



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



Tratamento de efluentes provenientes de coloração capilar: uma revisão da literatura

Autora: Vitória Paim Fachinelli

Orientadora: Liliana Amaral Féris

Co-orientadora: Keila Guerra Pacheco Nunes

Porto Alegre, novembro de 2021

Autora: Vittória Paim Fachinelli

Tratamento de efluentes provenientes de coloração capilar: uma revisão da literatura

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química

Orientadora: Liliana Amaral Féris
Co-orientadora: Keila Guerra Pacheco Nunes

Banca Examinadora:

Caroline Trevisan Weber, Professora Substituta, DEQUI/UFRGS

Luciane Ferreira Trierweiler, Professora Adjunta, DEQUI/UFRGS

Porto Alegre

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelos milagres diários e Seu imenso amor.

Ao meu pai e Engenheiro Químico de referência, Sr. Ademir Fachinelli (formado em Eng. Química na UFRGS em apenas 4 anos!) e à minha mãe Elba Virgínia e irmão Thales. Que honra em poder fazer parte dessa família, meu maior presente de Deus! À Helena e ao Onzi, amigos da família.

À minha orientadora, Profa. Liliana Amaral Féris, e co-orientadora, Keila Guerra Pacheco Nunes, pela dedicação, preocupação, profissionalismo e ombros amigos.

Ao incrível Professor Pedro Rafael Bolognese Fernandes pelo estágio “fora da caixa” e pela acolhida desde o meu ingresso até o término da minha graduação.

À UFRGS e ao DEQUI pela oportunidade. Admiro o trabalho e esforço das pessoas que aqui conheci.

Aos Professores da Engenharia Química da UFRGS.

Aos professores de outros cursos da UFRGS, tive a maior sorte de ter tido aula com vocês durante minha graduação: Aloir e Dimitrios Samios (Química), Gisele (Italiano), Mara e Tatiana (Botânica), Mariana (Computação), Tanira (Russo). Profa. Gisele, sua atividade do diagrama de Venn me salvou, grazie mille! Profa. Tanira, obrigada pela força pra apresentação, Спасибо!

Um agradecimento especial às tias da limpeza e do R.U., o trabalho de vocês (que senti muita falta na Pandemia) e suas palavras de incentivo significam muito.

A cada um responsável pelas peças do “quebra-cabeça” que foi este TCC. Espero ter feito jus ao trabalho de cada pesquisador de cada referência lida.

Cada ensinamento, bom humor e conselhos oferecidos pelos amigos e colegas – principalmente os da Jéssica e da Miriam (engenheiras!) – e professores e orientadores que cruzaram meu caminho. A todos que se propõem a compartilhar seus conhecimentos e a ensinar com a empatia de quem já foi estudante o meu eterno reconhecimento e agradecimento.

Aos mestres, com carinho.

Viva a Ciência e viva a Engenharia Química!!!

RESUMO

Os salões de beleza crescem em números de estabelecimentos espalhados pelo Brasil, sendo a coloração capilar um importante serviço prestado por esse tipo de comércio. Dentre as tinturas de cabelo mais utilizadas estão as tinturas permanentes, em que o processo de formação dos corantes acaba ocorrendo no próprio fio de cabelo por meio de reações de oxidação envolvendo precursores, agentes oxidantes, e alcalinizantes e acopladores. Os surfactantes também desempenham papel importante na composição das tinturas e do efluente gerado pelo processo de coloração capilar. As águas residuais dos salões de beleza são lançadas como efluentes domésticos nas redes de esgoto do país, sem tratamento prévio, de acordo com a legislação nacional. Todavia, essa prática pode ser prejudicial tanto à saúde humana quanto ao meio ambiente. Por esses motivos, há um aumento no número de pesquisas que trazem propostas de tratamento para esse tipo de efluente. Buscando identificar tais estudos, em especial os referentes às populares tinturas do tipo permanente para se preencher um “gap” na literatura, foram consultadas diferentes bases de dados, nacionais e internacionais, com período de busca limitado aos anos de 2012 a 2021. Dessa forma, com esta pesquisa foram identificados onze trabalhos sobre o tratamento de efluentes de coloração capilar do tipo permanente e sobre o tratamento de efluentes de salões de beleza, onde foram encontrados um total de vinte e nove parâmetros de controle usados para a caracterização do efluente. Os resultados dos tratamentos avaliados foram comparados entre si pelo tipo de efluente tratado, técnica e tempo utilizados para os tratamento do efluente. Com base nestes resultados, sugeriu-se um método de tratamento de efluente a ser implementado diretamente em cadeira de lavatório de salão de beleza. O método sugerido – $O_3/PEC/H_2O_2$ – se sobressaiu aos demais por tratar exclusivamente o efluente de coloração capilar com tinta do tipo permanente, apresentando-se eficiente na remoção completa dos poluentes tóxicos *p*-fenilenodiamina, resorcinol e Base de Bandrowski do efluente em menos de 5 min de tratamento (para os demais parâmetros avaliados demorou 1,5 h). Ressalta-se que o método sugerido deve passar por outras avaliações, como: praticidade de aplicação da técnica, análise de custos, entre outros.

Palavras-chave: *coloração capilar, tratamento de efluentes, tinturas de cabelo do tipo permanente, salões de beleza*

ABSTRACT

Beauty and hair salons grow throughout Brazil, with hair dyeing being an important service provided by this type of business. Among the most commonly used hair dyes are the permanent ones. In this type of dye, the color formation process occurs in the hair strand through oxidation reactions involving precursors, oxidizing and alkalizing agents, and couplers. Surfactants also play a crucial role in the composition of dyes and the effluent generated by the hair color process. The wastewater from beauty salons is discharged without prior treatment as domestic effluent into the country's sewage networks, following national legislation. However, this practice can be harmful to both human health and the environment. For these reasons, studies that bring treatment proposals for this type of effluent are increasing. To identify such studies, especially those referring to the popular permanent dyes to fill a gap in the literature, national and international databases were consulted, with the search period limited to the years 2012 to 2021. Thus, this research identified eleven papers about the treatment of permanent hair coloring effluent and on the treatment of effluents from beauty and hair salons, where a total of twenty-nine control parameters, used for the wastewater characterization, were detected. The results of the analyzed treatments were compared to each other by the type of effluent treated, technique, and time used for the effluent treatment. Based on the results, a wastewater treatment method was suggested to be implemented directly on a salon backwash unit. The suggested method – $O_3/PEC/H_2O_2$ – stood out from the others for exclusively treating the hair color effluent with permanent dyes and for showing efficiency at the complete removal of the toxic pollutants p-phenylenediamine, resorcinol, and Bandrowski's base from the effluent in less than 5 min of treatment (for the other parameters were necessary 1.5 h). It is noteworthy that the suggested method must undergo other evaluations, such as the practicality of applying the technique, cost analysis, among others.

Keywords: *hair dyeing, wastewater treatment, permanent hair dyes, beauty or hair salon*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Os três agentes fundamentais para o funcionamento de um salão de beleza	3
Figura 2: As 5 regiões brasileiras representadas em números de salões de beleza ativos em 2019.....	4
Figura 3: Os 10 estados brasileiros com maior número de cabeleireiros em 2019	5
Figura 4: Ranking das 5 cidades brasileiras com maior número de empresas com CNAE 9602-5/01 ativas, em 2019.....	5
Figura 5: Crescimento do setor de cabeleireiros por ano, de 2017 até o primeiro semestre de 2019.....	6
Figura 6: Exemplificação do processo de geração do efluente proveniente de coloração capilar.....	16
Figura 7: Número de publicações por ano, com palavra-chave: “ <i>hair dye wastewater</i> ”.....	20
Figura 8: Número de publicações por ano, com palavras-chave: “(beauty or hair) AND (salon or dye) AND (effluent or wastewater) NOT (tannery or cattle or textile)”	21
Figura 9: As 5 etapas para a elaboração deste trabalho.....	22
Figura 10: Os tipos de efluentes bruto tratados nos artigos do Quadro 4.....	28
Figura 11: As 4 técnicas principais dos tratamentos de efluente analisados.....	33
Figura 12: Duração (com tempo expresso em horas) dos tratamentos de efluente dos artigos analisados, conforme o Quadro 4.....	38
Figura 13: O Método de Tratamento de Efluente Sugerido – O ₃ /PEC/H ₂ O ₂	39
Figura A.1: Base de Bandrowski.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Os tipos de tintura capilar no que diz respeito a permanência da tintura no cabelo alcançada no tingimento	8
Quadro 2: Os três componentes básicos das tinturas permanentes responsáveis pela formação da cor nos fios de cabelo.....	14
Quadro 3: Resultados das cores fornecidas por diferentes acopladores na presença de p-diaminas e p-aminofenóis	15
Quadro 4: Métodos de tratamento de efluentes de salão de beleza.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões de Lançamento de Efluentes em âmbito Nacional (Brasil) e Estadual (RS)	19
Tabela A.1: Dados qualitativos dos parâmetros listados nas referências analisadas	49
Tabela A.2: Dados numéricos diretos dos parâmetros da Tabela A.1	50
Tabela A.3: Porcentagens de remoção diretas dos parâmetros da Tabela A.1	51
Tabela A.4: Dados indiretos e diretos das Tabelas A.2 e A.3	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIHPEC	Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BB	Base de Bandrowski
C.a.	Carvão ativado
Cd	Cádmio
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (em inglês “High Performance Liquid Chromatography” (HPLC))
CE	Condutividade Elétrica
CNAE	Classificação Nacional de Atividade Econômica
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONCLA	Comissão Nacional de Classificação
COT	Carbono Orgânico Total (em inglês “Total Organic Carbon” (TOC))
D&C	“Drugs and Cosmetics”, corantes para uso em medicamentos e cosméticos
DBO	Demanda Bioquímica (ou Biológica) de Oxigênio (em inglês “Biochemical Oxygen Demand” (BOD))
DDB I	<i>Enterobacter cloacae</i>
DQO	Demanda Química de Oxigênio (em inglês “Chemical Oxygen Demand” (COD))
EC ₅₀	Concentração que induz metade do efeito máximo (em inglês, “Half Maximal Effective Concentration”)
EI	Empresário Individual
EIRELI	Empresa Individual de Responsabilidade Limitada
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto

