data e assinatura do aluno  
 Jonatas Elias Rita, 07/05/2024

DocuSigned by:  
  
 33FF25F8F690468...

Data e assinatura do orientador  
 Prof. Dr. Mauri Sergio Alves Palma, 07/05/2024