

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

GIULIA DE PINHO DEL'LABON

**A biorremediação do Lauril Éter Sulfato de Sódio presente em efluentes de
Indústrias Cosméticas: uma revisão sistemática**

ARARAS

2023

GIULIA DE PINHO DEL'LABON

**A biorremediação do Lauril Éter Sulfato de Sódio presente em efluentes de
Indústrias Cosméticas: uma revisão sistemática**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título
de Licenciada em Química pela Universidade
Federal de São Carlos

Orientador: Renato Nallin Montagnolli

ARARAS

2023

GIULIA DE PINHO DEL'LABON

A biorremediação do Lauril Éter Sulfato de Sódio presente em efluentes de Indústrias Cosméticas: uma revisão sistemática

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Química pela Universidade Federal de São Carlos

Orientador: Renato Nallin Montagnolli

Araras, 04 de abril de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Me. Biana Pelissari Gadanhoto

Profa. Dra. Sandra Regina Ceccato Antonini
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Renato Nallin Montagnolli
Universidade Federal de São Carlos

*Dedico este trabalho ao meu noivo, por
todo o apoio durante a graduação.*

AGRADECIMENTOS

A entrega deste trabalho de conclusão de curso contou com a ajuda de diversas pessoas, dentre as quais eu agradeço:

Ao Prof. Renato Montagnolli, pela calma e empatia durante as correções, me auxiliando durante o desenvolvimento do trabalho.

À Karina Lucatto e à Barbara Graciola, pelo conhecimento compartilhado sobre as indústrias cosméticas.

À Cristina Oliveira, por ter me acolhido.

Ao meu noivo, Mateus Oliveira, por garantir que eu finalizasse a graduação, dirigindo 100 km até a universidade para que eu pudesse assistir as aulas.

RESUMO

Com o crescimento do mercado de itens de higiene pessoal e cosméticos, a preocupação ambiental da categoria exige ações para remediar danos que estes produtos causam ao ecossistema. Uma das preocupações para as estações de tratamento de água são os surfactantes, sendo o Lauril Éter Sulfato de Sódio (SLES) um dos mais utilizados na indústria cosmética mundial. Estudos sobre sua biorremediação são indispensáveis para tomadas de decisão e implementação de melhorias nos processos de recuperação de efluentes. Esta revisão sistemática, buscou avaliar as diferentes metodologias de biodegradação utilizadas nos estudos referentes ao surfactante. Utilizando o mecanismo de busca Google Acadêmico e as bases de dados Capes, Science Direct e Scopus os artigos foram avaliados conforme a os testes para biodegradação imediata da OCDE e a ISO 7875. Apesar das buscas resultarem em 11.016 artigos, notou-se um baixo número de trabalhos com relevância no tema, onde apenas 5 foram selecionados para esta revisão sistemática. Estes 5 apresentaram baixa variedade de condições de pH, temperatura e combinação de microrganismos, o que impede uma avaliação precisa sobre a biodegradação do Lauril Éter Sulfato de Sódio. Para garantir decisões assertivas sobre sua remoção em estações de tratamento de água, são necessários novos estudos preenchendo as lacunas encontradas.

Palavras-chave: Surfactantes aniônicos. SLES. Biorremediação.

ABSTRACT

With the growth of the personal hygiene and cosmetics market, the category's environmental concern requires actions to remedy the damage these products cause to the ecosystem. One of the concerns for water treatment plants is surfactants, with Sodium Laureth Sulfate (SLES) being one of the most used in the cosmetic industry worldwide. Studies on its bioremediation are essential for decision-making and implementation of improvements in effluent recovery processes. This systematic review sought to evaluate the different biodegradation methodologies used in studies concerning SLES. Using the Google Scholar search engine and Capes, Science Direct and Scopus databases, the articles were evaluated according to the OECD tests for immediate biodegradation and ISO 7875. Although the searches resulted in 11,016 articles, only 5 were relevant and selected for this systematic review. These 5 presented a low variety of conditions of pH, temperature, and combination of microorganisms, which discourages a precise assessment of the biodegradation of Sodium Laureth Sulfate. Further studies are required to ensure assertive decisions about its removal in water treatment plants and to address the gaps.

Keywords: Anionic surfactants. SLES. Bioremediation.

Sumário

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 8 |
| 1.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 9 |
| 1.1.1 <i>Produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (HPPC)</i> | 9 |
| 1.1.2 <i>Indústrias no Brasil</i> | 10 |
| 1.2.3 <i>Efluentes de Indústrias Cosméticas</i> | 12 |
| 1.2.4 <i>Surfactantes</i> | 13 |
| 1.3.5 <i>Lauril Éter Sulfato de Sódio</i> | 15 |
| 1.3.6 <i>Biodegradabilidade</i> | 16 |
| 2. OBJETIVOS | 19 |
| 2.1 OBJETIVOS GERAIS | 19 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 19 |
| 3. METODOLOGIA | 20 |
| 3.1 PESQUISA | 20 |
| 3.2 SELEÇÃO DOS ESTUDOS | 20 |
| 3.3 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA | 21 |
| 3.4 AVALIAÇÃO QUALITATIVA | 23 |
| 3.4.1 <i>Padrões de Biodegradabilidade</i> | 23 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 24 |
| 4.1 SELEÇÃO DE TRABALHOS | 24 |
| 4.2 ARTIGOS EXCLUÍDOS PELA FICHA DE SELEÇÃO | 26 |
| 4.3 MÉTODOS DE ANÁLISE DE BIODEGRADAÇÃO | 26 |
| 4.4 CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS SELECIONADOS | 28 |
| 4.5 CONDIÇÕES DE PH E TEMPERATURA | 30 |
| 5.0 CONCLUSÃO | 31 |
| REFERÊNCIAS | 33 |
| ANEXOS | 36 |

1. INTRODUÇÃO

Shampoos, sabonetes, protetores solares e desodorantes são alguns dos exemplos de produtos de uso diário classificados como HPPC – Produtos de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. Reconhecidos como uma nova classe de poluentes ambientais, estudos apontam que estações de tratamento de água e de esgotos não estão equipadas para degradá-los ou removê-los (POMPEI et al., 2019).

Rotinas de cuidado pessoal - ou *skincare* - são populares nas redes sociais, impulsionando o consumo e ocasionando o crescimento do mercado cosmético. Todo esse consumo precisa ser escoado de alguma forma, seja na etapa de produção ou no uso diário da população resíduos cosméticos encontram seu caminho para estações de tratamento de esgoto (ETE).

Surfactantes ou tensoativos são um dos compostos que trazem preocupação quando se fala de efluentes de indústrias cosméticas. Utilizados em produtos com característica de limpeza dificultam o tratamento de água por formarem espuma na ETE e por suas propriedades antimicrobianas. Para impedir o dano ambiental causado por eles são estudados diferentes métodos de remoção.

A biodegradação é um método onde o surfactante é decomposto em CO₂ e água, sendo uma fonte de carbono para os microrganismos daquele ambiente. Ela pode ser estabelecida por diversos métodos, uns com maior confiabilidade de resultados do que outros.

Este trabalho é uma revisão sistemática, uma análise dos dados apresentados pelos estudos referentes à biodegradação do surfactante Lauril Éter Sulfato de Sódio (SLES). Resultados conflitantes emergem de estudos diferentes abordando as mesmas questões, onde lacunas podem ser melhor avaliadas por um terceiro observador não envolvido nos estudos anteriores.

1.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1.1 Produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (HPPC)

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) classifica os PPCPs (*Pharmaceuticals and Personal Care Products*) como “qualquer produto utilizado por indivíduos para saúde pessoal, por razões cosméticas ou pelo agronegócio para melhorar o crescimento e a saúde do gado” (Cizmas et al., 2015).

No Brasil, a categoria é regulamentada pela ANVISA de acordo com a RDC N° 211, de 14 de julho de 2005, que define os HPPC como preparações constituídas por substâncias naturais ou sintéticas de uso externo nas diversas partes do corpo humano com objetivo exclusivo ou principal de limpá-los, perfumá-los, alterar sua aparência, corrigir odores corporais, protegê-los ou mantê-los em bom estado (ANVISA, 2005).

A categoria traz itens de relevância para a saúde da população, como protetores solares, repelentes, sabonetes, produtos sanitizantes, cremes dentais e hidratantes. Para isso os produtos são classificados como “Grau 1” e “Grau 2”. Itens de Grau 1 são produtos com características básicas ou elementares, que não exigem comprovações extensas ou modo de uso detalhado (shampoos, sabonetes e perfumes sem finalidade de tratamento). Itens de Grau 2 exigem comprovações de segurança e eficácia e precauções de uso detalhadas, são itens com finalidades específicas ou destinados à um público sensível, como protetores solares e itens infantis. A classificação foi atualizada em 2022, assim como as precauções de uso necessárias, os parâmetros biológicos exigidos e as características de embalagem e de regularização (ANVISA, 2005, 2022).

Também é possível identificar os itens de acordo com a classificação geral de HPPC, comumente utilizada em artigos internacionais, conforme a tabela 1. Ela engloba a finalidade de produto e sua composição química.

