



**Mapeamento das pesquisas científicas sobre análises ecotoxicológicas
com *zebrafish* (*Danio Rerio*) em efluentes têxteis entre os anos de 2011 e
2021**

Paula Raíza Alves Cavalcante

Mestranda em Engenharia Ambiental, UFRPE, Brasil.
paularaizaac@gmail.com

Rodrigo Cândido Passos da Silva

Professor Doutor, UFPA, Brasil.
rodrigo.passos@ufpa.br

Pabyton Gonçalves Cadena

Professor Doutor, UFRPE, Brasil.
pabyton.cadena@ufrpe.br

Rosângela Gomes Tavares

Professora Doutora, UFRPE, Brasil.
rosangela.gomestavares@ufrpe.br

RESUMO

A grande carga de poluentes existentes nos efluentes industriais têxteis faz com que seja necessário a realização de análise ecotoxicológica. O mapeamento destas análises em modelos animais poderá auxiliar no esclarecimento da possível toxicidade que estes efluentes têxteis possuem. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo mapear a evolução das publicações científicas em relação ao emprego do *zebrafish* (*Danio rerio*), como um modelo animal bioindicador de qualidade ambiental, para análise ecotoxicológica de efluentes têxteis no horizonte de dez anos (2011 a 2021). Para tal, foram estabelecidas três etapas metodológicas: amostragem dos artigos, análises cienciométrica e bibliométricas e revisão sistemática da literatura. Foram encontrados 12 documentos. Observou-se que os estudos ecotoxicológicos dos efluentes têxteis utilizando o *zebrafish* é uma vertente recente e pouco estudada, porém promissora. Dentre os trabalhos destacaram-se aqueles originários do continente asiático. Verificou-se que a Revista *Environmental Science and Pollution Research* foi a única com duas publicações. A análise de similitude gerou uma árvore de palavras com sete grupos (halos). Entendeu-se que os efluentes indústrias têxteis possuem uma ligação direta com a toxicidade causada pelos corantes, essa toxicidade pode ser detectada por análises realizadas com o bioindicador *zebrafish*. Observou-se que as avaliações ecotoxicológicas com o *zebrafish* podem ser realizadas por meio de diferentes metodologias. No entanto, algumas se mostraram mais complexas que outras e apresentaram resultados mais robustos, como as análises embrionárias e larvais. Estas análises foram consideradas benéficas em comparações com outros modelos animais, por serem de baixo custo, necessitarem de um curto período de tempo e respeitarem uma norma internacionalmente imposta (OCDE 236). Diante disto, concluiu-se que o *zebrafish* é um modelo promissor para análises ecotoxicológicas de efluentes têxteis.

PALAVRAS-CHAVE: Toxicidade, Efluentes industriais, Bioindicador.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os setores industriais passíveis de degradação do meio, destaca-se a indústria têxtil. Os impactos ambientais gerados por esse setor afetam os ecossistemas aquáticos e a população em contato direto com essas águas. Esta é uma das principais problemáticas ambientais e sociais enfrentadas pelos setores industriais (DIAS et al., 2018).

Os despejos decorrentes da indústria têxtil são formados por compostos químicos sintéticos (PIZATO et al., 2017) e compostos químicos naturais, como detergentes, hidróxido de sódio, poliacrilamida, ácido fosfônico, corantes, carbonato de sódio, cloreto de sódio, detergentes e amaciantes, além de fibras de tecido (MARINHO, 2019). Os corantes são considerados tóxicos ao ambiente por conta das alterações que podem causar nos corpos receptores, como variação de cor, turbidez e perturbação da vida aquática, vale ressaltar ainda que os intermediários tóxicos gerados pela degradação dos corantes podem ser considerados compostos cancerígenos (AHIRWAR et al., 2016).

Alguns organismos biológicos podem ser utilizados como bioindicadores de toxicidade no meio aquático (SÁ et al., 2019), destacando-se algumas espécies de algas como *Charophyceae spp.* e *Phanerochaete chrysosporium* (RYBAK et al., 2017; HUANG et al., 2018); peixes como tilápia (*Oreochromis niloticus*) e *zebrafish* (*Danio rerio*) (AMÉRICO-PINHEIRO et al., 2019; GOMES et al., 2020); espécies de corais como *Acropora aspera*, *Acropora digitifera* e *Platygyra daedalea* (GISSI et al., 2017) e microcrustáceos como a *Ceriodaphnia dubia* (NETO et al., 2022).

Os peixes têm demonstrado uma eficiência para indicação da qualidade ambiental pois viabilizam a avaliação dos efeitos ecotoxicológicos das substâncias inseridas nos corpos hídricos (AMÉRICO-PINHEIRO, 2019). Entre os peixes, o *Danio rerio*, conhecido como paulistinha ou *zebrafish*, é uma espécie muito utilizada em ensaios ecotoxicológicos para determinação da

contaminação ambiental e avaliação da qualidade da água, apresentando-se como um bioindicador eficiente nos estudos ambientais (AMÉRICO-PINHEIRO; MERCADO, 2022). Essa espécie apresenta respostas por meio de avaliações morfológicas, genéticas, citológicas, teciduais e bioquímicas (TRIGUEIRO et al., 2020), além de modificações no desenvolvimento embrionário, teratogênicas e comportamentais (CADENA et al., 2020) incluindo uma norma internacional para testes de toxicidade conhecida como *FET Test* contida na OCDE 236 (2013).

O *zebrafish* é um importante modelo animal aceito internacionalmente para análise ecotoxicológica porque fornece resultados em curto período de tempo e apresenta alta rastreabilidade utilizando poucos recursos, em comparação com outros modelos animais, como roedores (LOPES-FERREIRA, 2018; CANEDO et al, 2022). Além de respeitarem os princípios dos 3Rs, referentes ao bem-estar animal (substituição, redução e refinamento), este modelo animal também possibilita a adoção de outros 7Rs, referentes aos princípios científicos (registro, relatório, robustez, reprodutibilidade e relevância) e a conduta (responsabilidade e respeito) (CANEDO et al, 2022). As análises com o *zebrafish* podem ocorrer na fase embrionária, larval e adulta (SILVA et al., 2019).