FD&C	“Food, Drugs and Cosmetics”, alimentos, medicamentos e cosméticos
FDA	“Food and Drug Administration”, agência norte-americana voltada à regulamentação de alimentos, cosméticos e medicamentos
HC	“Hair Colorants”, corantes para tinturas capilares
HPPC	Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LASOP	Laboratório de Separação e Operações Unitárias
MBAS	“Methylene Blue Active Substances”, substâncias ativas ao azul de metileno
MEA	Monoetanolamina
MEI	Microempreendedor Individual
n.a.	Não aplicável
n.d.	Não detectado
NBR	Norma Brasileira
NKT	Nitrogênio de Kjeldahl Total
N-NH ₃	Nitrogênio Amoniacal na forma não ionizada (livre)
N-NH ₄	Nitrogênio Amoniacal na forma ionizada
N-NO ₃	Nitratos
NT	Nitrogênio Total
NTU	“Nephelometric Turbidity Units”, Unidade Nefelométrica de Turbidez
OD	Oxigênio Dissolvido
OH•	Radical Hidroxila
PAC	Policloreto de Alumínio
PAM	Poliacrilamida
PAP	<i>para</i> -aminofenol ou <i>p</i> -aminofenol
Pb	Chumbo
PBC	Pó de Bagaço de Cana-de-açúcar
PEC	“Photoelectrocatalysis”, fotoeletrocatalise

pH	Potencial Hidrogeniônico
PJ	Pessoa Jurídica
PO ₄	Fosfatos
POAs	Processos Oxidativos Avançados
PPD	<i>para</i> -fenilenodiamina ou <i>p</i> -fenilenodiamina
PT	Fósforo Total
Pt/Co	Escala Platina-Cobalto ou Escala APHA-Hazen, ou PtCo
PTD	<i>para</i> -toluenodiamina ou <i>p</i> -toluenodiamina
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
rpm	Rotações por minuto
RS	Rio Grande do Sul
RSC	Resorcinol
SciELO	“Scientific Electronic Library Online”, Biblioteca Eletrônica Científica Online
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas
SST	Sólidos em Suspensão Totais
ST	Sólidos Totais
T	Temperatura
t	Tempo
TCH	Teor Total de Hidrocarbonetos
TiO ₂ NT	Eletrodo de nanotubos de dióxido de titânio
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UV	Ultravioleta
UV-C	Ultravioleta no espectro C

LISTA DE SÍMBOLOS

\cong : aproximadamente, ou \sim

(?): dúvida em relação aos dados fornecidos pelo artigo (p. ex.: inconsistência nos dados informados na referência analisada)

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	2
2.1	Panorama dos Salões de Beleza no Brasil	2
2.1.1	Salões de Beleza: Definição e Estrutura Operacional	2
2.1.2	Número de Estabelecimentos Registrados no País	4
2.1.3	Os Salões de Beleza e a Coloração Capilar	6
2.2	As Tinturas Capilares	7
2.2.1	Os Tipos de Tintura de Cabelo	7
2.2.2	As Tinturas Permanentes	13
2.2.3	O Papel dos Surfactantes na Coloração Capilar	15
2.3	Efluentes Gerados no Processo de Coloração Capilar	16
2.3.1	Potenciais riscos à saúde humana e ao meio ambiente relacionados aos efluentes de coloração capilar	17
2.3.2	Tratamento Convencional dos Efluentes Domésticos	17
2.4	Legislação sobre Tratamento de Efluentes de Coloração Capilar	18
3	Materiais e Métodos	20
4	Resultados	23
4.1	Análise dos Resultados pelo Tipo de Efluente Bruto	28
4.1.1	Efluente de Salão de Beleza no Geral	29
4.1.2	Efluente de Salão de Beleza de Processos Capilares Diversos	30
4.1.3	Efluente Exclusivo de Coloração Capilar	30
4.1.3.1	Efluente Real de Coloração Capilar	31
4.1.3.2	Efluente de Coloração Capilar produzido em Laboratório	32
4.2	Análise dos Resultados pelo Tipo de Técnica de Tratamento de Efluente	33
4.2.1	Adsorção	34
4.2.2	Bioprocessos	34
4.2.3	Filtração	35
4.2.4	POAs	36
4.3	Análise dos Resultados pelo Tempo do Tratamento de Efluente	37
4.4	Sugestão de Tratamento para o Efluente de Coloração Capilar	38
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	40
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A	49
	ANEXO A	53

1 Introdução

Em 2021, o Brasil ocupou o 4º lugar tanto entre os maiores mercados consumidores do mundo de produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (HPPC) (US\$ 23.738 bilhões) e ficou na mesma posição mundial considerando-se apenas produtos para cuidados com o cabelo. O setor de HPPC foi considerado essencial pelo governo Federal com o decreto nº 10329/2020, visto que ele é responsável não apenas por proporcionar o bem-estar e fortalecer a autoestima das pessoas, mas também por servir para a prevenção de doenças e promover a inserção social (ABIHPEC, 2021).

Dentre os produtos HPPC estão as tinturas capilares. Como o cabelo é um fator importante na autoimagem, uma grande variedade de preparações cosméticas está disponível no mercado e é usada regularmente por parte expressiva da população mundial (George e Potlapati, 2021). Seja para parecer mais jovem e atraente ou seguir tendências de moda, o uso das tinturas capilares, em especial as do tipo permanente, tem se tornado mais frequente, sendo populares entre ambos os sexos e ampla faixa etária (Maiti *et al.*, 2017).

Por esses e outros motivos, o processo de tingimento dos cabelos se tornou parte intrínseca do estilo de vida de muitos brasileiros. Para atender a essa – coloração capilar – e outras demandas (como cortes de cabelo, penteados, design de sobrancelhas), oferecendo serviços que acompanham as inovações tecnológicas nessa área, o número de salões de beleza tem aumentado no país (Empresômetro, 2019; Rabelo, 2020).

Assim, esse efluente é despejado nos sistemas de esgoto diariamente em decorrência dos processos de coloração capilar realizados em grande parte em salões. Essa prática pode gerar problemas de saúde pública devido a compostos químicos tóxicos – como *para*-fenilenodiamina (PPD), *para*-toluenodiamina (PTD), *para*-aminofenol (PAP), Base de Bandrowski (BB) e resorcinol (RSC) – das tinturas (Bessegato *et al.*, 2018; Maifadi *et al.*, 2020). Agravando essa situação, nem todas as cidades brasileiras têm esgoto tratado (ANA, 2020). Além disso, alguns desses compostos podem ser detectados mesmo depois do efluente ter passado por tratamento de esgoto convencional (De Souza *et al.*, 2020).