Tabela 1 - Classificação geral de HPPC e seus exemplos

| Classe | Descrição | Exemplos |
|-------------------------|---------------------------|--|
| Produtos de uso pessoal | Fragrâncias | Eugenol, Limoneno e Salicilato de Metila |
| | Conservantes | Metil, etil e butil parabenos |
| | Agentes de proteção solar | Benzofenona, Etilhexil triazona Oxibenzona |
| | Sabonetes e Shampoos | Lauril Éter Sulfato de Sódio, Lauril Sulfato de Amônio, Ácido Salicílico |

Fonte: Krishnan et al., 2021.

1.1.2 Indústrias no Brasil

A ABIHPEC (Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos) é uma entidade privada que representa o mercado cosmético no Brasil. Possui cerca de 400 associados, representando 90% do setor cosmético do país, atua na defesa dos interesses do setor nas esferas públicas e privadas. Além disso, fomenta programas de inovação, sustentabilidade, regulamentação, internacionalização e projeção setorial (ABIHPEC, 2022).

De acordo seu relatório de 2021, o Brasil é o 4º maior mercado consumidor de cosméticos no mundo, sendo o 3º país que mais lança produtos cosméticos anualmente e tendo em seu território 3.205 empresas de HPPC (produtos de higiene pessoal, perfumes e cosméticos). Apesar da pandemia, no ano de 2020 o setor cosmético brasileiro cresceu cerca de 2,2%, exportando para mais de 173 países com a importação representando apenas 6,3% das vendas no Brasil (ABIHPEC, 2021).

Em maio de 2022, a ABIHPEC compartilhou a apresentação de Panorama do Setor, onde é possível comparar o impacto socioeconômico do setor de HPPC ao setor agrícola e a industrial geral. Afirmando que o investimento no setor adiciona valor nos demais setores, alimenta inter-relações setoriais e resulta em alta capacidade de geração de renda e de impostos (ABIHPEC, 2022).

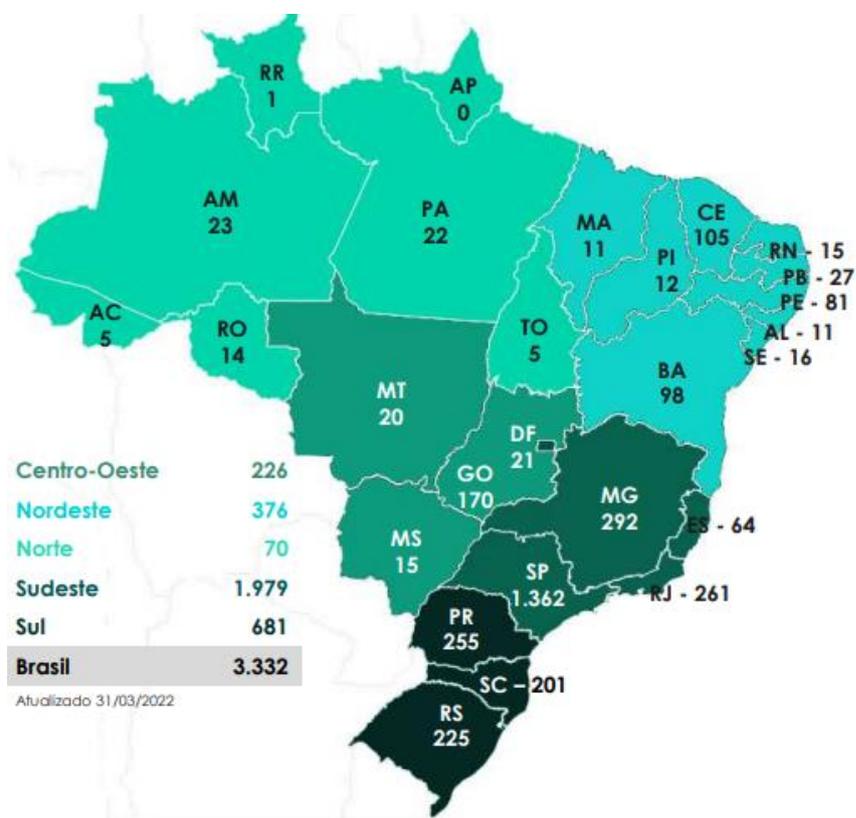
O número de indústrias no país cresceu 5,4% em 2021, totalizando 3.332 unidades, concentradas no Sudeste, mas com números por todo o país, conforme a Figura 1. Esse crescimento resultou na criação de 6.000 empregos diretos, valor 4,5% maior do que o ano anterior (ABIHPEC, 2022).

Tabela 2 - Panorama do Setor de HPPC
Resultado em um ano da injeção de R\$1 milhão em cada setor

| Categoria | Produção (R\$) | Ocupação (Un) | Impostos (R\$) | Salários (R\$) |
|------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| HPPC | 3,85 milhões | 38 empregos | 601 mil | 450mil |
| Agropecuária | 2,96 milhões | 80 empregos | 171mil | 340mil |
| Indústria geral | 2,40 milhões | 37 empregos | 354mil | 421mil |

Fonte: ABIHPEC, 2022. Adaptado pela autora.

Figura 1 - Empresas de HPPC no Brasil



Fonte: ABIHPEC, 2022.

A produção de itens de HPPC utiliza uma grande quantidade de água, seja na incorporação do produto, nas lavagens de equipamentos ou nos sistemas de resfriamento e vapor. Com exceção do volume presente nos produtos e aquele que é perdido por evaporação, a água se torna um efluente contaminado (MELO; MOUNTEER, 2018).

1.2.3 Efluentes de Indústrias Cosméticas

Apesar da preferência do mercado pelo uso de matérias primas biodegradáveis, resíduos de indústrias cosméticas geralmente contém uma alta quantidade de sólidos suspensos, gorduras, óleos e surfactantes, esses compostos possuem uma alta carga orgânica que dificulta sua biodegradação (PUYOL et al., 2011). Ao atingir a etapa de tratamento por lodo ativado o resíduo causa um aumento de microrganismos filamentosos, criando camadas de espuma nos tanques de aeração, a gordura e os óleos podem limitar a transferência de substratos solúveis e oxigênio para a biomassa (EL-GOHARY; TAWFIK; MAHMOUD, 2010).

A Resolução nº 430 de 2011 do CONAMA estabelece os padrões físico-químicos para os efluentes industriais para descartes em corpos d'água, conforme a tabela 3. Além disso, o Estado de São Paulo possui um decreto estadual próprio para regulamentar o descarte em redes públicas coletoras (CETESB, 2012; CONAMA, 2011).

Tabela 3 - Parâmetros de lançamento de efluentes

| Condições e padrões de lançamento de efluentes | |
|--|-----------------|
| Parâmetro | Valor |
| pH | 5 a 9 |
| Temperatura | Inferior à 40°C |
| Materiais sedimentáveis | Até 1 mg/L |
| Óleos e minerais | Até 20 mg/L |
| Óleos vegetais e animais | Até 50 mg/L |
| Materiais flutuantes | Ausentes |

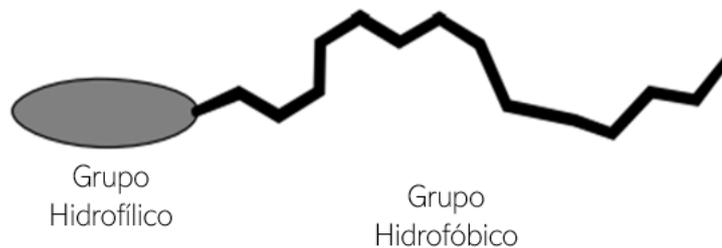
Fonte: CONAMA, 2011.

O Guia Técnico Ambiental da Indústria de HPPC aponta duas categorias de risco para ETEs, as substâncias refratárias e precursoras, as substâncias refratárias são aquelas que passam pelos sistemas de tratamento sem degradação, como os surfactantes, já as substâncias precursoras se degradam, mas podem dar origem à subprodutos tóxicos (CETESB, 2012).

1.2.4 Surfactantes

Surfactantes são utilizados em cosméticos com finalidade de limpeza, como shampoos, itens de limpeza facial e sabonetes. São categorizados como moléculas anfifílicas, ou seja, possuem em sua estrutura um lado com um grupo hidrofóbico e o outro com um grupo hidrofílico, conforme a figura 2. Essa característica única permite sua propriedade de limpeza, pois seu grupo hidrofóbico interage com as moléculas de gordura enquanto seu grupo hidrofílico interage com a água (WU et al., 2019).

Figura 2. Ilustração esquemática de um surfactante

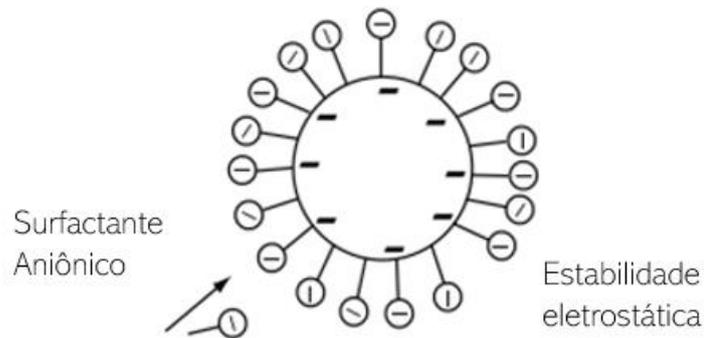


Fonte: HOLMBERG et al., 2002, traduzido.