A grande carga de poluentes existentes nos efluentes industriais têxteis faz com que seja necessário a realização de análise ecotoxicológica, para observações dos possíveis efeitos tóxicos e das possíveis interferências que estes efluentes podem causar no meio aquático (SÁ et al., 2019). Nesse contexto, o estado da arte das avaliações ecotoxicológicas dos efluentes têxteis utilizando o *Danio rerio* como bioindicador poderá auxiliar no esclarecimento da toxicidade desse tipo de efluente e no entendimento da problemática atual.

O mapeamento das pesquisas científicas, ou determinação do estado da arte, busca aprofundar os conhecimentos sobre temáticas específicas, elucidando as diretrizes para reflexões teórico-metodológicas, possibilitando a discussão aprofundada da produção acadêmica (RODRIGUES et al., 2019). Desse modo, análises cienciométrica e bibliométricas são utilizadas para considerar os aspectos quantitativos da ciência e da produção científica (GUEDES et al., 2022), além da demonstração e da validação estatística dos conteúdos (MANNARELLI et al., 2022). Em consonância com as análises cienciométrica e bibliométricas, a revisão sistemática da literatura apresenta os aspectos qualitativos da temática estudada, por meio da síntese e do estudo das publicações referentes ao tema, permitindo uma avaliação crítica dos resultados (PFEIFF et al., 2020).

2 OBJETIVOS

Mapear a evolução das publicações científicas em relação ao emprego do *zebrafish* (*Danio rerio*) enquanto bioindicador de qualidade ambiental para análise ecotoxicológica de efluentes têxteis em corpos de água no horizonte de dez anos (2011 a 2021).

3 METODOLOGIA

A metodologia foi estruturada seguindo os procedimentos realizados por Guedes et al. (2022), foram estabelecidas três etapas: amostragem dos artigos, análises cienciométrica e bibliométricas e revisão sistemática da literatura.

3.1 Amostragem (Etapa 1)

A amostragem foi formada com base no método *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (PAGE et al., 2022). Este procedimento acontece em quatro fases: identificação, composto pelo total dos trabalhos encontrados; triagem, onde são aplicados critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos; elegibilidade, na qual ocorre a leitura dinâmica e a retirada dos trabalhos duplicados, que foi realizada por meio do aplicativo Mendeley (Mendeley, Londres, Reino Unido); e, por fim, a inclusão dos trabalhos que estejam de acordo com os objetivos da pesquisa (PAGE et al., 2022; GUEDES et al., 2022).

A identificação e triagem dos trabalhos ocorreu por meio da escolha de palavras-chaves, da determinação dos bancos de dados e da análise dos dados. As palavras-chave foram escolhidas considerando o tema em estudo e a problemática levantada, para maior abrangência dos dados as palavras foram colocadas no idioma inglês (DONTHU et al., 2021). Ressalta-se que a problemática de estudo está relacionada à identificação do nível de toxicidade que os efluentes têxteis podem causar no ambiente, utilizando como bioindicador o *zebrafish* (*Danio Rerio*).

As palavras-chaves foram escolhidas tendo por base as fases do desenvolvimento do *zebrafish* e as análises com efluente têxtil. As pesquisas foram realizadas utilizando as palavras-chaves: “*zebrafish*”, “*zebrafish embryo*”, “*zebrafish larva*”, “*Danio rerio*”, “*Danio rerio embryo*”, “*Danio rerio larva*” e “*textile effluent*”. Foi estabelecido combinações das palavras-chaves, utilizando o conectivo *AND*, sendo frequentemente, uma das palavras relacionadas ao *zebrafish* e “*textile effluent*”, com o intuito de afunilar os resultados e delimitar o tema.

As palavras selecionadas foram inseridas nas plataformas de dados e os resultados obtidos foram direcionados para *softwares* de tratamento de dados bibliográficos. O levantamento de dados foi realizado por meio de quatro bases de dados, a saber: *Pubmed*, *Scopus*, *Web of Science* e *Nature*. As mesmas foram acessadas por meio do Portal Periódico Capes (Capes CAFe). O intervalo de tempo escolhido compreende o período de 2011 a 2021, sendo possível analisar os trabalhos científicos publicados nos últimos 10 anos.

Após a identificação dos trabalhos e retirada das duplicatas, houve a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão foram: artigos em inglês inseridos nas plataformas de pesquisas escolhidas, publicados entre os anos de 2011 a 2022, dentro do eixo temático de estudo. E os critérios de exclusão foram: documentos em outros idiomas, fora do intervalo de tempo determinado, não caracterizado como artigo e que não possuem coerência com a temática. As publicações elegíveis passaram pelo procedimento de leitura completa, e foram avaliadas de acordo com a problemática e os objetivos da pesquisa.

3.2 Análises cienciométrica e bibliométrica (Etapa 2)

As análises cienciométrica e bibliométrica caracterizam-se como estudos quantitativos (GUEDES et al., 2022). Esta etapa foi dividida em três processos: organização dos dados, produção de mapas e análises estatísticas. Inicialmente ocorreu a análise das informações, a organização dos dados e a elaboração de gráficos e tabelas com auxílio do Microsoft Excel 365.

Neste ponto, além das análises temporais, foram observados os periódicos, os locais de publicações, o *SCImago Journal Rank (SJR)*, o *Quartis*, o Fator de Impacto e o Qualis/Capes de cada revista.

O segundo processo refere-se à produção do mapa que demonstrou a incidência mundial das publicações, a qual ocorreu por intermédio do aplicativo *Qgis 3.24.3* (QGIS, Boston, USA). Por fim, a terceira etapa correspondeu às análises estatísticas, que foram realizadas por meio do aplicativo *Iramuteq 0.7* (Iramuteq, Boston, USA). Este programa utiliza a interface do R e a linguagem *python* para análises multidimensionais de textos (IRAMUTEQ, 2022). Para as análises com *Iramuteq* foi necessário a construção de um corpus (base de textos), neste foi incluído o título, as palavras-chaves e os resumos dos artigos. Por meio do *Iramuteq* foi realizada a análise de similitude. Esta análise gerou uma árvore de palavras cujas ramificações representaram as relações existentes entre si no corpus (KLAMT; SANTOS, 2021).