Alertados sobre essas condições, a comunidade científica tem se preocupado em estudar sobre o assunto e o interesse sobre esse tema, expresso pelo número de “papers” publicados em bases científicas de renome, tem aumentado ao longo dos últimos anos. Dessa forma, o objetivo geral dessa monografia é identificar na literatura, por meio de pesquisa bibliográfica, os trabalhos existentes sobre o tratamento de efluentes de coloração capilar, porém com o enfoque nas tinturas permanentes. Já os objetivos específicos são:

- Descrever os principais resultados obtidos nestes estudos;
- Mapear os parâmetros de controle, tanto físicos, químicos e biológicos, analisados/medidos nos artigos selecionados sobre o efluente em questão;
- Comparar os tratamentos de efluente entre si por meio dos parâmetros em comum, pelo tipo de efluente bruto, pela técnica e pelo tempo utilizado;
- Oferecer sugestão inicial de proposta de tratamento para o efluente específico de coloração capilar, em especial do tipo permanente, dentre o que foi identificado, para ser empregado em linha diretamente em cadeira de lavatório de salão e beleza.

2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresentará um panorama sobre os salões de beleza no Brasil, com ênfase no processo de coloração capilar. Serão apresentados os tipos de coloração existentes atualmente no mercado, os efluentes provenientes do processo de tingimento dos cabelos e a legislação existente no país acerca do assunto.

2.1 Panorama dos Salões de Beleza no Brasil

Até o segundo trimestre de 2021 foram proporcionadas, através do setor dos salões de beleza no Brasil, cerca de 1,9 milhões de oportunidades de trabalho, o que representou um aumento de 5,6% comparado ao ano de 2020 (ABIHPEC, 2021). Os salões podem atender as mais diversas necessidades no segmento da beleza de um público de todas as classes sociais com oportunidades de mercado masculino, infantil, terceira idade, além do já consolidado mercado feminino (Rabelo, 2020).

2.1.1 Salões de Beleza: Definição e Estrutura Operacional

Para o bom entendimento deste subcapítulo, faz-se necessária a explanação do termo “salão de beleza”. Conforme a Norma Técnica ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) 16283: 2015 – *Salões de Beleza – Terminologia*:

Salões de Beleza são estabelecimentos cuja atividade é a prestação de serviços, direta ou por meio de parceiros que se utilizam de sua estrutura especializada, para atividades tais como corte, penteado, alisamento, coloração, descoloração, alongamento e nutrição de cabelos e barba, como também do embelezamento de pés e mãos, depilações, embelezamento dos olhos, maquiagem, estética corporal, capilar e facial, venda de artigos e acessórios, cosméticos e outros produtos que visam à boa imagem e ao bem-estar dos seus clientes.

Esses estabelecimentos, dependendo das especificidades de serviços ou público que atendem, podem receber diversas nomenclaturas. Entre elas, podem ser citadas as seguintes: instituto ou centro de beleza, cabeleireiro feminino, cabeleireiro masculino, cabeleireiro unissex, barbearia, esmalteria, escovaria, institutos ou centros de depilação, design de sobrancelhas, dentre outros (ABNT/Sebrae, 2016).

Um salão de beleza é considerado uma empresa prestadora de serviços e, por esse motivo, é legalizado como tal. Porém, se houver a venda de produtos no estabelecimento o salão passa a ser executor de uma atividade comercial devendo, assim, obedecer às exigências legais para esse fim. A regularização de um salão de beleza deve ser feita junto à Vigilância Sanitária municipal e através da obtenção de registro e alvará de funcionamento junto à prefeitura do município onde será instalado (Rabelo, 2020; RevistaCabeleireiros.com, 2006).

As profissões de cabeleireiro, manicure, pedicure, barbeiro, esteticista, maquiador e depilador foram regulamentadas em 18 de janeiro de 2012 pela Lei nº 12.592. Além disso, em 2016, essa lei foi alterada com a Lei do Salão Parceiro (Lei nº 13.352/2016), em que foram criadas as figuras de salão-parceiro e profissional-parceiro e foi regulamentada a relação entre empresa e trabalhador por meio de um contrato escrito de parceria. Essa nova lei previu que esses profissionais, anteriormente citados, fossem qualificados como pequenos empresários, microempresários ou microempreendedores individuais (MEI) (Souza e Borges, 2020).

Normalmente os profissionais da beleza atuam como MEI. Todavia, esses profissionais podem assumir outras naturezas jurídicas, como EIRELI (Empresa Individual de Responsabilidade Limitada), EI (Empresário Individual), PJ (Pessoa Jurídica). Além disso, são um dos três agentes fundamentais para a operação de um salão de beleza, como consta na Figura 1, e as atividades realizadas por eles são classificadas segundo à codificação da CNAE (Classificação Nacional de Atividade Econômica) (SEBRAE, 2016).

Figura 1: Os três agentes fundamentais para o funcionamento de um salão de beleza



Fonte: Adaptado de SEBRAE (2016).

O código CNAE é um instrumento de padronização e classificação de atividades econômicas. Foi oficialmente adotado pelo Sistema Estatístico Nacional, sendo uma classificação hierarquizada em cinco níveis – seções, divisões, grupos, classes e subclasses. O quinto e último nível – o de subclasses – corresponde ao detalhamento utilizado para a identificação econômica das unidades de produção, normalmente estabelecidas como profissionais autônomos ou pessoa jurídica, em cadastros e registros da Administração Pública, nas três esferas de governo – municipal, estadual e federal (IBGE, 2020).

Dessa forma, todas as empresas devem possuir códigos CNAE em seu CNPJ (Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica) para identificar seus serviços prestados, as mercadorias vendidas ou os produtos fabricados (Fernandes, 2016). Aliás, cada atividade econômica realizada por uma empresa deve possuir um código CNAE para que as notas fiscais correspondentes a essas atividades possam ser emitidas corretamente e o enquadramento nos órgãos de administração tributária seja facilitado (SEBRAE, 2016).

A definição e atualização das subclasses são atribuições da Subcomissão Técnica para a CNAE-Subclasses, instituída em 1998. Essa Subcomissão, organizada no âmbito da CONCLA (Comissão Nacional de Classificação), está sob a coordenação da Secretaria da Receita Federal, orientação do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e conta com a participação de representantes das três esferas da Administração Pública. O IBGE – principal provedor de informações geográficas e estatísticas do Brasil – é o órgão gestor da CNAE e presidente da CONCLA. Por sua vez, a CONCLA – organismo responsável pelas classificações estatísticas do Brasil – é um órgão colegiado vinculado ao Ministério da Economia (IBGE, 2020).

De acordo com o SEBRAE (2016) (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas) os principais códigos CNAEs utilizados por salões de beleza são o CNAE 9602-5/01 e o CNAE 9602-5/02, descritos a seguir:

- “CNAE 9602-5/01 Cabeleireiros, manicure e pedicure”: compreende atividades como lavagem, corte, penteado, tingimento, dentre outros tratamentos capilares; serviços de barbearia e manicure e pedicure. Não compreende: fabricação de perucas (3299-0/99); podologia (8690-9/04); limpeza de pele, massagem facial, maquiagem, depilação (9602-5/02) (CONCLA, 2021a).
- “CNAE 9602-5/02 – Atividades de estética e outros serviços de cuidados com a beleza”: compreende atividades de limpeza de pele, massagem facial, maquiagem; depilação; massagem estética e para emagrecimento; atividades de spas que não operam em estabelecimentos hoteleiros e outras atividades de tratamento de beleza não especificadas anteriormente. Não compreende as clínicas dermatológicas com recursos para a realização de procedimentos cirúrgicos e exames complementares (8630-5/01) (CONCLA, 2021b).

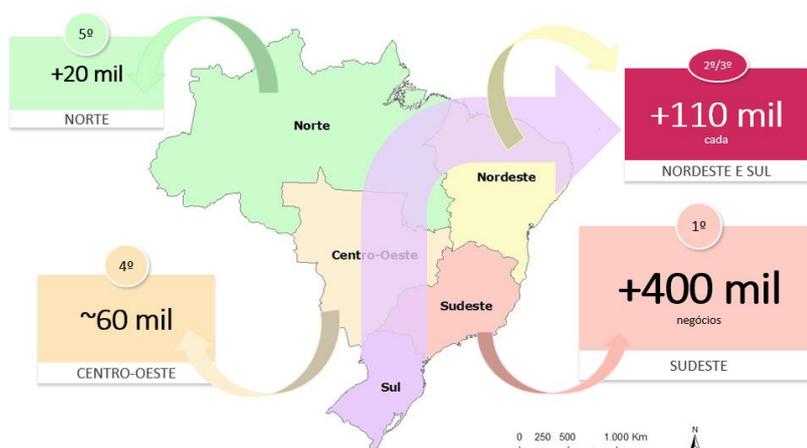
Somente o CNAE 9602-5/01 faz parte do objeto de estudo deste trabalho, uma vez que engloba o serviço de tingimento capilar. Por essa razão, na seção seguinte será apresentado um levantamento com dados disponíveis somente sobre o segmento específico: “Salão de Beleza, CNAE 9602-5/01” no Brasil.