O nome “Surfactante” vem da abreviação do termo em inglês “*Surface active agent*”, mas também podem ser chamados de tensoativos ou até mesmo generalizados como detergentes. A adsorção característica deste tipo de molécula, vêm da necessidade de diminuir a energia livre da fase em que está inserida, sendo a formação de espuma um subproduto desta adsorção (HOLMBERG et al., 2002).

A interação com os grupos hidrofóbicos e hidrofílicos do surfactante formam micelas, um conjunto de moléculas polares com alta solubilidade em água. Para isso ocorrer os grupos hidrofóbicos se direcionam para o interior do aglomerado de moléculas englobando o composto hidrofóbico, como óleos e manteigas, a carga hidrofílica permanece no lado externo da micela, a tornando solúvel em água (HOLMBERG et al., 2002).

Figura 3 - Micela de um surfactante aniônico



Fonte: HOLMBERG et al., 2002. Traduzido.

De acordo com Holmberg *et al.* (2002) não há uma opção universal de surfactante eficaz para todos os usos, é necessário avaliar de acordo com a aplicação. Para definir qual deverá ser utilizado considera-se sua solubilidade relativa ao solvente em que está sendo inserido (HOLMBERG et al., 2002).

Divididos em catiônicos, aniônicos e anfóteros, surfactantes iônicos são classificados de acordo com a carga de seu grupo polar. Surfactantes aniônicos representam 60% da produção mundial da categoria, sendo o Lauril Éter Sulfato de Sódio (SLES) o mais utilizado na indústria cosmética, com capacidade de dissociar íons negativamente carregados em solução (PAULO et al., 2017).

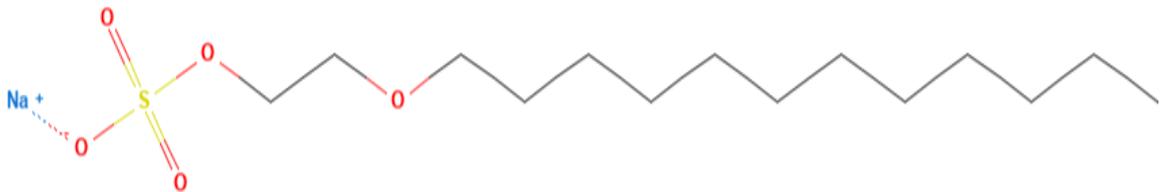
Aloui *et al.* (2009) encontrou concentrações de 3000 mg. L⁻¹ do SLES nos efluentes de uma planta cosmética, uma quantidade 10 vezes acima do valor necessário para formação de micelas e 3 vezes maior do que o permitido para o tratamento biológico de efluentes (ALOUÍ; KCHAOU; SAYADI, 2009; PAULO et al., 2017).

Ao atingir o meio ambiente aquático, têm a capacidade de destruir a membrana plasmática de microrganismos do meio e se fixar nas proteínas inibindo a atividade enzimática. Sua presença reduz a tensão superficial da água, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido no meio e a espuma formada por sua agitação se mantém na superfície da água diminuindo a quantidade de luz do ambiente (ALOUÍ; KCHAOU; SAYADI, 2009).

1.3.5 Lauril Éter Sulfato de Sódio

Lauril Éter Sulfato de Sódio (SLES) possui baixo custo e é um ótimo agente espumador, popularizado como substituto para o Lauril Sulfato de Sódio (SLS), sua versão não esterificada, possui menor potencial irritante quando em contato com a pele. Entretanto, estudos indicam que o uso prolongado do SLES pode causar irritabilidade a longo prazo (LÖFFLER; HAPPLE, 2003).

Figura 4 - Forma estrutural Lauril Éter Sulfato de Sódio SLES



Fonte: PUBCHEM, 2007.

Usualmente utilizado em produtos com alta viscosidade, possui alta solubilidade em água e é resistente a águas duras com altas concentrações de cálcio e magnésio. Sua alta solubilidade dificulta a retirada do poluente em estações de tratamento de água, assim como sua característica espumadora. Ele possui um grupo hidrofílico de sulfato e um grupo hidrofóbico em uma estrutura esterificada, conforme a figura 4 (PEROUKIDIS et al., 2021).

Estima-se que em sua biodegradação ocorram duas clivagens, nas funções éter e éster, conforme a figura 5.

- b. Biodegradação Final: O nível de biodegradação alcançado quando a amostra avaliada é completamente utilizada por micro-organismos resultando na produção de dióxido de carbono, água, sais minerais e biomassa.
- c. Biodegradação Imediata: Classificação de compostos químicos que sofrem a biodegradação final em pelo menos 60% de sua massa em até 28 dias. Assume-se que tais compostos irão se biodegradar rapidamente em ambientes aquáticos com condições aeróbicas.
- d. Biodegradação Inerente: Produtos que possuem evidência clara de Biodegradação Primária ou Final em qualquer teste de biodegradabilidade.

Em estudos de biodegradação de surfactantes é utilizado o conceito de Biodegradação Imediata, para determiná-la são estabelecidos 7 testes no Guia para Testes de Produtos Químicos da OCDE, são eles N° 301 A-F e no N° 310 (OCDE, 1992^a). Uma outra metodologia que pode ser utilizada é definida pela ISO (Organização Internacional de Normalização), a ISO 7875 normatiza testes de determinação de surfactantes com o auxílio do corante Azul de Metileno (ISO, 1996). Os 8 testes de relevância são explicados abaixo:

1. DOC Die-Away (301A):

Neste método uma quantidade estabelecida da substância é utilizada como fonte única de carbono orgânico em um meio mineral inoculado com os microrganismos estudados. Então avalia-se a quantidade de carbono orgânico dissolvido em intervalos frequentes durante um período de 28 dias utilizando a técnica MBAS (*methylene blue active substance*) descrita na ISO 7875. A taxa de biodegradação é calculada utilizando a mudança de concentração de carbono orgânico dissolvido no meio. Para realizá-lo é necessário que a substância avaliada não seja volátil e que ela tenha solubilidade em água de pelo menos 100mg/L (OCDE, 1992b).

2. CO₂ Evolution (301B):

Similar ao teste 301A, a substância de interesse é utilizada com fonte única de carbono no meio e não pode ser volátil. Neste caso avalia-se o aumento da

concentração de dióxido de carbono (CO₂) referente à respiração dos microrganismos durante a biodegradação por respirometria. O CO₂ é retido em uma solução de hidróxido de sódio ou de bário e sua concentração medida por titulação. A medição ocorre em intervalos frequentes durante 28 dias (OCDE, 1992b)

3. MITI (301C):

Diferente dos métodos anteriores, o teste 301C permite o estudo de substâncias voláteis e insolúveis, desde que sigam precauções. Substâncias insolúveis devem ser dispersas utilizando um material fino ou ultrassom, para substâncias voláteis o volume de gás “morto” no recipiente deve ser mínimo. O método avalia automaticamente o consumo de oxigênio utilizando um respirometro de sistema fechado, onde o dióxido de carbono produzido é retido e absorvido por uma mistura de Hidróxido de Cálcio e Hidróxido de Sódio (OCDE, 1992b).

4. Closed bottle (301D):

Esta metodologia também utiliza as técnicas de respirometria, neste caso para avaliar o oxigênio dissolvido no meio. Apesar de poder ser utilizada para substâncias voláteis e insolúveis, valores de biodegradação para substâncias insolúveis podem apresentar um resultado baixo não correspondente e para evitar é necessário que a solução seja agitada periodicamente. Neste caso avalia-se a quantidade de oxigênio utilizada pelos microrganismos durante a biodegradação por 28 dias.

5. Modified OECD Screening (301E):

Este método é similar ao 301A onde avalia-se o carbono orgânico dissolvido no meio, para isso a substância avaliada não pode ser volátil e deve possuir solubilidade em água de 100mg/L. O composto a ser degradado é utilizado como fonte única de carbono, o carbono orgânico dissolvido é medido frequentemente durante 28 dias. Sua grande diferença ao método 301A é a concentração de microrganismos utilizada, neste caso muito menor (OCDE, 1992b).

6. Manometric Respirometry (301F):

Muito similar ao método 301C, ambos respirometrias de consumo de oxigênio, pode ser utilizado para substâncias insolúveis e voláteis. Neste caso a determinação

é feita medindo a quantidade de oxigênio necessária para manter o volume de gás constante no respirometro ou pela mudança de volume e pressão no equipamento (OCDE, 1992b).

7. CO₂-Headspace Test (310):

A substância em teste é utilizada como fonte única de carbono e energia, incubada em um meio mineral com os microrganismos a serem avaliados. O teste é realizado em uma garrafa selada com espaço de ar (headspace) como reserva de oxigênio para a biodegradação aeróbica. O resultado é obtido pela medida de carbono inorgânico produzido no frasco comparada com o padrão contendo apenas o meio inoculado (OCDE, 2014).