3.3 Revisão sistemática da literatura (Etapa 3)

A Revisão sistemática da literatura (RSL) é caracterizada como uma análise qualitativa e descritiva, que avalia de forma crítica e observacional os trabalhos acerca do tema (NASCIMENTO et al., 2019). Para tal foi realizada a leitura completa, interpretação, avaliação e correlação dos trabalhos selecionados na Etapa 1, pelo método PRISMA (LIMA et al., 2018). Com base no seguinte questionamento: "As metodologias utilizadas para determinação da toxicidade por meio do bioindicador *zebrafish (Danio rerio)* são eficientes para identificação da toxicidade dos efluentes têxteis?".

Para organização das informações foram elaboradas planilhas contendo os principais pontos de cada artigo (NASCIMENTO et al., 2019). Os artigos selecionados foram organizados conforme a fase de desenvolvimento do *zebrafish* e os procedimentos metodológicos aplicados. Estes critérios auxiliaram na identificação e estruturação dos dados de toxicidades deste bioindicador. Por fim, os artigos consultados foram organizados conforme as similitudes temáticas, as quais nortearam nas proposições de melhorias e na indicação de testes para análises futuras.

4. RESULTADOS

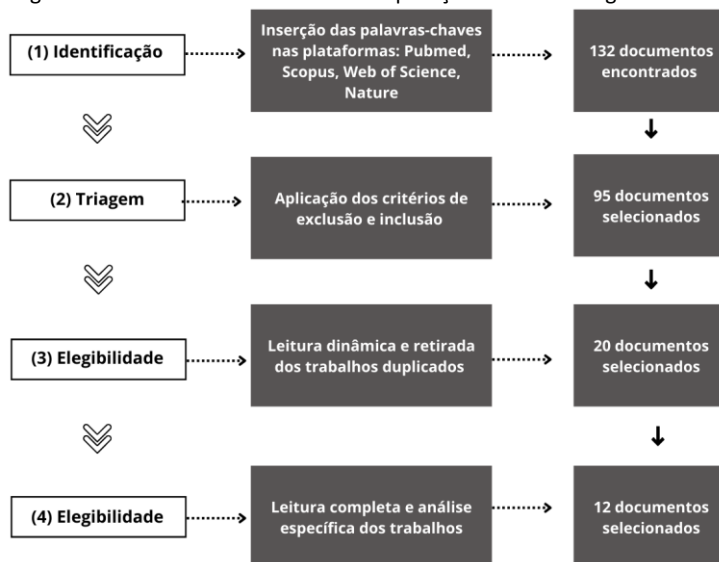
A primeira etapa dos resultados é referente a amostragem dos dados. A segunda apresenta as análises cienciométrica e bibliométrica, compostas por três subseções: análise temporal das publicações, distribuição das publicações e análise estatística textual. A terceira, e última, etapa refere-se a revisão sistemática da literatura.

4.1 Amostragem (Etapa 1)

Os resultados relativos à seleção inicial dos artigos permitiram a seleção de 132 trabalhos (Figura 1). É importante ressaltar que durante a triagem foram encontrados trabalhos com compostos químicos recorrentes nas indústrias têxteis, os corantes, por isso trabalhos que avaliaram os corantes têxteis também foram considerados.

Com base nos critérios de exclusão e inclusão, obteve-se 95 manuscritos, que representam 72% do total da amostra. A retirada das duplicatas resultou em 20 artigos (15% do total). Por fim, ocorreu a leitura completa dos artigos, que levou a seleção de 12 artigos, representando 9% da amostra inicial. O afunilamento da amostra inicial agiliza a avaliação dos manuscritos encontrados, auxiliando na investigação do estado da arte da temática em estudo (PACHECO et al., 2018).

Figura 1 – Resultados encontrados na aplicação da metodologia PRISMA.



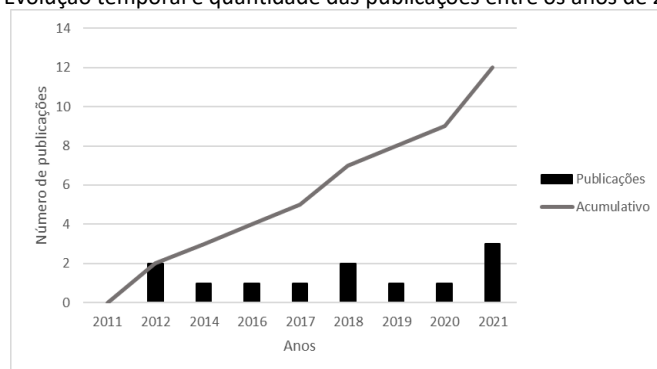
Fonte: Autores (2022).

4.2 Análises cienciométrica e bibliométrica (Etapa 2)

4.2.1 Análise temporal das publicações

Observou-se uma evolução temporal gradual das publicações, entre os anos de 2011 e 2021 (Figura 2).

Figura 2 – Evolução temporal e quantidade das publicações entre os anos de 2011 e 2021.



Fonte: Autores (2022).

A média anual da produção acadêmica ficou em torno de 1,3 trabalhos publicados, com um percentual de publicação de 11% ao ano. No ano de 2011 não houve trabalho publicado, entre os anos de 2012 e 2020 foram publicados 1 a 2 artigos, anualmente, representando uma média de 1,28 trabalhos por ano (10,6%). Já no ano de 2021 houve um maior número de publicações, quando foram registrados 3 manuscritos, representando um percentual de 25%, naquele ano, as publicações estiveram acima da média estabelecida.

Com essas observações, somadas à avaliação cumulativa, pode-se afirmar que a evolução das publicações foi crescente; no entanto, identificou-se que a temática é pouco explorada, visto que, poucos trabalhos foram publicados anualmente. Apesar disso, o aumento do percentual das publicações, no ano de 2021, demonstrou que o tema está em ascensão, sendo considerado promissor para estudos futuros.

Um levantamento realizado por Lopes-Ferreira et al. (2021) demonstrou que o *zebrafish* vem sendo utilizado em estudos ambientais desde 1977. De acordo com os autores, até o ano de 2019 houve um crescimento considerável de análises de poluentes com o *zebrafish*, mais especificamente relacionadas à bioacumulação, à toxicidade e à interação com outros contaminantes ambientais.