2.1.2 Número de Estabelecimentos Registrados no País

Existem 730 mil salões de beleza ativos no Brasil e o CNAE 9602-5/01 teve o segundo maior número de registros em 2019, de acordo com dados levantados pelo Empresômetro (2019), portal que reúne dados e estatísticas sobre a atividade empresarial das micro e pequenas empresas no território nacional. No entanto, segundo o SEBRAE (2013), considerando-se à realidade de mercado, onde negócios informais se somam aos formais, tem-se que o número de salões ativos seguramente ultrapassa a casa de 1 milhão, devido ao alto grau de informalidade dessas atividades.

Afim de se entender o panorama atual dos salões de beleza e onde eles atuam de forma mais expressiva no país, excluindo-se o mercado informal, construiu-se a Figura 2, com dados extraídos do Empresômetro (2019). Nesta figura se observa como os estabelecimentos comerciais, relacionados a salão de beleza, estão distribuídos em todo território brasileiro.

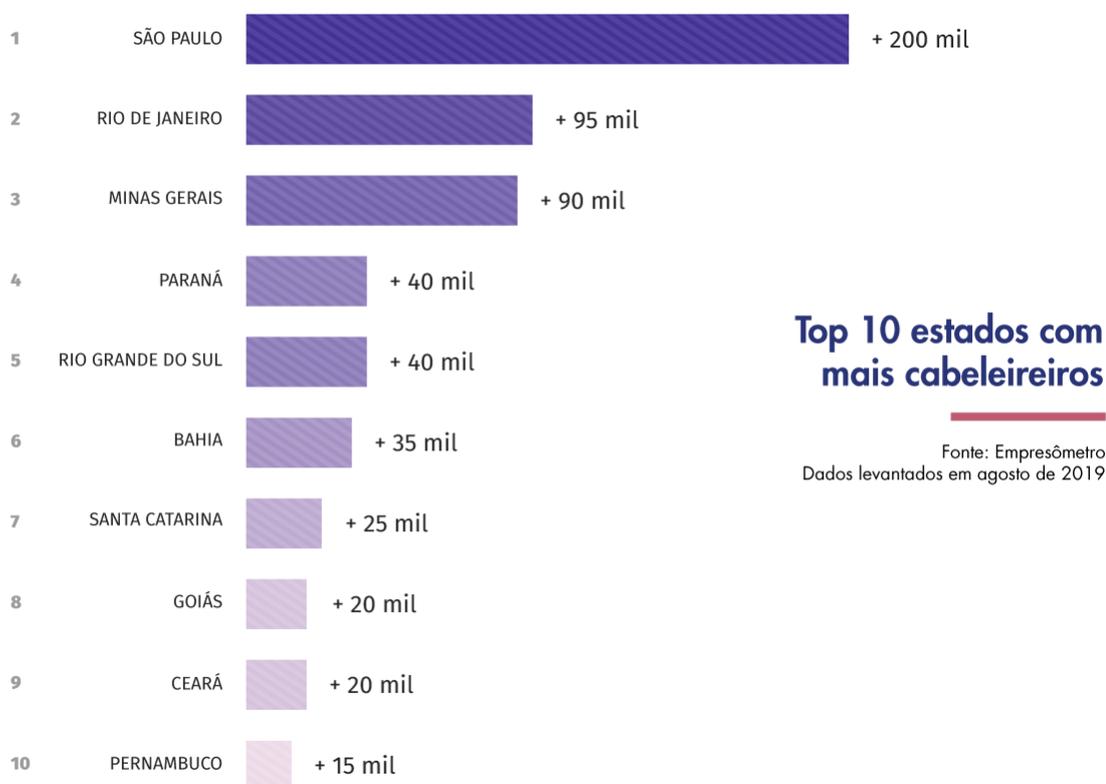
Figura 2: As 5 regiões brasileiras representadas em números de salões de beleza ativos em 2019



Fonte: Adaptado de Empresômetro (2019).

Os estados localizados nas regiões mais populosas do país são os que apresentam maior número desses estabelecimentos comerciais, conforme mostrado na Figura 3. As capitais desses estados, incluindo a capital federal do Brasil – Brasília – são os locais com um maior número de salões, conforme Figura 4.

Figura 3: Os 10 estados brasileiros com maior número de cabeleireiros em 2019



Fonte: Empresômetro (2019, p. 1).

Figura 4: Ranking das 5 cidades brasileiras com maior número de empresas com CNAE 9602-5/01 ativas, em 2019



Fonte: Adaptado de Empresômetro (2019).

O setor de salões de beleza vem apresentando crescimento desde os últimos anos, como pode ser visto na Figura 5. Essa tendência se confirmou entre os anos de 2017 e 2018, período que, por exemplo, apresentou um crescimento de aproximadamente 30 mil novos estabelecimentos. Além disso, o número de salões de somente o primeiro semestre de 2019 foi de aproximadamente 69,2% do número total atingido em 2018.

Figura 5: Crescimento do setor de cabeleireiros por ano, de 2017 até o primeiro semestre de 2019



Fonte: Adaptado de Empresômetro (2019).

2.1.3 Os Salões de Beleza e a Coloração Capilar

Entre 35 e 40% do faturamento dos salões de beleza é proveniente dos serviços vinculados à coloração capilar, conforme dados da ABIHPEC em parceria com o SEBRAE (2019). Dentre os serviços típicos de um salão, relacionados a mudança de cor dos cabelos, estão incluídos os procedimentos de “coloração permanente” e “luzes, reflexos, mechas e *balayage*” que, de acordo com a ABNT NBR 16283:2015, consistem:

- coloração permanente: procedimento de coloração dos cabelos por meio de combinações, composições e neutralizações de cores e contrastes, através de pigmentos naturais ou sintéticos, podendo produzir clareamento.
- luzes, reflexos, mechas e *balayage*: procedimentos por meio de coloração e/ou descoloração para dar contraste ou luminosidade aos fios ou para clarear ou escurecer gradativamente o cabelo.

Para a prestação dos serviços típicos de um salão de beleza se fazem necessários os produtos cosméticos, considerados insumos essenciais para esses estabelecimentos. Todos esses produtos devem obedecer às normas e legislação vigentes. No Brasil, os principais órgãos reguladores desses produtos são a Anvisa e o Ministério da Saúde. Segundo a Anvisa, os produtos cosméticos em conjunto com os produtos de higiene pessoal e perfumes são classificados em produtos de Grau 1 e Grau 2 (ABNT/Sebrae, 2016).

Os produtos de Grau 1 se caracterizam por possuírem propriedades básicas ou elementares, que não precisam de comprovação inicial, e não requerem detalhamento quanto ao seu modo e restrições de uso. Nesse grupo estão inseridos os esmaltes e seus removedores, máscara para cílios, demaquilantes, xampus e condicionadores (exceto os com ação anti-queda, anticasca e/ou outros benefícios específicos que justifiquem comprovação prévia, logo classificados como Grau 2), etc (ABNT/Sebrae, 2016).

Todo tipo de produto destinado à mudança de cor dos cabelos, como clareadores, descolorantes e tinturas capilares é considerado um produto de Grau 2. Os produtos de Grau 2 devem possuir indicações específicas, com informações do modo e restrições de uso e suas características exigem comprovação de segurança e/ou eficácia (ABNT/Sebrae, 2016).

2.2 As Tinturas Capilares

As tinturas capilares são uma ferramenta eficaz para alterar a cor dos cabelos. Diferentes produtos fornecem uma ampla gama de resultados, desde realces sutis até mudanças dramáticas de cor e cobertura completa dos cabelos brancos (Rust e Schlatter, 2016). O uso das tinturas capilares torna-se cada vez mais em voga à medida que a sociedade se concentra na busca pela beleza e juventude – ao querer cobrir os cabelos grisalhos ou por seguir tendências de moda (George e Potlapati, 2021; Kim *et al.*, 2016).