8. ISSO 7875-1:1996:

Também conhecida como *Methylene Blue Active Substance* (MBAS), neste caso é identificada a quantidade de surfactante na amostra realizando a extração do mesmo com o corante Azul de Metileno e avaliando seu valor de absorbância com o auxílio de um espectrofotômetro, identificando a concentração do corante é possível calcular a concentração do surfactante na amostra (ISO, 1996). Isso ocorre pois o Azul de Metileno é uma molécula catiônica que forma um complexo solúvel em clorofórmio com certas classes de surfactantes aniônicos (KARSA; PORTER, 1995)

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar as diferentes metodologias utilizadas nos estudos de biodegradação do surfactante Lauril Éter Sulfato de Sódio proveniente de indústrias cosméticas, comparando-as com as definições da OCDE com a finalidade de identificar lacunas apresentadas nos ensaios e apontar possíveis demandas para novos estudos mais aprofundados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir critérios de seleção dos artigos sobre biodegradação de SLES desta revisão sistemática.

- Avaliar qualitativamente os textos selecionados de acordo com o periódico publicado e a metodologia utilizada.
- Comparar as metodologias utilizadas a fim de avaliar a confiabilidade dos dados encontrados.
- Identificar lacunas que afetam a criação de resoluções para remoção do SLES em águas contaminadas.
- Apontar demandas para realização de futuros estudos.

3. METODOLOGIA

3.1 Pesquisa

A base de dados de Periódicos Capes e o Science Direct foram utilizados como bancos de dados para o desenvolvimento deste trabalho, disponíveis de forma gratuita para professores, pesquisadores e alunos de instituições federais de ensino superior. Os portais são de fácil utilização e possuem alta gama de filtros disponíveis para selecionar os artigos. Para complementar a trabalho foram avaliados periódicos pelo mecanismo de pesquisa do Google Acadêmico e Scopus.

Foram realizadas buscas com os descritores “*biodegradation SLES industrial wastewater*”, “*biodegradation sodium laureth sulfate*” e “*biodegradation SLES*”. O uso dos termos em inglês se deu pela baixa quantidade de trabalhos disponíveis na língua portuguesa. Foram excluídos artigos de revisão, livros ou trabalhos acadêmicos.

3.2 Seleção dos estudos

Os trabalhos foram extraídos para uma planilha utilizando o software Harzing’s Publish or Perish versão 8.8, com exceção das buscas realizadas na base de Periódicos Capes que foram extraídas manualmente. Na planilha os artigos duplicados foram identificados e removidos, aqueles que não tratavam do tema foram excluídos por verificação manual de título e palavras-chave, ou seja, artigos que não abordavam a biodegradação do surfactante Lauril Éter Sulfato de Sódio em efluentes industriais foram excluídos.

A seleção dos estudos foi baseada no fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses*). Desenvolvido em 2009

para normatizar a realização de revisões sistemáticas e meta-análises, ele consiste em 4 fases: Identificação, Seleção, Elegibilidade e Inclusão (MOHER et al., 2009).

3.3 Avaliação Quantitativa

Apesar do alto número de estudos sobre a biodegradação de surfactantes, são poucos aqueles que avaliam o Lauril Éter Sulfato de Sódio (SLES), apesar de seu amplo uso na indústria cosmética, conforme a tabela 4.

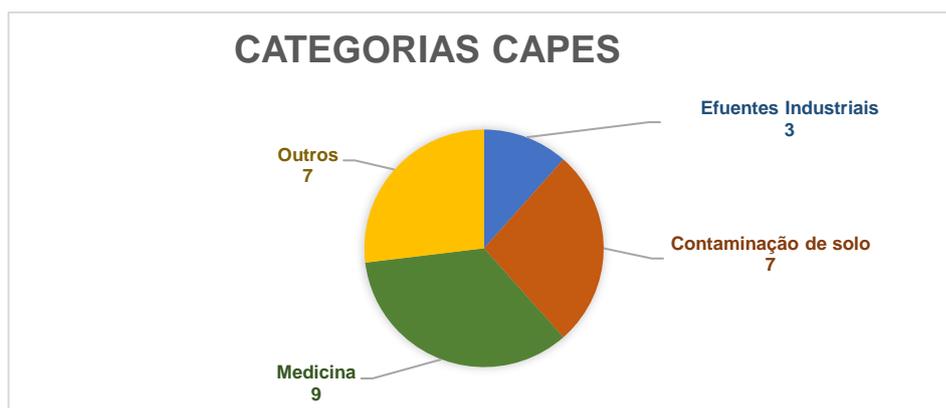
Tabela 4 - Dados quantitativos da busca na Base de Periódicos Capes

| Busca | Resultados | Idiomas |
|---|------------|--------------------|
| “Biodegradation” “Surfactants” | 2.634 | Inglês e português |
| “Biodegradation” “surfactants” “cosmetics” | 79 | Inglês |
| “Biodegradation” “SLES” | 26 | Inglês |

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Dos 26 estudos descritos por “Biodegradação” e “SLES”, apenas 3 se referem à efluentes industriais, 9 tratam de estudos médicos não relacionados com o tema, 7 sobre contaminação de solo e 7 sobre temas diversos fora dos parâmetros deste trabalho.

Figura 6 - Divisão de temas da busca “Biodegradation SLES” na Base de Periódicos Capes. (A categoria “Outros” inclui pesquisas sobre toxicidade, poluição, biosurfactantes e análises de eficácia)



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

A baixa quantidade de artigos encontrados na Base de Periódicos Capes referentes à biodegradação do surfactante Lauril Éter Sulfato de Sódio proveniente de efluentes cosméticos não pode ser considerada representativa para um tema tão amplo. Para aumentar a população avaliada foram utilizados os mesmos termos e

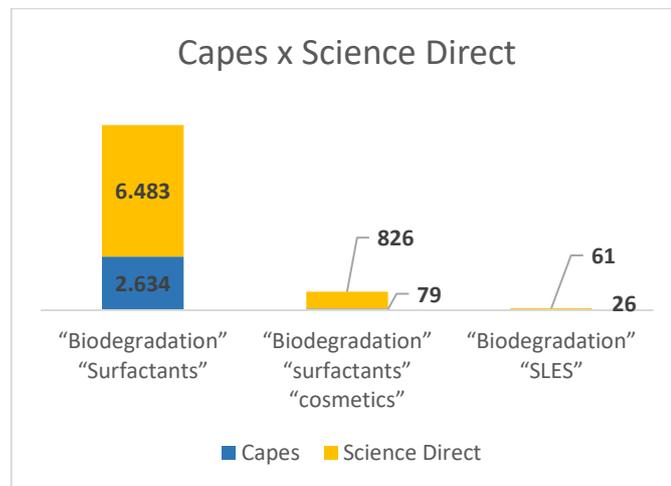
critérios de busca na base de dados Science Direct mantido pela Elsevier. Onde a quantidade de artigos encontrados triplicou.

Tabela 5 - Dados quantitativos da busca na base de dados Science Direct

| Busca | Resultados | Idiomas |
|---|------------|--------------------|
| “Biodegradation” “Surfactants” | 6.483 | Inglês e português |
| “Biodegradation” “surfactants” “cosmetics” | 826 | Inglês |
| “Biodegradation” “SLES” | 61 | Inglês |

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

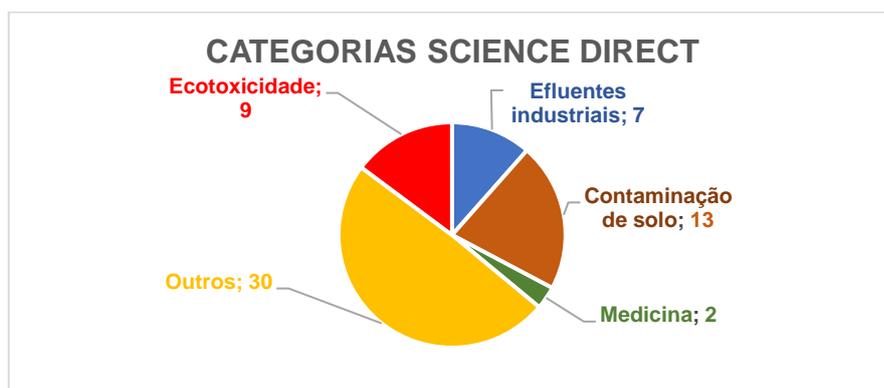
Figura 7 - Comparação quantitativa de artigos – Capes x Science Direct.



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Ao avaliar os 61 artigos da busca “Biodegradation” “SLES” na base de dados Science Direct quatro categorias se destacaram: efluentes industriais, contaminação de solo, medicina e eco toxicidade, conforme o gráfico 2.

Figura 8 - Divisão de temas da busca “Biodegradation SLES” na base de dados Science Direct. (A categoria “outros” inclui trabalhos sobre solubilidade, detecção, poluição e extração)



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Nota-se que apesar do aumento no número total de artigos da busca, o percentual de artigos relacionados à biodegradação do surfactante em efluentes industriais ainda é baixa. A base de dados Science Direct apresentou maior não conformidade com os termos pesquisados, comprovado pelo aumento de estudos categorizados como “outros”.