4.2.2 Distribuição das publicações

Verificou-se que sete países foram responsáveis pelas 12 publicações sobre a temática, a saber: Brasil, Alemanha, Índia, China, Portugal, México e Zimbábue. Dentre esses, Índia e China destacaram-se com o maior número de publicações, foram 3 trabalhos publicados por cada país. Além disso, as publicações realizadas pela Índia foram recentes e ocorreram entre os anos de 2020 e 2021, enquanto a China realizou 2 publicações no ano de 2012 e 1 no ano de 2021. O Brasil publicou dois artigos sobre a temática, em 2016 e em 2018. A Alemanha, Zimbábue, Portugal e México publicaram uma única vez, nos anos de 2014, 2017, 2018, 2019 respectivamente (Figura 3).

Figura 3 – Frequência de publicações com seus respectivos países entre os anos de 2011 a 2021.



Fonte: Autores (2022).

No que tange ao número de publicações por continente, notou-se que o asiático se destacou com seis artigos, seguido pelos países da América do Sul e Europa, ambos com dois artigos. Esses resultados corroboram com a produção de têxteis do mundo, de acordo com os dados disponíveis da UNIDO - *United Nations Industrial Development Organization* (2018), a Ásia é o continente com maior produção de peças, a China lidera este ranking e sua produção alcança cerca de US\$ 421 bilhões por ano. Em segundo lugar está a Índia que representa valores superiores a US\$ 67 bilhões. O Brasil está em 10º lugar e sua produção equivale a 3% do que é produzido pela China (MENDES JUNIOR et al., 2021).

Os artigos foram publicados em 11 periódicos (Tabela 1). Verificou-se que a Revista “*Environmental Science and Pollution Research*” destacou-se nas publicações, pois apresentou duas delas.

Tabela 1 - Revistas científicas em que os trabalhos foram publicados e suas classificações

Revista Científica	Número de publicações	SJR	Fator de impacto (JCR)	Qualis (CAPES)
Environmental Science and Pollution Research	2	0,831	5,19	A2
Journal of Environmental Management	1	1,481	8,91	A1
Journal of Environmental Sciences	1	1,205	6,796	A1
Fibers and Polymers	1	0,445	2,347	A2
Environmental Pollution	1	1,954	9,988	A1
Ecotoxicology and Environmental Safety	1	1,239	7,129	A1
Toxicology Reports	1	0,807	4,807	A3
Environmental Toxicology and Chemistry	1	0,887	4,218	A2
Frontiers in Microbiology	1	1,314	6,064	A2
Chemosphere	1	1,505	8,943	A1
Chemico-Biological Interactions	1	0,857	5,168	A2

Fonte: Autores (2022).

O SJR – *SCImago Journal Rank*, é uma base composta por dados da Scopus e utiliza a média ponderada de citações recebidas pela revista nos últimos três anos (SCIMAGO, 2022). O maior indicador SJR das revistas avaliadas foi de 1,954, referente a revista *Environmental Pollution*, com destaque para categorias: Saúde, Toxicologia e Mutagênese; Poluição; Toxicologia. Esta revista também apresentou o maior fator de impacto dos periódicos avaliados (9,988). O Fator de Impacto quantifica publicações científicas por meio das citações recebidas e os artigos publicados na coleção principal da *Web of Science* nos dois anos antecedentes (UFRJ, 2020).

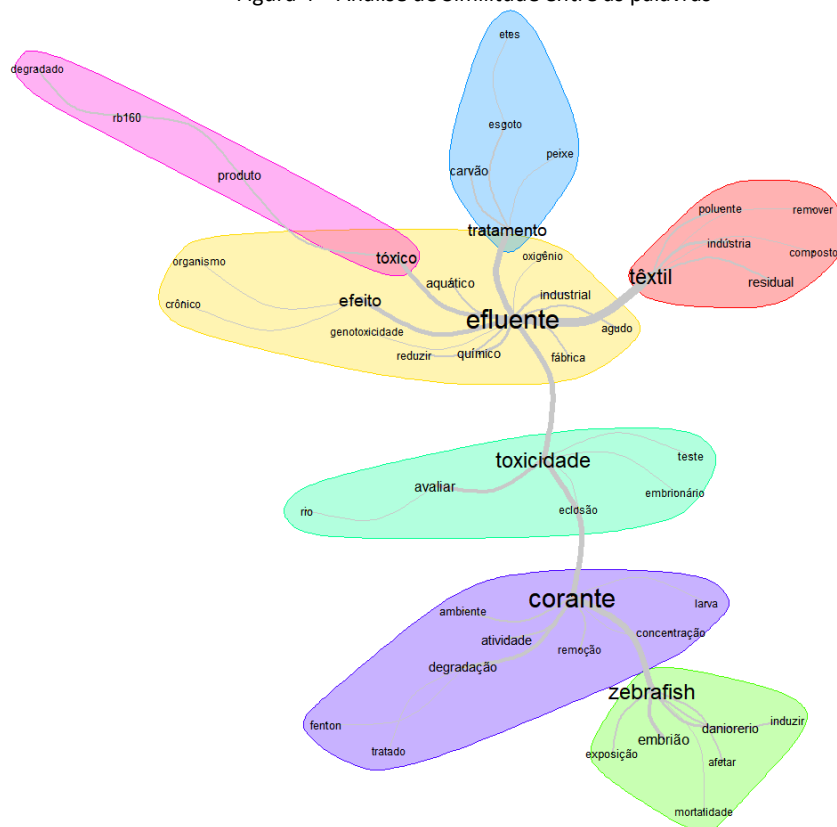
O qualis variou entre A1, A2 e A3, enquanto 45% dos periódicos estavam entre A1 e A2, considerados os estratos mais altos de classificação, quando somente 10% manteve-se no A3. A classificação realizada por meio do qualis refere-se à análise e quantificação da produção bibliográfica de docentes e discentes, sendo um instrumento para avaliação da produção intelectual, por meio da correlação entre aspectos quantitativos e qualitativos (BARATA, 2016).