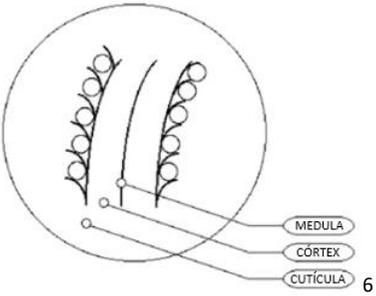
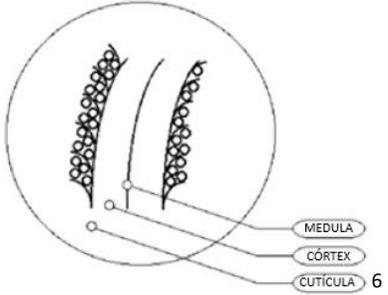
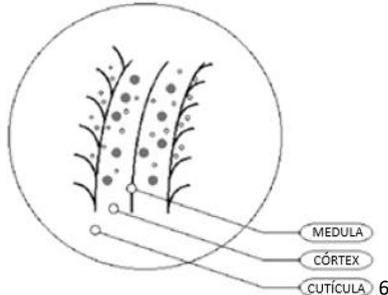
2.2.1 Os Tipos de Tintura de Cabelo

As tinturas capilares podem ser classificadas segundo sua natureza entre naturais – nas quais os corantes são obtidos de fontes naturais, como plantas, animais e minerais, como as tinturas henna, kohl (pasta obtida do mineral malaquita) e o índigo (anil) – ou sintéticas – as quais possuem base química (Bechtold, 2009; Gonzalez *et al.*, 2019; Robbins, 2012). Também podem ser classificadas com base no tipo de interação e permanência da tintura no cabelo em temporárias, semipermanentes e permanentes (Robbins, 2012; Rust e Schlatter, 2016), conforme o Quadro 1.

Vale ressaltar que o cabelo é constituído pela raiz e pela haste, ou eixo, capilar. Resumidamente, a haste possui três camadas: a cutícula, camada mais externa formada por células incolores compactadas; o córtex, camada intermediária que contém os pigmentos que determinam a cor natural do cabelo (localização primária); e a medula capilar, camada mais interna, ou central, que é o núcleo do fio (Kim *et al.*, 2016; Koch *et al.*, 2020).

Quadro 1: Os tipos de tintura capilar no que diz respeito a permanência da tintura no cabelo alcançada no tingimento

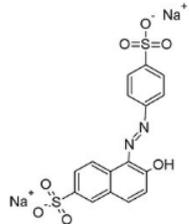
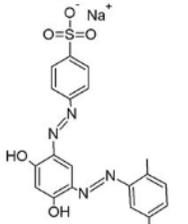
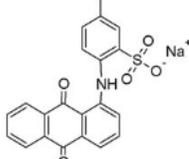
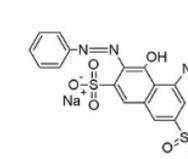
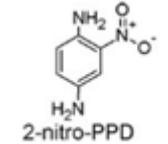
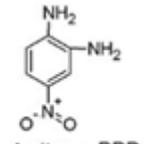
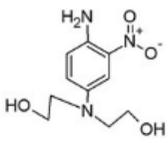
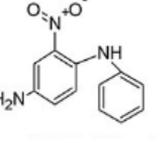
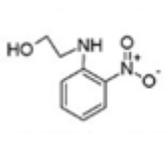
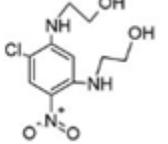
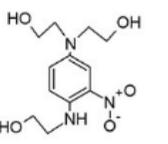
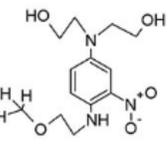
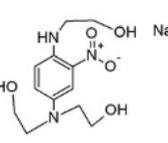
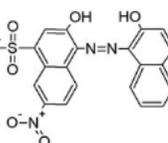
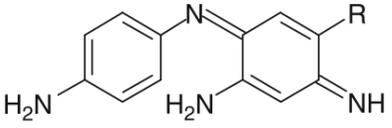
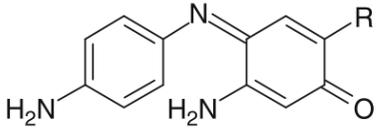
(continua)

Tipo de Tintura ^{7,8}	Temporária	Semipermanente	Permanente (oxidativa)
Duração⁸	Uma lavagem A lavagem abre a cutícula, permitindo que as moléculas de cor adicionadas sejam removidas da camada capilar devido sua solubilidade em água	6 a 8 lavagens	Não sai com lavagem. Com o crescimento dos fios são necessárias reaplicações a cada 4 a 6 semanas (retoque da raiz capilar)
Forças de ligação entre cabelo e tintura⁸	Fracas. A tinta não penetra em nenhuma camada do fio (não há necessidade de abertura da cutícula), sendo apenas depositada temporariamente na parte externa do mesmo 	Fracas. Difusão da tinta nas camadas externas da cutícula sem forte ligação à proteína do cabelo ⁸ . Penetram na camada externa do fio ¹ . 	Fortes (completa penetração no interior do fio - córtex capilar - requerem abertura da cutícula) 
Componentes comuns da formulação química (compostos de matriz)⁷	Frequentemente contém espessantes, surfactante, às vezes um polímero fixador para o cabelo e um tampão ácido (tartárico, acético ou cítrico) para fornecer um meio ácido para a aplicação das tinturas no cabelo	Solventes (principalmente água e glicóis ou derivados de glicol), surfactante (s), amida, fragrância e ácido ou álcali para ajuste de pH (potencial hidrogeniônico)	Surfactantes, emulsificantes, antioxidantes, preservativos, conservantes

(continua)

Tipo de Tintura ^{7,8}	Temporária	Semipermanente	Permanente (oxidativa)
Formulação com Presença de Corantes	Sim. Corantes ácidos, aniônicos ou dispersos, de alto peso molecular, que têm pouca afinidade para o cabelo e são bastante solúveis na base da tintura ⁸ . Geralmente 2 a 5 corantes são misturados para se atingir o tom desejado (2 para matizes para cabelos grisalhos; 4 a 5 para obter vermelhos, marrons ou pretos) ⁷	Sim. Combinação de corantes pré-formados (diretos), não carregados (não iônicos), de baixo peso molecular, pouco influenciados pelas cargas negativas da superfície do cabelo. Os mais usados são os nitro-corantes ⁸ . Para atingir o tom desejado, cada produto contém uma combinação de até 18 corantes. Esses corantes são geralmente espécies mono, di ou trinucleares e geralmente são aminas aromáticas, amino nitrobenzenos ou derivados da antraquinona ⁷	Não ⁴ . Precursores incolores reagem com acopladores para a formação da coloração <i>in situ</i> ⁸

(continua)

Tipo de Tintura ^{7,8}	Temporária	Semipermanente	Permanente (oxidativa)
<p>Exemplos de Corantes⁷</p>	<p>Corantes dos tipos D&C (“Drugs and Cosmetics”, corantes para uso em medicamentos e cosméticos) e FD&C (“Food, Drugs and Cosmetics”, corantes para uso em alimentos, medicamentos e cosméticos). D&C e FD&C são classificações usadas pelo FDA (“Food and Drug Administration”, agência norte-americana voltada à regulamentação de alimentos, cosméticos e medicamentos)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>FD&C Amarelo nº6.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>D&C Marrom nº1.</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Violeta Ácido 43, D&C Violeta nº2.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Vermelho Ácido 33</p> </div> </div>	<p>HC (“Hair Colorants”, corantes para tinturas capilares) pré-formados e corantes dispersos</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>2-nitro-PPD</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>4-nitro-o-PPD</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>HC Vermelho nº13</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>HC Vermelho nº1</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>HC Amarelo nº2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>HC Amarelo nº10</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>HC Violeta nº2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>HC Azul nº11</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>HC Azul nº2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Preto Ácido 52</p> </div> </div>	<p>Indaminas de m-fenilenodiaminas:</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  <p>2-aminoindamina substituída (tinturas azul-violeta)</p> </div> <p>quando o grupo R é metoxi, ele representa a fórmula para a 2-aminoindamina de p-fenilenodiamina e 4-metoxi m-fenilenodiamina, sendo um corante relativamente estável</p> <p>Corantes Indo de m-Aminofenóis:</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  <p>2-aminoindoanilina (corante indo dimérico)</p> </div> <p>se o substituinte R é quase tudo menos hidrogênio, a reação geralmente para no estágio de dímero. No entanto, se R for hidrogênio, ele adiciona outra molécula na posição 4 e é oxidado a um corante indo trimérico. Se a posição para do grupo fenólico é bloqueada, então o íon di-imínio ataca para do grupo amino, dando 2-hidroxiindaminas</p>

(continua)