O mecanismo de busca Google Acadêmico e a base de dados Scopus também foram consultados a fim de representar uma maior parcela dos estudos sobre o tema, delimitando resultados para artigos que possuíam os termos “Biodegradation” ou “SLES” como parte do título ou no resumo, os projetos duplicados entre os 4 bancos de dados foram removidos com o auxílio da planilha mencionada anteriormente.

3.4 Avaliação Qualitativa

Dos estudos categorizados como “Efluentes industriais” foram selecionados aqueles referentes à biodegradação publicados em periódicos com classificação Qualis A1, A2 ou A3 de acordo com a plataforma Qualis Web Sucupira - nas categorias “Ciências Biológicas I” e “Ciências Biológicas II” - e classificação Quartis Q1 ou Q2 de acordo com as informações do portal *Web of Science Journal Info*.

Estes foram avaliados na íntegra e selecionados de acordo com a lista de exigências exposta no Anexo 1, desenvolvida pela autora com fundamentação no documento de avaliação crítica de prevalência do Joanna Briggs Institute para melhor atender as características da revisão sistemática em questão (THE JOANNA BRIGGS INSTITUTE, 2017). Foram considerados os testes de biodegradabilidade da OCDE como as metodologias padrões para análise.

3.4.1 Padrões de Biodegradabilidade

Os padrões de biodegradabilidade foram avaliados de acordo com a definição de Biodegradação Imediata pela OCDE, preferível para produtos cosméticos devido ao seu menor impacto ambiental (OCDE, 1992a). A aplicabilidade dos testes desenvolvidos pela sobre o tema e sua metodologia são apresentadas na Tabela 3. Como o surfactante não possui alta volatilidade ou baixa solubilidade, os 7 testes podem ser empregados na avaliação da biodegradação do Lauril Éter Sulfato de Sódio.

Tabela 6 - Biodegradabilidade imediata

| Teste | Método | Adequado para compostos que possuem: | | |
|--|--|--------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| | | Baixa solubilidade | Alta volatilidade | Alta capacidade de adsorção |
| DOC Die-Away (301A) | Carbono Orgânico Dissolvido | - | - | +/- |
| CO ₂ Evolution (301B) | Respirometria: Evolução de CO ₂ | + | - | + |
| MITI (I) (301C) | Respirometria: Consumo de Oxigênio | + | +/- | + |
| Closed Bottle (301D) | Respirometria: Oxigênio Dissolvido | +/- | + | + |
| Modified OECD Screening (301E) | Carbono Orgânico Dissolvido | - | - | +/- |
| Manometric Respirometry (301F) | Consumo de Oxigênio | + | +/- | + |
| CO ₂ - Headspace test (310) | Carbono Inorgânico | - | + | + |

Fonte: OCDE, 1992a.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

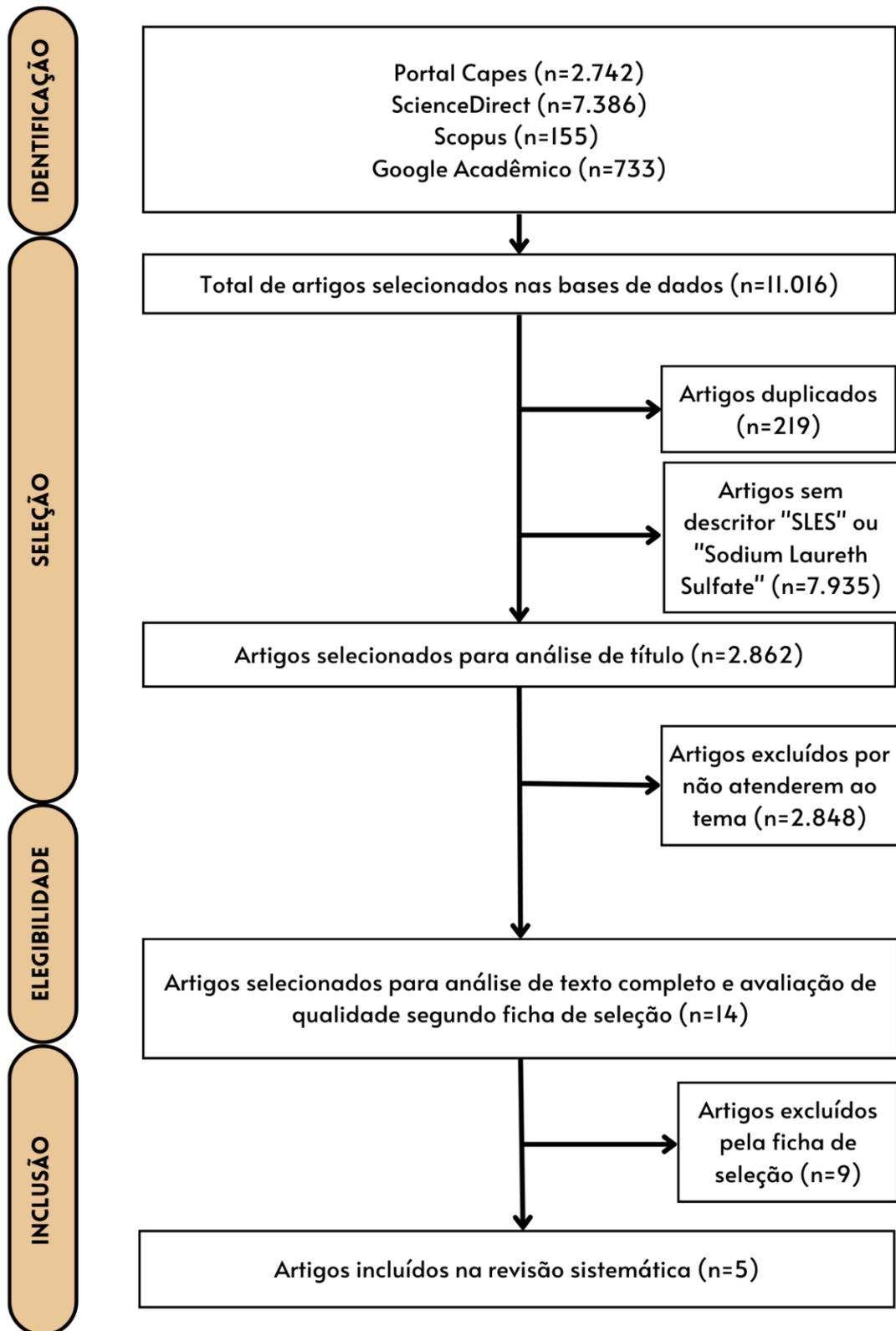
4.1 Seleção de trabalhos

4.1.1 Fluxograma de Seleção

Utilizando o fluxograma do guia PRISMA, que estabelece boas práticas de desenvolvimento de revisões sistemáticas, a seleção de artigos foi estabelecida conforme a figura 6.

Apesar da grande quantidade de artigos encontrados nas buscas (11.016 estudos), apenas 5 foram selecionados para esta revisão sistemática. Isso se dá pelo fato de que muitos resultados da busca apresentavam não conformidade com o tema escolhido ou não atingiam a qualidade exigida para avaliação. Embora o Lauril Éter Sulfato de Sódio (SLES) ser popularmente utilizado em diversos produtos, não existem muitos estudos sobre sua biorremediação nos portais utilizados, por isso a necessidade de avaliar a qualidade dos resultados apresentados.

Figura 6 - Fluxograma PRISMA



Fonte: Elaborado pela autora, 2023; adaptado de HARRIS et al., 2014.

4.2 Artigos excluídos pela ficha de seleção

Foram excluídos 4 artigos pela ficha de seleção, descritos na tabela 7. Caracciolo (2019) trata sobre surfactante Lauril Éter Sulfato de Sódio, mas sua pesquisa tinha como referência descartes de escavação mecanizada, os testes de biodegradação foram conduzidos com amostras de solo, apesar da metodologia ser similar não é comparável ao estudo de amostras líquidas. Cheng (2018) foi descartado por não trabalhar com metodologias definidas pela OCDE ou pela ISO 7875. Chen (2019) chegou na etapa final, mas durante a leitura do texto completo foi detectado que os autores não trabalharam com o SLES. Khleifat (2006) foi removido por questões qualitativas, visto que a classificação Quartis do periódico em que foi publicado é Q4.

Tabela 7 - Artigos excluídos pela ficha de seleção

| Primeiro autor (ano) | Motivo do descarte |
|--------------------------|---------------------------------------|
| (CARACCILO et al., 2019) | Não trata sobre efluentes cosméticos |
| (CHENG, 2018) | Não utiliza as metodologias definidas |
| (CHEN, 2019) | Não trata do surfactante SLES |
| (KHLEIFAT, 2006) | Qualis Q4 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

4.3 Métodos de análise de biodegradação

A tabela 8 apresenta a análise de biodegradação utilizada em cada artigo. Os estudos de Dhouib (2003) e (2005) utilizam a Norma Técnica NT 01-28 de 1983 da Tunísia, muito similar à ISO 7875 e por isso foram considerados para este trabalho.