A análise dos índices bibliométricos, em conjunto, permite a imparcialidade e a precisão dos resultados estabelecidos (THOMAZ et. al, 2011). Por meio da Tabela 1 é possível confirmar essa afirmação, pois as revistas com maiores SJR e JCR também foram aquelas que apresentaram os melhores conceitos do Qualis Capes. Guedes et al. (2022) salientam que periódicos com altos índices bibliométricos são considerados de boa qualidade, pois correspondem à rigidez dos processos de avaliações nos quais os trabalhos são submetidos, para que se mantenha as métricas de impactos já instituídas. Sobre os autores das publicações, foi possível observar uma heterogeneidade, não existindo um autor predominante nessa área de estudo.

4.2.3 Análise estatística

Por meio da análise de similitude (Figura 4) tornou-se possível entender a construção dos textos e a relevância dos temas.

Figura 4 – Análise de Similitude entre as palavras



Fonte: Autores (2022).

A árvore de palavras formada gerou sete grupos, cada grupo contendo uma palavra principal (núcleo), apresentada em negrito e com fonte maior que as demais. Os grupos foram chamados de "halos" e agruparam palavras similares em conjunto de diferentes cores (MANNARELLI et al., 2022). A ligação entre os halos se deu por linhas de conexão, a espessura da linha representou as maiores ou menores conexões entre os halos e as palavras (CARMO et al, 2018). O halo amarelo conteve a raiz principal, com enfoque para palavra “efluente”, por meio dele, formam-se as demais ligações e grupos. Este halo relacionou termos referentes à poluição aquática, despejos de efluentes, organismos presentes no meio aquático e efeitos tóxicos, e estava ligado diretamente a outros 4 halos: o rosa, com predominância para o termo tóxico, relacionando produtos que podem apresentar toxicidade e degradar o meio; o azul, com enfoque para o tratamento, tipos de tratamentos, estações de tratamento e o peixe, como um indicador de toxicidade local; o vermelho, com predominância para têxtil, ressaltou os poluentes gerados por essa indústria; e o verde água, com foco na toxicidade e nas formas de avaliação do efeito tóxico no meio aquático. Por fim, o halo verde água estava ligado a outros dois: o roxo e o verde claro. O roxo, com enfoque no termo “corante”, trata das concentrações dessa substância no ambiente e possíveis formas de tratamento, além de testes com determinadas concentrações que poderiam afetar os organismos aquáticos. No mesmo segmento está o halo verde claro, com predominância da palavra *zebrafish*, este halo representou a exposição do peixe aos corantes e suas possíveis reações. Com isso, entende-se que os efluentes industriais têxteis possuem uma ligação direta com a toxicidade causada pelos corantes. Essa toxicidade pode ser detectada por análises realizadas com o bioindicador *zebrafish*, por meio da exposição dos animais ao efluente têxtil ou exposição direta aos corantes. Com relação a fase do desenvolvimento do *zebrafish*, teste com embrião e larva foram considerados. Também houve destaque para teste na fase embrionária, quando foram observados os animais afetados e a mortalidade.

4.3 Revisão sistemática da literatura (Etapa 3)

A partir da Revisão sistemática da literatura (RSL) foi possível avaliar as abordagens dos trabalhos encontrados (Quadro 1).

Quadro 1 - Artigos obtidos por revisão sistemática da literatura após os critérios de exclusão.

Referência	Fase do desenvolvimento do zebrafish	Metodologias utilizadas com o zebrafish
Fang et al., (2012)	Adulto	O teste de letalidade aguda de 96 h foi realizado de acordo com o procedimento descrito na ISO (1996). A amostra foi diluída para cinco concentrações (100, 80, 60, 40 e 20 por cento). A mortalidade foi registrada em intervalos de 24 h, 48 h e 96 h.
Zhang et al. (2012)	Adulto	Os peixes foram expostos a amostras de água por 4 dias. Foi observado a letalidade em várias concentrações de exposição e determinada a concentração máxima de tolerância. Para o teste de genotoxicidade foi retirado o sangue e o fígado dos peixes. Para o ensaio de micronúcleos foi retirada a seção caudal.
Thellmann et al. (2014)	Embrião	O teste de toxicidade foi realizado de acordo com o OECD 236 em 6, 12, 24, 48, 60, 72, 84 e 96 h pós-fertilização (hpf). Observou-se: mortalidade, atrasos e falhas no desenvolvimento (deformações da coluna vertebral, edema de gema e pericárdio, falha e ausência de pigmentação) e frequência de batimentos cardíacos.
De Oliveira et al. (2016)	Embrião e larva	Os testes foram realizados de acordo com os Lammer et al. (2009) e OCED 212. O desenvolvimento embrionário foi avaliado em 8, 24, 48, 72, 96, 120 e 144 hpf. Os efeitos letais observados foram: coagulação, ausência de formação de somitos, não descolamento da cauda e ausência de batimentos cardíacos. Os desfechos subletais incluíram malformações embrionárias e sucesso na eclosão.
Teta et al. (2017)	Adulto	Os ovos foram coletados diariamente. O desempenho reprodutivo dos peixes foi monitorado e registrado diariamente por um período de 7 dias. Após 7 dias, a exposição foi iniciada substituindo água limpa efluente têxtil e efluentes de ETEs. E o desempenho reprodutivo foi monitorado por 21 dias de exposição. Após o lapso de 21 dias de exposição, foi determinado o teor de Vtg e analisada a histologia.
Fernandes et al. (2018)	Embrião	O teste de toxicidade aguda foi realizado de acordo com o OECD 236, em 24, 48, 72 e 96 hpf. Efeitos letais e subletais foram observados. Efeito letal: coagulação do ovo, sem formação de somitos, não descolamento da cauda do saco vitelino e sem batimentos cardíacos. E efeito subletal: efeitos na pigmentação dos olhos e do corpo, absorção do saco vitelino, taxa de eclosão.
Abe et al. (2018)	Embrião e Larva	Após 96 h pós-fertilização (hpf), observou-se: energia disponível, energia consumida e energia celular. As análises de comportamento foram realizadas em 144 larvas hpf, os testes foram feitos em quatro ciclos claro/escuro de 10 min para estimular/inibir movimento larval.
Hernández-Zamora et al. (2019)	Embrião	Seguiu o protocolo proposto pela OCDE 236. As observações ocorreram em 24, 48, 72, 96, 120 e 144 hpf. Os desfechos letais foram coagulação, sem descolamento de cauda, sem formação de somitos e sem batimentos cardíacos (este último medido após 48 h). Os desfechos subletais incluíram: deformidades no saco vitelino, bexiga de gás e esqueleto, bem como um atraso na taxa de eclosão das larvas.
Barathi et al. (2020)	Embrião	Os embriões coletados foram separados em três grupos: controle; embrião tratado com 250 µg/ml de RB 160 e embrião tratado com um produto degradado de RB160. Após o tratamento, foram observados: deformação fenotípica, eclosão, sobrevivência e frequência cardíaca em intervalos de tempo específicos.
Wang et al. (2021)	Adulto	A taxa de mortalidade foi observada. Para a análise morfológica foram medidos o comprimento corporal e o peso corporal. Para análise bioquímica foram avaliados os fígados, músculos e os tecidos intestinais dos peixes. As amostras do conteúdo intestinal foram raspadas para posterior extração de DNA microbiano.
Raj et al. (2021)	Adulto	A atividade de natação e o comportamento dos peixes (normal, natação errática, letargia, imobilidade) foram observados, registrados e comparados ao controle por 15 dias. Também foi realizada, uma análise dos marcadores bioquímicos em dois tecidos muito importantes (fígado e tecido cerebral).
Suryamathi et al. (2021)	Embrião	A sobrevivência e os estágios dos embriões pós-fertilização foram observados em 0, 6, 12, 24 e 48 h. Foi analisada a mortalidade e efeitos teratogênicos (não especificados).