Tipo de Tintura ^{7,8}	Temporária	Semipermanente	Permanente (oxidativa)
Processo para a mudança de cor do cabelo⁸	O corante é complexado com um polímero catiônico para diminuir a solubilidade e aumentar a afinidade pelo cabelo. Esse complexo, disperso na base da tintura por surfactantes, reveste a parte externa dos fios e o seu excesso pode ser enxaguado	Os corantes geralmente se difundem no cabelo e são retidos por forças de atração fracas (já mencionadas). A afinidade do corante geralmente aumenta com o aumento do seu tamanho molecular. O peróxido não é usado para desenvolver a cor. Nenhuma mudança química “importante” ocorre nas fibras durante esse tipo de tingimento ⁷	Existem dois processos. 1º: oxidação dos pigmentos de melanina do fio de cabelo, clareando e preparando o mesmo para receber a nova cor. 2º: oxidação dos precursores do corante para formar os verdadeiros cromóforos coloridos. Apenas os cromóforos formados dentro do cabelo são retidos de forma permanente, o restante será removido com a lavagem
Tecnologia do tingimento baseada em processos oxidativos⁸	Não. Tintura não oxidativa, corantes diretos	Não. Tintura não oxidativa, corantes diretos	Sim, exigindo que diferentes componentes sejam misturados antes de serem aplicados ao cabelo ¹ (geralmente dentro da caixa da tintura comercializada vem um kit com uma bisnaga de coloração e um frasco de emulsão reveladora) ¹⁰

(conclusão)

Tipo de Tintura^{7,8}	Temporária	Semipermanente	Permanente (oxidativa)
Contém Amônia (agente alcalinizante)⁸	Não	Não. Geralmente monoetanolamina (MEA) como agente alcalinizante ¹	Sim. A amônia serve para trazer o pH do produto final para 9,0 a 10,5
Contém Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂, água oxigenada)⁸	Não	Não	Sim. O agente alcalinizante e a concentração de H ₂ O ₂ (até 6% na cabeça) determinam: a eficácia da formação de cor no cabelo; a longevidade da cor; a cobertura de fios grisalhos; o clareamento
Tempo para Fixação (reação) no cabelo	–	20 a 30 minutos ⁸	10 a 20 min ⁷ ou 30 a 45 min ⁵ (depende do fabricante)
Resultado de mudança de cor e usos^{3,8}	Muito limitado: sem clareamento; sem cobertura permanente dos fios grisalhos. Esses produtos servem para testar novas cores (geralmente extravagantes, como violeta, rosa, azul e lilás, usadas especialmente por jovens) ou renovar cabelos tingidos	Limitado: não possibilita clareamento; mescla sutilmente os primeiros fios grisalhos	Ampla gama de tonalidades. Podem iluminar o cabelo significativamente; mudar a cor dos cabelos de maneira sutil ou dramática e fornecer cobertura de 100% dos fios brancos
Forma típica do produto e exemplos^{1,2,5,9}	Sprays, xampus, pó. Ex: Henna	Crems, xampus, loções, emulsões. Ex: Tonalizantes, hennas sintéticas	Crems, emulsões, gel, soluções (líquidas)

Fonte: Adaptado de Chan (2018)¹, Da França *et al.* (2015)², De Oliveira, *et al.* (2014)³, Franco *et al.* (2015)⁴, George e Potlapati (2021)⁵, Kim *et al.* (2016)⁶, Robbins (2012)⁷, Rust e Schlatter (2016)⁸, SBD (2017)⁹ e Wella (2021)¹⁰.

Conforme observado no Quadro I, os componentes comuns das tinturas de cabelo são os mais diversos. Dentre eles destacam-se: surfactantes (seção 2.2.3); solvente, que atua como veículo de tingimento (água, propilenoglicol, etanol, glicerina); álcoois graxos, que funcionam como emolientes (gliceril estearato, álcool cetosteárico); compostos quaternários, que executam a função de condicionadores (poliquatérnio, cloreto de cetrimônio); tampão, que serve como estabilizador (fosfato dissódico, ácido cítrico); alcalinizantes, para o inchamento do cabelo ou como descolorante (amônia, monoetanolamina (MEA), aminometilpropanol) (Robbins, 2012).

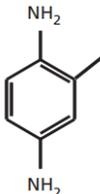
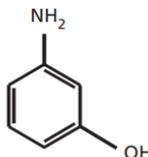
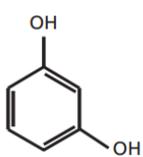
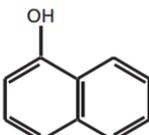
Observa-se também que as tinturas capilares se diferenciam, principalmente, pelas substâncias presentes nas suas formulações e pela duração da coloração no fio e mudança de cor atingida. Essas características particulares de cada um dos tipos de tintura são os principais critérios para a seleção do produto a ser utilizado, e essa escolha deve corresponder as necessidades pessoais de quem passará pelo processo de coloração capilar (Rust e Schlatter, 2016).

Consta na literatura, ainda, a classificação em demipermanente (Chan, 2018; Da França *et al.*, 2015; George e Potlapati, 2021; Gonzalez *et al.*, 2019; Morel e Christie, 2011; Mukkanna *et al.*, 2017; Robbins, 2012; Rust e Schlatter, 2016). Ela consiste em uma espécie de coloração oxidativa, com duração de aproximadamente 24 lavagens (não permanente, intermediária entre a semi e a permanente). Diferencia-se da coloração permanente principalmente pelo tipo de alcalinizante (geralmente MEA ao invés da amônia) e da quantidade de H₂O₂ (2% concentração na cabeça) utilizados (Rust e Schlatter, 2016). Porém, alguns autores omitem essa classificação e, segundo empresas fabricantes de tinturas, os termos demipermanente e semipermanente acabam se confundindo. Além disso, há divergências sobre o tonalizante ser classificado como tintura semi ou demipermanente.

2.2.2 As Tinturas Permanentes

A maior “fatia” do mercado das tinturas capilares pertence as tinturas do tipo permanente (George e Potlapati, 2021). Essas tinturas devem sua popularidade à sua facilidade de aplicação, ampla gama de cores disponíveis e por serem as tinturas mais versáteis e duradouras disponíveis no mercado (Morel e Christie, 2011; Rust e Schlatter, 2016). A formação da cor pelo uso de tinturas permanentes se dá através da reação de oxidação entre o agente precursor de cor (também chamado de intermediário primário) em conjunto com o agente oxidante. Já a tonalidade da cor formada fica a cargo do agente acoplador (Da França *et al.*, 2015; Robbins, 2012; Rust e Schlatter, 2016). O Quadro 2 traz exemplos desses componentes.

Quadro 2: Os três componentes básicos das tinturas permanentes responsáveis pela formação da cor nos fios de cabelo

Componente	Grupos Químicos e Exemplos
Precursor (intermediários primários, transmissores de cor)	<p>p-diaminas e p-aminofenóis (derivados da anilina)</p> <p>Ex:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>p-fenilenodiamina (PPD)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>p-toluenodiamina (PTD)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>p-aminofenol (PAP)</p> </div> </div>
Acoplador (modificadores de cor)	<p>resorcinóis comumente substituídos ou m-fenilenodiamina (espécies aromáticas ricas em elétrons)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>m-aminofenol</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>resorcinol (RSC)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>1-naftol</p> </div> </div>
Oxidante (ou descolorante)	peróxido de hidrogênio

Fonte: Adaptado de Robbins (2012) e Rust e Schlatter (2016, p. 240-243).

A maioria das formulações de tintura permanente contém de 5 a 7 (ou até mais) ingredientes que atuam como precursores ou acopladores. Logo, várias reações se dão entre eles e vários produtos corantes são formados para cada formulação (Robbins, 2012). O processo de tingimento do cabelo é iniciado com o inchamento da fibra capilar, devido ao pH alcalino (faixa de pH em torno de 8 a 10) produzido pela amônia. Isso permite que as pequenas moléculas ativas dos reagentes penetrem no córtex capilar, onde a produção da cor ocorrerá em três etapas principais que, segundo Robbins (2012) e Rust e Schlatter (2016), podem ser descritas, em linhas gerais, como:

1. A primeira etapa do processo de formação do corante é a oxidação dos intermediários primários em iminas altamente reativas (intermediários ativos) pelo agente oxidante. Na ausência do acoplador essas iminas irão reagir com sua forma não oxidada originando complexos polinucleares de cor marrom ou preta (conhecidos como Base de Bandrowski (BB) (Anexo A), produto final de uma reação lateral indesejável).
2. Na presença de acopladores (os chamados modificadores de cor), as iminas irão reagir preferencialmente com o átomo de carbono mais nucleofílico da estrutura desses acopladores.
3. Na etapa 3, este produto de reação acoplado é oxidado para finalmente formar os corantes, que são resistentes à lavagem (xampus) e são do tipo "indo" (aminoindamina e indoanilina).