Tabela 8 - Estudos selecionados e seus métodos de biodegradação.

| N° | Primeiro autor e ano | Classificação Qualis | Classificação Quartis | Método de análise de biodegradação |
|----|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 1 | (DHOUIB, 2003) | Q2 | A3 | NT 01-28 * |
| 2 | (DHOUIB, 2005) | Q2 | A3 | NT 01-28 * |
| 3 | (KARRAY, 2016) | Q2 | A1 | MITI |
| 4 | (PAULO, 2017) | Q1 | A2 | DOC Die-Away |
| 5 | (FEDEILA, 2018) | Q1 | A1 | ISO 7875 |

Fonte: (Elaborado pela autora, 2023). *Similar a ISO 7875.

Fedeila (2018) e Dhouib (2003; 2005) optaram por avaliar a biodegradação de acordo com a diminuição da concentração do surfactante na amostra, conforme o método da ISO 7875 de 1996. Entretanto, o documento da metodologia comunica que falsos resultados podem ocorrer dependendo da composição da amostra avaliada,

caso a amostra do efluente possua surfactantes catiônicos, proteínas ou amônias quaternárias além do SLES pode ocorrer a formação de complexos, apresentando uma menor concentração do surfactante aniônico do que o valor real (ISO, 1996).

Estudos de degradação avaliados por técnicas indiretas como a MBAS podem apresentar resultados inconsistentes quando comparados com estudos respirométricos como o MITI, um método relativamente fácil de ser replicado em laboratório e aplicável para análises de biodegradação de surfactantes. Estudos como o de Fedeila (2017) e Dhouib (2003; 2005) obtiveram resultados promissores, mas com menor confiabilidade devido ao método escolhido. Reproduzindo os testes utilizando métodos 301C ou 301D este problema poderia ser sanado.

Em 1995 Karsa e Porter (1995) já traziam críticas ao método MBAS utilizado na ISO 7875. Os autores explicam que conforme a molécula é degradada, os grupos finais se tornam mais hidrofílicos e não interagem com o clorofórmio da mesma forma, apontam que um alto nível de degradação por MBAS não resulta necessariamente em um alto nível de mineralização do composto orgânico. Wuhrmann e Mechsner também apontaram estas falhas em seu artigo publicado em 1974 (KARSA; PORTER, 1995; WUHRMANN; MECHSNER, 1974).

As informações contra o uso da metodologia precedem os artigos de Fedeila (2018) e Dhouib (2003; 2005) em pelo menos 8 anos, tendo Wuhrmann e Mechsner publicado 49 anos antes dos estudos de Fedeila (2018), cabe questionar por qual motivo as preocupações levantadas anteriormente não foram levadas em consideração pelos autores ao definir seu método de análise de biodegradação, afetando drasticamente a confiabilidade de seus resultados.

Paulo (2017) e Karray (2016) obtiveram resultados promissores com bactérias *Pseudomonas* utilizando métodos de análise estabelecidos pela OCDE. Sua grande diferença encontra-se na confiabilidade do método. O uso de um respirômetro conforme o teste MITI tem a vantagem de ser um parâmetro biológico direto da biodegradação aeróbica, enquanto o método DOC Die-Away avalia apenas a quantidade de carbono dissolvido no meio ainda baseado no conceito MBAS com o auxílio do azul de metileno, levando à uma conclusão indireta de que aquele carbono foi biodegradado pelos microrganismos (REUSCHENBACH; PAGGA; STROTMANN,

2003). Novamente no artigo de Karray (2016) percebe-se a influência da metodologia de análise de biodegradação escolhida na confiança dos resultados.

Dos 5 estudos presentes nesta revisão sistemática, 4 utilizaram uma técnica baseada na interação MBAS, apesar de estudos prévios apontando as falhas da metodologia. Em 11.016 artigos, foi encontrado apenas 1 estudo de biodegradação do Lauril Éter Sulfato de Sódio com técnicas respirométricas, algo que poderia ser justificado se a respirometria MITI fosse um método caro ou de alta complexidade, o que não é o caso.

É preocupante a falta de estudos com resultados confiáveis e traz à discussão não só a qualidade do referencial teórico dos autores avaliados, mas também a incoerência da publicação destes artigos em periódicos de qualidade alta. Questionando também a contradição entre a qualificação de periódicos Qualis realizada pela Capes e a qualificação por quartil utilizada internacionalmente, um exemplo são os estudos de Karray (2016) classificado como A1 no Brasil – a categoria mais alta – e apenas Q2 internacionalmente.

Vale salientar que apesar de ser utilizado como característica classificatória para periódicos, a Capes argumenta que o Qualis não é uma base de indexação de periódicos ou uma classificação absoluta de revistas científicas e não corresponde à uma avaliação de desempenho individual de pesquisadores (CAPES, 2014). O mecanismo foi criado com a finalidade de avaliação dos programas de pós-graduação *stricto sensu* aos quais os periódicos estão vinculados (GABARDO; HACHEM; HAMADA, 2018). Por isto este trabalho também levou em consideração a classificação por quartil.

4.4 Características dos estudos selecionados

A tabela 9 foi construída para reunir características similares entre os artigos estudados nesta revisão sistemática. A primeira semelhança é vista quando avaliamos os locais onde as pesquisas foram estabelecidas, sendo três delas na cidade de Sfax na Tunísia, os estudos de Dhouib (2003; 2005) e Karray (2016) foram desenvolvidos no Laboratório de Bioprocessos da Universidade de Sfax. Durante a leitura destes textos completos foi possível notar a linearidade entre os estudos, onde Karray (2016) utilizou os resultados encontrados por Dhouib (2003; 2005) com a bactéria *Citrobacter*

braaki e o mesmo biorreator enriquecido com o microrganismo para isolar as novas linhagens bacterianas avaliadas em seu trabalho.

Apesar de ser pequena, a Tunísia foi identificada como o primeiro país a desenvolver a indústria farmacêutica na África, movimentando cerca de 1.3 bilhões de dólares em 2020, o que auxiliou para que o laboratório de Sfax tivesse a oportunidade de utilizar efluentes cosméticos da fábrica *Cosmart* para viabilizar seu biorreator (DOURAI, 2016; GRAND VIEW RESEARCH, 2020). De qualquer forma, é crítico o fato de que foi encontrado apenas 1 trabalho desenvolvido na Europa e nenhum nos Estados Unidos ou China, ambos líderes no mercado cosmético mundial movimentando respectivamente 90.9 e 73.3 bilhões de dólares (ABIHPEC, 2021).

Tabela 9 - Características dos estudos selecionados

| Nº | Primeiro autor e ano | Cidade (País) | Microrganismos estudados | Condições do estudo |
|----|----------------------|----------------------------|---|------------------------|
| 1 | Dhouib (2003) | Sfax (Tunísia) | <i>Citrobacter braakii</i> | Aeróbico; pH 7,0; 30°C |
| 2 | Dhouib (2005) | Sfax (Tunísia) | <i>Citrobacter braakii</i> | Aeróbico; pH 7,0; 30°C |
| 3 | Karray (2016) | Sfax (Tunísia) | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Pseudomonas stutzeri</i> <i>Bacillus pumilus</i> <i>Staphylococcus arlettae</i> | Aeróbico; pH 7,0; 30°C |
| 4 | Paulo (2017) | Wageningen (Países Baixos) | <i>Aeromonas hydrophila</i> <i>Pseudomonas stutzeri</i> <i>Pseudomonas nitroreducens</i> | Anóxico; pH 7,3; 30°C |
| 5 | Fedeila (2018) | Algiers (Argélia) | <i>Alcaligenes faecalis</i> , <i>Enterobacter cloacae</i> <i>Serratia marcescens</i> | Aeróbico; pH 7,0; 30°C |

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Diferenças nas legislações locais podem ser a causa da evidência dos artigos na África, visto que as estruturas regulatórias de cada país são tão diferentes que tornam praticamente impossível que o mesmo produto seja vendido em todos os mercados (SALVADOR; CHISVERT, 2007). Entretanto, ao trabalhar em um grupo cosmético multinacional, a autora notou que o surfactante Lauril Éter Sulfato de Sódio é utilizado em marcas vendidas internacionalmente, movimentando US\$1.4 bilhões mundialmente em 2021 (TRANSPARENCY MARKET RESEARCH, 2022).

Evidenciando a criticidade da baixa quantidade de materiais disponíveis para realização desta revisão sistemática.

4.5 Condições de pH e temperatura

Todos os estudos avaliados foram conduzidos em pH 7. Considerando que o CONAMA (2011) estabelece os limites de pH para despejo de efluentes entre 5,0 e 9,0 seria interessante entender a performance das bactérias estudadas em diferentes pH, algo que não foi estudado por nenhum dos autores, apesar da variedade de composições que um efluente industrial cosmético pode possuir (CONAMA, 2011). Além disso, a avaliação de temperatura em condições ideais de 30°C não é representativa para a temperatura de estações de tratamento de água, principalmente quando se considera o trabalho de Paulo (2017) conduzido nos Países Baixos. Não é possível ter uma visão real sobre o potencial de biodegradação destes microrganismos sem avaliá-los em diversas condições de pH e temperatura.