Fonte: Autores, 2023.

Constatou-se que os estudos dos efluentes ou compostos têxteis ocorreram em maioria com o *zebrafish* na fase embrionária (n = 7), seguidos pela fase adulta (n = 5), bem como embrionária e larval (n = 3). Análises toxicológicas com essa espécie na fase embrionária estão se tornando recorrentes, por ser um modelo alternativo tão complexo quanto o peixe adulto e possuindo semelhanças celulares com os mamíferos (STRAHLE et al., 2012). A OCE 236 (2013) regulamenta internacionalmente os testes de toxicidade com embriões, a norma propõe quatro observações para indicação de letalidade: coagulação dos ovos, ausência de formação de somitos, ausência de desprendimento do broto caudal do saco vitelino e falta de batimentos cardíacos. Dentre os trabalhos que avaliaram o *zebrafish* na fase embrionária 4 seguiram os procedimentos da OCDE: Thellmann et al. (2014), De Oliveira et al. (2016), Fernandes et al. (2018) e Hernández-Zamora et al. (2019).

Os testes com embrião e larva de *zebrafish* (ABE et al., 2018) contribuem para proteção ambiental, pois demonstraram eficiência para determinação da toxicidade ambiental (SURYAMATHI et al., 2021) e a importância deste modelo animal. A indicação desse fator elucidada o impacto antropogênico gerado pelos efluentes têxteis e age diretamente na proteção sustentável da biota aquática e na busca pela minimização do nível tóxico buscando a redução dos potenciais embriológicos respeitando as legislações ambientais (THELLMANN et al., 2014).

A toxicidade dos corantes têxteis, utilizando o *zebrafish*, foi constatada por Hernández-Zamora et al. (2019), Barathi et al. (2020), De Oliveira et al. (2016) e Fernandes et al. (2018). Hernández-Zamora et al. (2019) relataram que o corante vermelho do Congo apresentou toxicidade relevante, não só para o *zebrafish*, mas também para a microalga *Pseudokirchneriella subcapitata* e cladóceros. Os autores constaram que esse tipo de corante afetou os organismos em diferentes níveis tróficos.

Barathi et al. (2020) avaliaram o corante têxtil Reactive Blue 160 (RB160) e relataram que a concentração de 500 µg/mL já se apresentou tóxica para o ambiente, causando efeitos letais e subletais nos embriões de *zebrafish*. De Oliveira et al. (2016) determinaram a toxicidade dos corantes têxteis Direct Black 38 (DB38), Reactive Blue 15 (RB15), Reactive Orange 16 (RO16) e Vat Green 3 (VG3); todos os corantes ocasionaram malformações durante a fase embrionária e larval. Os autores destacaram a necessidade da redução das concentrações a níveis tais que não causam efeitos significativos na biota. Fernandes et al. (2018) estudaram o corante Disperse Red 343, a ecotoxicidade foi avaliada por semente de alface, *Artemia salina* e *zebrafish* no estágio embrionário. Neste artigo foi estabelecido a CL_{50} correspondente a 100 mg/L, e as concentrações superiores não afetaram significativamente os organismos.

Abe et al. (2018) relacionaram o balanço energético do *zebrafish* com as condições de estresse sofridas pela poluição dos corantes nos corpos d'água. Os autores demonstraram que o consumo e a alocação de energia estão relacionados com o comprometimento da atividade locomotora nos estágios iniciais de vida do *zebrafish*, que também compromete a energia necessária para outros processos, como a eclosão.

Testes em adultos também se mostraram eficientes para a determinação da toxicidade (ZHANG et al., 2012; FANG et al., 2012; TETA E NAIK, 2017; RAJ et al., 2021; WANG et al., 2021). Os testes realizados consideraram: letalidade, atividade natatória, comportamento animal (normal, natação errática, letargia, imobilidade), morfologia, marcadores bioquímicos e testes

para indicação de presença de desreguladores endócrinos e dos efeitos nas gônadas e fecundidade do *zebrafish*.

Por meio das avaliações relatadas foi possível identificar os efeitos tóxicos dos efluentes têxteis, além dos corantes. Observou-se que essas avaliações toxicológicas podem ser realizadas por meio de diferentes metodologias. No entanto, algumas se mostraram mais complexas que outras e apresentaram resultados mais robustos, como as análises embrionárias e larvais, que indicaram os efeitos tóxicos nos primeiros dias pós-fertilização. De acordo com Fernandes et al. (2015) é possível fazer uma correlação entre os efeitos analisados no embrião do *zebrafish* com o embrião humano (no primeiro trimestre de desenvolvimento), os autores estudaram respostas neurocomportamentais. Com essas avaliações torna-se possível identificar os impactos nas fases iniciais de vida dos peixes. Além das necessidades de tratamento dos efluentes, com base na toxicidade observada.