De modo geral, o processo de formação da cor é complexo, visto que envolve uma sequência de etapas. Os acopladores não produzem a cor, mas modificam a cor produzida pela oxidação dos intermediários primários. A cor final resultante do processo é uma função das quantidades e das propriedades dos intermediários primários e dos acopladores individuais na composição da mistura. Além disso, outros parâmetros do processo são as taxas de difusão do precursor do corante na fibra, a taxa de oxidação dos intermediários primários, o pH, o tempo e a temperatura de reação (Da França *et al.*, 2015; De Oliveira *et al.*, 2014; Brown KC, 1985, apud Rust e Schlatter, 2016).

Assim, segundo De Oliveira *et al.* (2014, p. 5) “a tintura de cabelo [permanente] é uma arte ditada pela cinética química”. Existem diversos agentes acopladores e precursores e a combinação entre eles leva a possibilidade de se formular uma grande variedade de cores (Rust e Schlatter, 2016). Algumas dessas combinações são apresentadas no Quadro 3. Cabe ressaltar que a tonalidade real obtida ainda depende da condição e da cor inicial do cabelo a ser tingido (Robbins, 2012).

Quadro 3: Resultados das cores fornecidas por diferentes acopladores na presença de p-diaminas e p-aminofenóis

Acoplador	Cor no cabelo com p-diaminas (precursor)	Cor no cabelo com p-aminofenóis (precursor)
m-fenilenodiamina	Castanho azulado-preto	Castanho avermelhado
1-naftol	Azul-violeta	Vermelho
resorcinol	Castanho esverdeado	Castanho claro
3-aminofenol	Castanho quente/magenta	Castanho-avermelhado
o-aminofenol	Castanho quente	Castanho quente

Fonte: Traduzido de Rust e Schlatter (2016, p. 243).

2.2.3 O Papel dos Surfactantes na Coloração Capilar

Conforme observado no Quadro 1 é comum na embalagem da tintura permanente acompanhar um kit com uma bisnaga de coloração e um frasco de emulsão reveladora, além de outros produtos adicionais como sachê reativador de cor, bisnagas de tratamento (Wella, 2021). Isso ocorre, pois, segundo Robbins (2012) e Zanoni e Yanamaka (2016), as tinturas permanentes devem ser formuladas e fornecidas comercialmente em duas partes distintas, que somente devem ser misturadas no momento do tingimento dos cabelos, uma vez que esse processo envolve reações de oxidação.

Um dos componentes do kit seria a base de precursor-acoplador, correspondente à bisnaga de coloração. Ela possui em sua composição surfactantes; agente alcalinizante, para facilitar a oxidação; uma baixa concentração de um agente redutor, para inibir a oxidação pelo ar atmosférico dos precursores; os precursores e acopladores e água. O segundo componente seria a base oxidante – que corresponderia à emulsão reveladora – composta por agente oxidante, o H₂O₂; estabilizador para o peróxido e, às vezes, surfactante (Robbins, 2012; Rust e Schlatter, 2016).

Desse modo, o surfactante pode compor as duas partes essenciais do kit de tintura permanente. Quando integrante da base de precursor-acoplador o surfactante desempenha

as funções de ajudar a dissolver os precursores e acopladores, espalhar a tintura uniformemente sobre o cabelo e servir para o espessamento do produto, para que o mesmo não escorra pelo rosto da pessoa que passará pelo processo de coloração capilar. Essa última função – a de espessante - é a mesma para quando o surfactante está presente na base oxidante (Robbins, 2012).

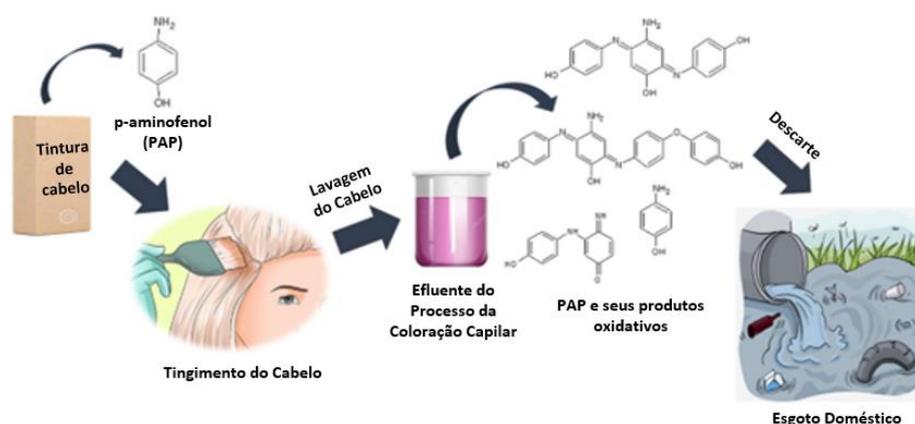
Para as tinturas semipermanente e temporária os surfactantes desempenham funções semelhantes às já descritas. Alguns exemplos de surfactantes (também chamados de tensoativos) comuns em tinturas são lauril sulfato de sódio, cocoamidopropil betaína, lauril metil isetonato de sódio, cocoanfoacetato de sódio (George e Potlapati, 2021). Além de participarem da composição das tinturas, os surfactantes estão presentes na formulação dos xampus, onde eles são os responsáveis pela limpeza e formação de espuma e, ainda, aumento da viscosidade do produto (espessante) (Beneito-Cambra *et al.*, 2013; Robbins, 2012). Os xampus são comumente usados para a remoção do excesso da tintura na lavagem dos cabelos.

No entanto, segundo Robbins (2012), a lavagem dos cabelos para a remoção do excesso de tintura, após o processo de coloração, deveria ser feita somente com água para a tintura permanente (o autor não menciona uso de xampu ou condicionador) e somente com condicionador, e não com xampu, para a semipermanente. Com a lavagem dos cabelos, após o processo de coloração dos fios, é gerado o efluente, o qual será assunto do próximo subcapítulo.

2.3 Efluentes Gerados no Processo de Coloração Capilar

Segundo Hueber-Becker *et al.* (2004) apenas 13% da tintura permanente aplicada no cabelo permanece no mesmo após o procedimento de tingimento. O restante, em torno de 87%, é removido no momento da lavagem, compondo, assim, o efluente proveniente da coloração capilar, de interesse para este trabalho e exemplificado na Figura 6.

Figura 6: Exemplificação do processo de geração do efluente proveniente de coloração capilar



Fonte: Traduzido de De Souza *et al.* (2020, p. 1).

De acordo com a Figura 6 e Bessegato *et al.* (2018) as águas residuais de coloração capilar são lançadas na rede de esgoto, no Brasil, como efluente doméstico. Além disso, estas águas residuais não passam por nenhum tratamento preliminar antes de seu descarte. Tal prática, para Maifadi *et al.* (2020), resulta em problemas ecológicos e sanitários.

2.3.1 Potenciais riscos à saúde humana e ao meio ambiente relacionados aos efluentes de coloração capilar

As tinturas de cabelo permanentes possuem em suas formulações precursores e acopladores – como PPD, PAP, RSC (presente em 78% das formulações, 60% e 89%, respectivamente), PTD – dentre outros compostos (Hamann *et al.*, 2014). Esses componentes, bem como a BB (subproduto indesejável que pode ser produzido na reação), podem não se fixar totalmente aos cabelos, sendo lançados como efluentes domésticos pelos salões (Bessegato *et al.*, 2018; De Souza *et al.*, 2020; Hueber-Becker *et al.*, 2004).

Bessegato *et al.* (2018) detectou a presença de PPD, BB e RSC em amostras de efluente de salão de beleza. A PPD foi considerada o 'alergênico do ano' em 2006 (Militello *et al.*, 2020). Segundo George e Potlapati (2021) a PPD seria o principal culpado pelas dermatites causadas por tinturas capilares e existem estudos relacionando a intoxicação por PPD e uso de tinturas permanentes com lesões no fígado, rins e aumento no risco do desenvolvimento de câncer. Zanoni *et al.* (2015) demonstraram que espécies reativas de oxigênio geradas pela oxidação da PPD são citotóxicas e induzem dano ao DNA.

Para Park *et al.* (2018) a PPD é um forte agente de sensibilização e quando combinado com H₂O₂ induz a um maior grau de irritação da pele. Qin *et al.* (2019) relata efeito mutagênico e potencial genotoxicidade da PPD, dados estes que, segundo os autores, podem ser importantes para avaliar o risco potencial de carcinogenicidade desse composto. Tem-se também que, entre 3 a 5% da PPD pode ser oxidada gerando a BB, que é um carcinógeno conhecido e um sensibilizador mutagênico, sendo 10 vezes mais tóxica do que a própria PPD (Mishra *et al.*, 2020; Zanoni *et al.*, 2015).