Ao estudar o efeito das condições ambientais na biodegradação do surfactante Alquilbenzeno Sulfonato Linear (LAS), Asok e Jisha (2012) notaram que a temperatura ideal de funcionamento da bactéria *Pseudomonas aeruginosa* está entre 20°C e 25°C (ASOK; JISHA, 2012). Como o LAS também é um surfactante com sulfato e tanto Karray (2016) quanto Paulo (2017) trabalharam com microrganismos do gênero *Pseudomonas*, vemos uma oportunidade perdida de conduzir os ensaios em uma maior faixa de temperatura, algo que traria proximidade às condições reais e pode melhorar a eficácia dos microrganismos na biodegradação destes compostos.

4.6 Consórcio de bactérias

Fedeila (2018) foi o único a avaliar o potencial de biodegradação dos microrganismos como um consórcio, seus resultados foram positivos e demonstraram valores maiores do que quando comparados com ensaios individuais. É necessário entender a interação entre as espécies de bactérias capazes de biodegradar para que o resultado seja aplicável a situações reais fora do laboratório. Karray (2016) detectou 4 tipos de microrganismos eficientes contra o SLES em um biorreator e não os avaliou em conjunto, algo que mostra uma falta de planejamento e de pesquisa prévia dos autores, nos levando novamente à incoerência de estudos com lacunas tão evidentes publicados em periódicos classificados como de alta qualidade.

Isto pode ter ocorrido pela falta de estudos sobre a biorremediação do SLES para que os autores utilizassem de referência. Entretanto, em 1991 Jimenez e colaboradores já traziam ensaios de biodegradação de surfactantes com sulfatos utilizando consórcios de bactérias (JIMENEZ et al., 1991).

Estações de tratamento de esgoto dispõem de uma população mista de microrganismos, estudos de biodegradação que investigam consórcios podem avaliar a interação de diferentes bactérias durante o processo de degradação. Paulo (2018) e Karray (2016) tem a oportunidade de melhorar seus resultados avaliando a degradação das três famílias de bactérias em conjunto, simulando condições reais de uma ETE.

Ao avaliar a biodegradação do surfactante Dodecilbenzeno Sulfonato de Sódio Peressutti e colaboradores (2008) apontaram que o uso de um consórcio aumenta o percentual de mineralização, justificando que diferentes gêneros de bactéria podem quebrar simultaneamente funções diferentes de um determinado composto (PERESSUTTI et al., 2008). O mesmo foi constatado ao avaliar a biodegradação de outros compostos, como corantes reativos e solo contaminado com petróleo (GOJGIC-CVIJOVIC et al., 2012; SARATALE et al., 2010).

5.0 CONCLUSÃO

A Base de Periódicos Capes possui mais de 50 mil periódicos com texto completo e 455 bases de dados de conteúdos diversos, entretanto a busca por artigos relevantes ao tema resultou em uma quantidade não satisfatória e não representativa (CAPES, 2017). Ao realizar a busca na base de dados Science Direct os resultados totais triplicaram, mas foram encontrados apenas 7 artigos referentes à efluentes industriais, apesar do crescimento do consumo de HPPC nos últimos dez anos. Para garantir a sustentabilidade da indústria, há a necessidade de novos estudos de biodegradação para efluentes industriais cosméticos, principalmente avaliando um de seus principais tensoativos, o Lauril Éter Sulfato de Sódio.

São estabelecidas 3 lacunas que podem ser trabalhadas em outras pesquisas. A primeira aborda o uso de uma metodologia com confiabilidade não satisfatória, como é o caso da ISO 7875, criada apenas para determinar a quantidade de um surfactante em uma amostra e não realizar estudos de biodegradação. A segunda aborda a falta

de estudos em condições diferentes das ideais, o que traz um cenário não fiel à realidade de tratamento de efluentes industriais. A terceira aborda o uso dos microrganismos de forma individual contra o uso em consórcio, que pode ser avaliado em estudos futuros para possivelmente aumentar a capacidade de biorremediação.

Caso houvessem mais estudos de referência para a biorremediação do SLES, os autores poderiam estruturar melhor suas metodologias e garantir a confiabilidade de seus resultados. Esta revisão sistemática serve de atenção sobre a necessidade de novos estudos sobre o tema. Para resolução de problemas ambientais e tomadas de decisão é imprescindível que sejam conduzidos ensaios de maior complexidade metodológica, com parâmetros de pH e temperatura variados, uma maior representatividade ambiental e maior detalhamento das rotas metabólicas da biodegradação apresentada

REFERÊNCIAS

- ABIHPEC. **Panorama do Setor de HPPC 2021**. Disponível em: <https://abihpec.org.br/site2019/wp-content/uploads/2022/02/Panorama_do_Setor_Atualizado_Dezembro-1.pdf>. Acesso em: 19 set. 2022.
- ABIHPEC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE HIGIENE PESSOAL, P. E C. A **Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos - Essencial para o Brasil**. Disponível em: <<https://abihpec.org.br/publicacao/panorama-do-setor-2021/>>. Acesso em: 28 jan. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RESOLUÇÃO - RDC Nº 211, DE 14 DE JULHO DE 2005. Dispõe sobre. Ministério da Saúde** Brasília, 2005. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0211_14_07_2005.html>. Acesso em: 19 set. 2022
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). RDC Nº 752, DE 19 DE SETEMBRO DE 2022. . 19 jul. 2022.
- ALLOUI, F.; KCHAOU, S.; SAYADI, S. Physicochemical treatments of anionic surfactants wastewater: Effect on aerobic biodegradability. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, n. 1, p. 353–359, 15 maio 2009.
- ASOK, A. K.; JISHA, M. S. Biodegradation of the anionic surfactant linear alkylbenzene sulfonate (LAS) by autochthonous pseudomonas sp. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 223, n. 8, p. 5039–5048, 19 set. 2012.
- CAPES. **Sobre a Avaliação**. Disponível em: <<https://www.gov.br/capes/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/avaliacao/sobre-a-avaliacao/avaliacao-o-que-e/sobre-a-avaliacao-conceitos-processos-e-normas/conceito-avaliacao>>. Acesso em: 23 mar. 2023.
- CAPES. **Carta de Serviços - Portal de Periódicos CAPES**. Disponível em: <<https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/documentos/carta-de-servicos/PortalPeridicos.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2023.
- CARACCILO, A. et al. Assessment of biodegradation of the anionic surfactant sodium lauryl ether sulphate used in two foaming agents for mechanized tunnelling excavation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 365, p. 538–545, 5 mar. 2019.
- CETESB. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos**. São Paulo: [s.n.].
- CHEN, Y. et al. Microbial community assembly in detergent wastewater treatment bioreactors: Influent rather than inoculum source plays a more important role. **Bioresource Technology**, v. 287, p. 121467, 1 set. 2019.
- CHENG, Z. et al. Enhancement of surfactant biodegradation with an anaerobic membrane bioreactor by introducing microaeration. **Chemosphere**, v. 208, p. 343–351, 1 out. 2018.
- CIZMAS, L. et al. Pharmaceuticals and personal care products in waters: occurrence, toxicity, and risk. **Environmental Chemistry Letters** 2015 13:4, v. 13, n. 4, p. 381–394, 26 ago. 2015.
- CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). RESOLUÇÃO Nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011. . 13 maio 2011.
- DHOUIB, A. et al. Degradation of anionic surfactants by *Citrobacter braakii*. **Process Biochemistry**, v. 38, n. 8, p. 1245–1250, 28 mar. 2003.
- DHOUIB, A. et al. Large scale application of membrane bioreactor technology for the treatment and reuse of an anionic surfactant wastewater. **Process Biochemistry**, v. 40, n. 8, p. 2715–2720, 1 jul. 2005.