As análises realizadas direcionaram os estudos para duas observações: 1 – Estudos toxicológicos dos efluentes têxteis utilizando *zebrafish* (*Danio rerio*) como bioindicador ainda é uma vertente recente e pouco estudada; 2 – O aumento das publicações no ano de 2021 pode indicar que esta linha de pesquisa encontra-se em ascensão e tende a ser objeto de pesquisas futuras. Dentre os trabalhos avaliados destacaram-se aqueles originários do continente asiático, ligando-se ao fato dessa região ser a maior produtora de têxteis do mundo; logo, foram pioneiros nas pesquisas e publicaram a maior quantidade de artigos. A análise estatística e textual demonstrou que as pesquisas realizadas mantiveram o foco na avaliação da qualidade da água dos corpos hídricos que recebem os efluentes têxteis e seus componentes. Além disso, identificou-se que a toxicidade do efluente está ligado aos corantes utilizados nesse setor industrial.

5. CONCLUSÃO

Observou-se que análises de ecotoxicidade com o *zebrafish* apresentaram resultados satisfatórios e significativos para indicação de toxicidade do ambiente, podendo auxiliar na determinação das concentrações que não afetam o meio aquático e não agredem os corpos hídricos. Os testes nos estágios iniciais de vida (embrião e larva) foram os mais usados tendo relação com a OCDE 236. Essas análises foram consideradas benéficas em comparações com outros modelos animais, por serem de baixo custo, necessitarem de um curto período de tempo e respeitarem uma norma internacionalmente aceita.

Agradecimento

A primeira autora agradece à CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, F. R. et al. Toxicity of dyes to zebrafish at the biochemical level: Cellular energy allocation and neurotoxicity. *ENVIRONMENTAL POLLUTION*, v. 235, p. 255–262, 2018.

AMÉRICO-PINHEIRO J. H. P. et al. Sublethal effects of imidacloprid in hematological parameters of tilapia

(*Oreochromis niloticus*). **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 230, 193, 2019.

AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. ; MERCADO, L. S. . Pesticides, water resources and bioindicators. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 18, n. 1, 2022.

AHIRWAR, D.; BANO, M.; KHAN, F. Synthesis of mesoporous TiO₂ and its role as a photocatalyst in degradation of indigo carmine dye. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, 79(1), pp.228–237, 2016.

BARATA, R. C. B. Dez coisas que você deveria saber sobre o Qualis. **RBPG**, Brasília, v. 13, n. 1, janeiro/abril 2016. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/26/o/artigo_10_coisas.pdf. Acesso em: 16 de mar. 2023.

BARATHI, S. et al. Biodegradation of textile dye Reactive Blue 160 by *Bacillus firmus* (Bacillaceae: Bacillales) and non-target toxicity screening of their degraded products. **TOXICOLOGY REPORTS**, v. 7, p. 16–22, 2020.

CADENA P. G. et al. Folic acid reduces the ethanol-induced morphological and behavioral defects in embryonic and larval zebrafish (*Danio rerio*) as a model for fetal alcohol spectrum disorder (FASD). 2020. **Reproductive Toxicology**.

CANEDO, A. et al. O peixe-zebra (*Danio rerio*) encontra a bioética: os princípios éticos dos 10Rs na pesquisa. 2022, **Ciência Animal Brasileira**, V23, e-70884.

CARMO, H. M. O. et al. Descontinuidade tecnológica em patentes envolvendo o uso de cinzas de carvão: análise baseada em conteúdo textual. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade** (ISSN 2318-3233), São Paulo, v. 8, n. 2, p. 49–66, 2018.

DE OLIVEIRA, G. A. R. et al. Textile dyes induce toxicity on zebrafish early life stages. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 35, n. 2, p. 429–434, 2016.

DIAS, F. F. S. et al. Tratamento de efluente têxtil através de processo oxidativo avançado (H₂O₂/TiO₂/UV). **Revista Geama**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 4–9, 2018.

DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of BusinessResearch**, 133(March), 285–296, 2021.

FANG, Y. X. Y.-X. et al. Use of TIE techniques to characterize industrial effluents in the Pearl River Delta region. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 76, n. 1, p. 143–152, 2012.

FERNANDES, N. C. et al. Removal of azo dye using Fenton and Fenton-like processes: Evaluation of process factors by Box–Behnken design and ecotoxicity tests. **Chemico-Biological Interactions**, v. 291, n. May, p. 47–54, 2018.

FERNANDES, Y. et al. Embryonic Alcohol Exposure Impairs the Dopaminergic System and Social Behavioral Responses in Adult Zebrafish. **International Journal of Neuropsychopharmacology**, 2015, 1–8.

GISSI, F. et al. Inhibition in fertilisation of coral gametes following exposure to nickel and copper. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.145, p.32–41,2017.

GOMES, S.S et al. Efeitos tóxicos dos sedimentos do estuário do rio Capibaribe em embriões de zebrafish (*Danio rerio*). **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.72, n.2, p.623-632, 2020.

GUEDES, F. L. et al. Analysis of scientific production of refused derived fuel through scientometric and bibliometric indicators. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 052–061, 2022.

HERNÁNDEZ-ZAMORA, M. et al. Congo red dye diversely affects organisms of different trophic levels: a comparative study with microalgae, cladocerans, and zebrafish embryos. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 12, p. 11743–11755, 2019.

HUANG, C. et al. Transcriptome analysis reveals novel insights into the response to Pb exposure in *Phanerochaete chrysosporium*. **Chemosphere**, v. 194, p.657-665, 2018.

IRAMUTEQ. **Interface R para Análise Multidimensional de Textos e Questionários**. 2022. Disponível em: <http://www.iramuteq.org/>. Acesso em: 10 de nov de 2022.

KLAMT, L. M.; SANTOS, V. S. O uso do software IRaMuteQ na análise de conteúdo – estudo comparativo entre os trabalhos de conclusão de curso do ProfEPT e os referenciais do Programa. **Research, Society and Development**. 2021, 10(4), 1-15.

LIMA, A. C. D et al. Alterações sensoriais em respiradores orais: revisão sistemática baseada no método prisma. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 37, p. 97-103, 2018.