- DOURAI, R. A. **Dialogue boosts competitiveness of Tunisia's pharmaceutical sector**. Disponível em: <<https://blogs.worldbank.org/arabvoices/dialogue-tunisia-pharmaceutical>>. Acesso em: 21 mar. 2023.
- EL-GOHARY, F.; TAWFIK, A.; MAHMOUD, U. Comparative study between chemical coagulation/precipitation (C/P) versus coagulation/dissolved air flotation (C/DAF) for pre-treatment of personal care products (PCPs) wastewater. **Desalination**, v. 252, n. 1–3, p. 106–112, 1 mar. 2010.
- FEDEILA, M. et al. Biodegradation of anionic surfactants by *Alcaligenes faecalis*, *Enterobacter cloacae* and *Serratia marcescens* strains isolated from industrial wastewater. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 163, p. 629–635, 2018.
- GABARDO, E.; HACHEM, D. W.; HAMADA, G. Sistema Qualis: análise crítica da política de avaliação de periódicos científicos no Brasil. **Revista do Direito**, v. 1, n. 54, p. 144–185, 8 jan. 2018.
- GOJGIC-CVIJOVIC, G. D. et al. Biodegradation of petroleum sludge and petroleum polluted soil by a bacterial consortium: A laboratory study. **Biodegradation**, v. 23, n. 1, p. 1–14, 22 fev. 2012.
- HARRIS, J. D. et al. How to write a systematic review. **The American journal of sports medicine**, v. 42, n. 11, p. 2761–2768, 8 nov. 2014.
- HOLMBERG, K. et al. **SURFACTANTS AND POLYMERS IN AQUEOUS SOLUTION**. 2. ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2002.
- ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **ISO 7875-1:1996 - Water quality: Determination of surfactants — Part 1: Determination of anionic surfactants by measurement of the methylene blue index (MBAS)**. , 1996. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/24784.html>>. Acesso em: 16 mar. 2023
- JIMENEZ, L. et al. Mineralization of Linear Alkylbenzene Sulfonate by a Four-Member Aerobic Bacterial Consortium. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 57, n. 5, p. 1566–1569, 1991.
- KARRAY, F. et al. Scale-down studies of membrane bioreactor degrading anionic surfactants wastewater: Isolation of new anionic-surfactant degrading bacteria. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 114, p. 14–23, 1 out. 2016.
- KARSA, D. R.; PORTER, M. R. **Biodegradability of Surfactants**. 1. ed. [s.l: s.n.].
- KHLEIFAT, K. M. Biodegradation of sodium lauryl ether sulfate (SLES) by two different bacterial consortia. **Current microbiology**, v. 53, n. 5, p. 444–448, nov. 2006.
- KRISHNAN, R. Y. et al. Removal of emerging micropollutants originating from pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water and wastewater by advanced oxidation processes: A review. **Environmental Technology and Innovation**, v. 23, p. 1–21, 1 ago. 2021.
- LÖFFLER, H.; HAPPLE, R. Profile of irritant patch testing with detergents: sodium lauryl sulfate, sodium laureth sulfate and alkyl polyglucoside. **Contact Dermatitis**, v. 48, n. 1, p. 26–32, 1 jan. 2003.
- MELO, E. D. DE; MOUNTEER, A. H. PANORAMA DA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS E EFLUENTES LÍQUIDOS GERADOS. **Sustentare**, v. 1, n. 1, p. 131–151, 20 fev. 2018.
- MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **BMJ**, v. 339, n. 7716, p. 332–336, 21 jul. 2009.
- OCDE. OECD GUIDELINE FOR TESTING OF CHEMICALS. n. 301, p. 1–62, 1992a.
- OCDE. Test No. 301: Ready Biodegradability. Em: **OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 3**. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 3. [s.l.] OECD, 1992b. p. 1–62.
- OCDE. Test No. 310: Ready Biodegradability - CO₂ in sealed vessels (Headspace Test). OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 3. 26 set. 2014.

PAULO, A. M. S. et al. Sodium lauryl ether sulfate (SLES) degradation by nitrate-reducing bacteria. **Appl Microbiol Biotechnol**, n. 101, p. 5163–5173, 2017.

PERESSUTTI, S. R. et al. Degradation of linear alkylbenzene sulfonate by a bacterial consortium isolated from the aquatic environment of Argentina. **Journal of Applied Microbiology**, p. 476–484, 2008.

PEROUKIDIS, S. D. et al. Molecular simulation of the morphology and viscosity of aqueous micellar solutions of sodium lauryl ether sulfate (SLEnS). **Journal of Physics: Materials**, v. 4, n. 4, p. 044001, 14 jun. 2021.

POMPEI, C. M. E. et al. Occurrence of PPCPs in a Brazilian water reservoir and their removal efficiency by ecological filtration. **Chemosphere**, v. 226, p. 210–219, 1 jul. 2019.

PUBCHEM. **Sodium laureth sulfate | C14H29NaO5S - PubChem**. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-laureth-sulfate>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

PUYOL, D. et al. Cosmetic wastewater treatment by upflow anaerobic sludge blanket reactor. **Journal of Hazardous Materials**, v. 185, n. 2–3, p. 1059–1065, 30 jan. 2011.

REUSCHENBACH, P.; PAGGA, U.; STROTMANN, U. A critical comparison of respirometric biodegradation tests based on OECD 301 and related test methods. **Water Research**, v. 37, n. 7, p. 1571–1582, 1 abr. 2003.

SALVADOR, A.; CHISVERT, A. **Analysis of Cosmetic Products**. 1. ed. Espanha: [s.n.].

SARATALE, R. G. et al. Decolorization and biodegradation of reactive dyes and dye wastewater by a developed bacterial consortium. **Biodegradation**, v. 21, n. 6, p. 999–1015, 21 nov. 2010.

THE JOANNA BRIGGS INSTITUTE. Checklist for Prevalence Studies. Em: **The Joanna Briggs Institute Critical Appraisal tools for use in JBI Systematic Reviews**. [s.l.: s.n.]. p. 2–7.

TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. **Sodium Lauryl Ether Sulfate [SLES] Market Overview**. Disponível em: <<https://www.transparencymarketresearch.com/sodium-lauryl-ether-sulfate-sles-market.html>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

GRAND VIEW RESEARCH. **Tunisia Pharmaceutical Market Size Report, 2021-2028**. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/tunisia-pharmaceutical-market>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

WU, Q. et al. Research progress of surfactant biodegradation. **IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci**, v. 227, p. 1–11, 2019.

WUHRMANN, K.; MECHSNER, K. Testing the biodegradability of Organic Compounds. **EAWAG**, p. 1–6, set. 1974.

ANEXOS**Anexo 1. Ficha de seleção**

| |
|--|
| FICHA DE SELEÇÃO PARA REVISÃO SISTEMÁTICA |
|--|

Avaliador Data

Título

Autor Periódico

Classificação Qualis do periódico AI A2 B1 B2 B3 B4 B5 C

Classificação Quartis do periódico Q1 Q2 Q3 Q4

| | Sim | Não | Não está claro |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Se trata de um artigo de pesquisa? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. O estudo avalia a biodegradação a partir de amostras de efluentes industriais? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Foi utilizado um método de biodegradação validado? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. O número de amostras avaliadas foi adequado? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Possui análise estatística apropriada? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Decisão final: Incluir Excluir Buscar mais informações

Comentários:



ANEXO 07

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA, MATEMÁTICA E EDUCAÇÃO CCA - UFSCar

Disciplina: Monografia II

BANCA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

Aluno(a) avaliado(a): Giulia De Pinho Del'Labon

Título do trabalho: A biorremediação do Lauril Éter Sulfato de Sódio presente em efluentes de Indústrias Cosméticas: uma revisão sistemática

Data e horário da apresentação: 4 de abril de 2023, 14h00

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO:

- a) Envolvimento do aluno na elaboração do trabalho (nota atribuída pelo orientador); até 2 (dois); Nota 2,0
- b) Versão escrita definitiva da Monografia (orientador e banca); até 4 (quatro); Média da banca 3,5
- c) Apresentação e defesa oral da Monografia (orientador e banca); até 4 (quatro). Média da banca 4,0
- d) A nota final dos itens b e c será obtida a partir da média aritmética das notas atribuídas pelos diferentes integrantes da banca.

* Indicar se o avaliador for também orientador

ORIENTADOR:

Nome completo: Prof. Dr. Renato Nallin Montagnolli

Instituição de origem: Universidade Federal de São Carlos, campus de Araras

Parecer: Recomendo a aprovação do trabalho de conclusão de curso apresentado pela aluna Giulia, no curso de Licenciatura em Química. Durante a defesa, a aluna demonstrou boa apresentação e exposição de suas ideias à banca examinadora. Além disso, o trabalho foi bem escrito e apresentou uma revisão sistemática satisfatória, cujos objetivos de pesquisa propostos foram cumpridos.

AVALIADOR 1:

Nome completo: Profa. Dra. Sandra Regina Ceccato Antonini

Instituição de origem: Universidade Federal de São Carlos, campus de Araras

Parecer: O trabalho foi muito bem escrito e apresentado. A aluna mostrou domínio do assunto, respondendo satisfatoriamente às perguntas da banca. Recomendo a aprovação.

AVALIADOR 2:

Nome completo: Me. Biana Pelissari Gadanhoto

Instituição de origem: Instituto Agrônomo Campinas, Centro de Citricultura 'Sylvio Moreira'

Parecer: A aluna demonstrou boa apresentação e domínio do assunto, o trabalho foi bem escrito e cumpriu os objetivos da proposta. Recomendo a aprovação.

RESULTADO:

- A monografia foi aprovada sem ressalvas.
- A monografia foi aprovada, com algumas modificações sugeridas, que deverão ser incorporadas à mesma e devolvida ao orientador (da UFSCar) no prazo estipulado.
- A monografia necessita de reformulações e a aprovação ficará condicionada à efetuação das mesmas pelo discente, no prazo estipulado e após nova avaliação pelo orientador.
- A monografia foi reprovada, pois não atende às exigências estabelecidas para um TCC.

PARECER E CONCEITO FINAL:

A aluna é considerada aprovada, com a nota final de 9,5.

ASSINATURAS:

Orientador:

 Documento assinado digitalmente
RENATO NALLIN MONTAGNOLLI
Data: 04/04/2023 17:02:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

| Avaliador 1:

 Documento assinado digitalmente
SANDRA REGINA CECCATO ANTONINI
Data: 05/04/2023 11:07:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

| Avaliador 2:

 Documento assinado digitalmente
BIANA PELISSARI GADANHOTO
Data: 04/04/2023 18:40:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>