LOPES-FERREIRA, M. et al. O Modelo Zebrafish e sua Contribuição ao Meio Ambiente. In: SILVA, et. al. **Recurso Água: Tecnologias e Pesquisas para o uso e a conservação de ecossistemas aquáticos**. 1ª ed. São Carlos, SP. Editora Cubo, 2021. E-book. Cap. 7, p. 188-2019. Disponível em: <https://repositorio.butantan.gov.br/handle/butantan/4453?mode=full>

MANNARELLI, T. et al. Responsabilidade social empresarial nas relações de trabalho: mapeando o uso da lógica fuzzy com o software iramuteq. **Novas Tendências na Investigação Qualitativa**, v. 15, p. 569, 2022. DOI: 10.36367/ntqr.15.2022.e569.

MARINHO, S. E. Tingimento: um processo que agrega valor estético à matéria-prima têxtil. 2019. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Design)**. Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.

MENDES JUNIOR, B. O. Setor Têxtil – produção, comércio internacional e perspectivas para Brasil, Nordeste, Ceará e Pernambuco em 2021. **Caderno Setorial ETENE**. Ano 6, nº 185, 2021.

NASCIMENTO, R. F. et al. Impacto dos sistemas de recompensas na motivação organizacional: revisão sistemática pelo método PRISMA. **Revista Gestão & Conexões**, v. 8, n. 2, p. 44-58, 2019.

NETO, I. F. S. et al. Utilização de Ceriodaphnia Dubia como bioindicador aquático em ensaios ecotoxicológicos na detecção de intoxicações crônicas. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**, v. 7, n. 1, 2022.

PACHECO, R. L. et al. Guidelines para publicação de estudos científicos. Parte 4: Como publicar revisões sistemáticas. **Diagn tratamento**, v. 23, p. 19-23, 2018.

PAGE, Matthew J. et al. A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **Rev Panam Salud Publica**; 46, dic. 2022, 2022. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/56882>. Acesso em: 15 mar. 2023.

PFEIFF, G. K. et al. Revisão Sistemática atual sobre Sensoriamento Remoto aplicado a detecção de Ilhas de Calor Urbanas. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 16, n. 5, 2020.

PIZATO, E. et al. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo Lasiodiplodia theobromae MMPI. **Engenharia Sanitaria e Ambiental** [online]. 2017, v. 22, n. 05.

PRIYA, E. S.; SELVAN, P. S. Water hyacinth (Eichhornia crassipes) – An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment – A review. **Arabian Journal of Chemistry**, 2017, Volume 10, Supplement 2, Pages S3548-S3558.

RODRIGUES, G. S. et al. O estado da arte das práticas didático-pedagógicas em Educação Ambiental (período de 2010 a 2017). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 9–28, 2019.

RYBAKA, M. et al. Bioaccumulation and toxicity studies of macroalgae (Charophyceae) treated with aluminium: Experimental studies in the context of lake restoration. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 145, p. 359–366, 2017.

SÁ, RJ da S. et al. A. Indicadores biológicos de qualidade da água e as mudanças climáticas. **Multidisciplinary Reviews**, [S. l.], v. 2, 2019.

SANTHANA RAJ, D. et al. Remediation of textile effluents for water reuse: Decolorization and desalination using Escherichia fergusonii followed by detoxification with activated charcoal. **Journal of Environmental Management**, v. 277, n. May 2020, p. 111406, 2021.

SCIMAGO. **Journal & Country Rank SCImago**. 2022. Disponível em: <https://www.scimagojr.com/help.php>.

- SILVA, M. C. G. The complexation of steroid hormones into cyclodextrin alters the toxic effects on the biological parameters of *zebrafish* (*Danio rerio*). **Chemosphere**, v. 214, 2019. p. 330 e 340.
- STRAHLE, U., et al. Zebrafish embryos as an alternative to animal experiments - a commentary on the definition of the onset of protected life stages in animal welfare regulations. **Reprod. Toxicol.** 33 (2), 128 e 132. 2012.
- SURYAMATHI, M. et al. Tyrosinase Immobilized Zein Nanofibrous Matrix as a Green and Recyclable Material for Biodegradation of Azo Dyes. **Fibers and Polymers**, v. 22, n. 10, p. 2714–2725, 2021.
- TETA, C. et al. Vitellogenin induction and reduced fecundity in zebrafish exposed to effluents from the City of Bulawayo, Zimbabwe. **Chemosphere**, v. 167, n. 2, p. 282–290, 2017.
- THELLMANN, P. et al. Fish embryo tests with *Danio rerio* as a tool to evaluate surface water and sediment quality in rivers influenced by wastewater treatment plants using different treatment technologies. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 21, p. 16405–16416, 2014.
- THOMAZ, P. G. et al. Uso do fator de impacto e do índice H para avaliar pesquisadores e publicações. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 96, p. 90-93, 2011.
- TRIGUEIRO, N. S. S. et al. Zebrafish as an Emerging Model System in the Global South: Two Decades of Research in Brazil. **Zebrafish**, v. 17, n. 6, p. 412 - 425, 2020. DOI: 10.1089/zeb.2020.1930.
- UFRJ. **Sistema de Bibliotecas e Informações**. Você sabe como descobrir o fator de impacto de uma publicação. 2020. Disponível em: <https://www.sibi.ufrj.br/index.php/inicio/367-fator-de-impacto-voce-sabe-como-descobrir-o-fator-de-impacto-de-uma-publicacao>. Acesso em: 05 de dez. 2022.
- WANG, C. et al. Effect of Chronic Exposure to Textile Wastewater Treatment Plant Effluents on Growth Performance, Oxidative Stress, and Intestinal Microbiota in Adult Zebrafish (*Danio rerio*). **Frontiers in Microbiology**, v. 12, n. November, p. 1–13, 2021.
- XAVIER, M. F. B.. Avaliação da adequação dos valores numéricos definidos nas tabelas da Resolução 357/05 do CONAMA do ponto de vista técnico e científico, para garantir a preservação dos ecossistemas. **Dissertação** (Mestrado em Perícias Criminais e ambientais. 2020. UFSC.
- ZHANG, W. et al. Characterisation of acute toxicity, genotoxicity and oxidative stress posed by textile effluent on zebrafish. **Journal of Environmental Sciences** (China), v. 24, n. 11, p. 2019–2027, 2012.