Estudos de De Souza *et al.* mostram que tanto a PTD quanto o PAP podem ser detectados em efluentes de salão (De Souza *et al.*, 2019, 2020). Em 2019, esses autores concluíram que ambos os resíduos de PTD e BB (sob condições oxidativas a PTD produz a BB) são mutagênicos (De Souza *et al.*, 2019). Além disso, o PAP pode ser detectado em amostras de efluente antes e depois de passarem por processo de tratamento convencional (De Souza *et al.*, 2020).

Maiti *et al.* (2016) confirma a natureza citotóxica de tinturas permanentes e alerta que a descarga de seus resíduos representa séria ameaça à flora e fauna aquáticas. Para os autores, os poluentes provenientes das águas residuais de processo de coloração capilar podem levar à contaminação não só dos organismos aquáticos, como peixes e camarões (contaminação direta por contato), mas de todo o ecossistema através da cadeia alimentar (biomagnificação).

As tinturas capilares temporárias e semipermanentes (não oxidativas) também representam riscos ao meio ambiente e à saúde humana. Como exemplo, os corantes do tipo “azo” usados nessas tinturas apresentam certa toxicidade, sendo utilizados também por indústrias têxteis, de papel, alimentos, entre outras (Khan *et al.*, 2021; Selvaraj *et al.*, 2021).

2.3.2 Tratamento Convencional dos Efluentes Domésticos

De modo geral, o tratamento convencional dos efluentes domésticos em uma estação de tratamento de esgoto (ETE) ocorre através de pré-tratamento (remoção de sólidos grosseiros e areia) e tratamentos primários e secundários. Os tratamentos primários servem para a remoção de partículas finamente divididas e de baixa densidade e materiais graxos e oleosos.

Já os secundários ocorrem através de processos biológicos e caracterizam o tratamento de esgoto propriamente dito, visto que visam a oxidação da matéria orgânica (ANA, 2020; Krishna e Manickam, 2017). Existem também os tratamentos terciários que servem para polimento, pois focam na remoção de poluentes específicos do efluente (Ameta, 2018; Dhodapkar e Gandhi, 2019).

Como exemplos de tratamentos terciários existem as técnicas de adsorção, filtração, bioprocessos, processos oxidativos avançados (POAs), entre outros (Ameta, 2018; Dhodapkar e Gandhi, 2019; Kaur *et al.*, 2019). A adsorção consiste na transferência de fase do adsorbato (material sólido, líquido ou gasoso) de uma fase fluida para o adsorvente (fase sólida). Dentre os materiais usados como adsorventes estão o carvão ativado, areia, zeólitas, nanotubos de carbono, quitosana, entre outros (Sahoo e Prelot, 2020).

A filtração pode ser lenta ou rápida e ocorre através de uma barreira física que pode ser um meio filtrante constituído, por exemplo, por materiais adsorventes ou através de membranas (que podem ser de micro, ultra ou nanofiltração, a depender do tamanho da partícula a ser removida) (Ameta, 2018; Roy *et al.*, 2020). No tratamento de efluentes por meio de bioprocessos são utilizados microrganismos, como bactérias, fungos, algas que funcionam como catalisadores biológicos para a degradação dos poluentes (Mohanakrishna *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2020) ou para produzir algum biomaterial, como exemplo a quitosana (biopolímero), para auxiliar no tratamento do efluente (Cook e Gude, 2019).

Os POAs – como fotocatalise solar, fotoeletrocatalise (PEC), oxidação por permanganato de potássio, oxidação de Fenton – fazem uso de um agente oxidante forte para produzir o radical hidroxila ($\text{OH}\bullet$), gerado *in situ* no meio de reação, para a degradação dos poluentes (Radha e Sirisha, 2018). A oxidação por permanganato de potássio usa essa substância como oxidante, já a de Fenton usa H_2O_2 e um catalisador de ferro (Bennedsen, 2014). A fotocatalise faz uso, normalmente, de TiO_2 e uma fonte de luz (luz UV, luz solar) (Prashanth *et al.*, 2021). Na PEC são combinadas eletroquímica e fotocatalise (Radha e Sirisha, 2018).

2.4 Legislação sobre Tratamento de Efluentes de Coloração Capilar

Para que a legislação possa ser respeitada, primeiramente, faz-se necessário o conhecimento do processo de geração e a composição do efluente. Somente depois da análise de suas características é que pode-se avaliar as alternativas de tratamento e decidir, dentre as opções, qual seria a indicada para o efluente em questão.

Em âmbito nacional, a resolução que traça diretrizes ambientais sobre o lançamento dos efluentes é a de nº 430, de 13 de maio de 2011 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Essa resolução complementou e alterou parcialmente a anterior, nº 357, de 17 de março de 2005. A partir desses padrões alguns estados emitem resoluções mais restritivas. O Rio Grande do Sul (RS), por exemplo, dispõe sobre os critérios e padrões de emissão dos efluentes líquidos através da resolução nº 355/2017 do CONSEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente). Deve-se observar que sempre a legislação mais restritiva é a que deve ser seguida.

Na Tabela 1 são apresentados, de forma comparativa, alguns parâmetros importantes para este trabalho, que constam no CONAMA nº 430/2011 e no CONSEMA nº 355/2017. Todavia, ressalta-se que nessas resoluções não são encontradas leis específicas sobre os efluentes provenientes de processos de coloração capilar.

Tabela 1: Padrões de Lançamento de Efluentes em âmbito Nacional (Brasil) e Estadual (RS)

Parâmetro	CONAMA n° 430/2011	CONSEMA n° 355/2017
Cor	-	não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor
DBO ₅ (mg/L)	Remoção mínima de 60%	(1) 120; (2) 110; (3) 80; (4) 70; (5) 60; (6) 50; (7) 40 **
DQO (mg/L)	-	(1) 330; (2) 330; (3) 300; (4) 260; (5) 200; (6) 180; (7) 150 **
Fenóis totais (C ₆ H ₅ OH) (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina) (mg/L)	0,5	0,1
Fósforo Total (PT) (mg/L)	-	(1) 4; (2) e (3) 3; (4) à (6) 2; (7) 1. Eficiência de 75% (para as 7 faixas de vazões) **
Materiais Flutuantes	Ausentes	
Metais Pesados (mg/L)		
Arsênio total (As)	0,5	0,1*
Cádmio total (Cd)	0,2	0,1*
Cromo (Cr)	0,1 (Cr hexavalente) 1,0 (Cr trivalente)	0,1 (Cr hexavalente)* 0,5 (Cr total)*
Cobre total (Cu)	1,0 (Cu dissolvido)	0,5*
Ferro (Fe)	15,0 (Fe dissolvido)	10 (Fe total)
Chumbo total (Pb)	0,5	0,2*
Zinco total (Zn)	5,0	2,0
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	20,0	
pH	Entre 5,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0
Substâncias tenso-ativas que reagem ao azul de metileno (MBAS) (mg /L)	-	2,0
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg/L)	-	(1) 140; (2) 125; (3) 100; (4) 80; (5) 70; (6) 60; (7) 50 **
Temperatura (T)	<40°C	

* Com exceção do Fe e do Zn, o restante dos metais pesados apresentados Tabela 1 terão a aplicação de um fator mínimo de 0,8 sobre as concentrações dos itens com (*), para fixação do padrão de emissão, se as fontes poluidoras apresentarem vazão igual ou superior a 100 m³/dia.

**Padrões de Emissão em Função da Vazão, de acordo com resolução do CONSEMA n° 355/2017. Consideradas 7 faixas de vazão (m³/dia): (1) (Q<100); (2) (100≤Q<500); (3) (500≤Q<1.000); (4) (1.000≤Q<3.000); (5) (3.000≤Q<7.000); (6) (7.000≤Q<10.000); (7) (10.000≤Q).

Fonte: Adaptado de Brasil (2011) e Rio Grande do Sul (2017).

Segundo a ABNT *NBR 16383:2015*, as águas residuais de um salão de beleza devem ter como destinação final a rede de esgoto sanitário ou os sistemas individuais de esgoto sanitário (como as fossas sépticas), sendo vetado o seu lançamento no sistema de coleta de águas pluviais (ABNT/Sebrae, 2016). Conforme visto na seção anterior, o efluente de salões de beleza vem sendo descartado como efluente doméstico comum. Dessa forma, ele se mistura, ao entrar na rede de esgoto municipal, aos esgotos sanitários de outras fontes poluidoras, como o de residenciais, indústrias e estabelecimentos comerciais (Maifadi *et al.*, 2021).

3 Materiais e Métodos

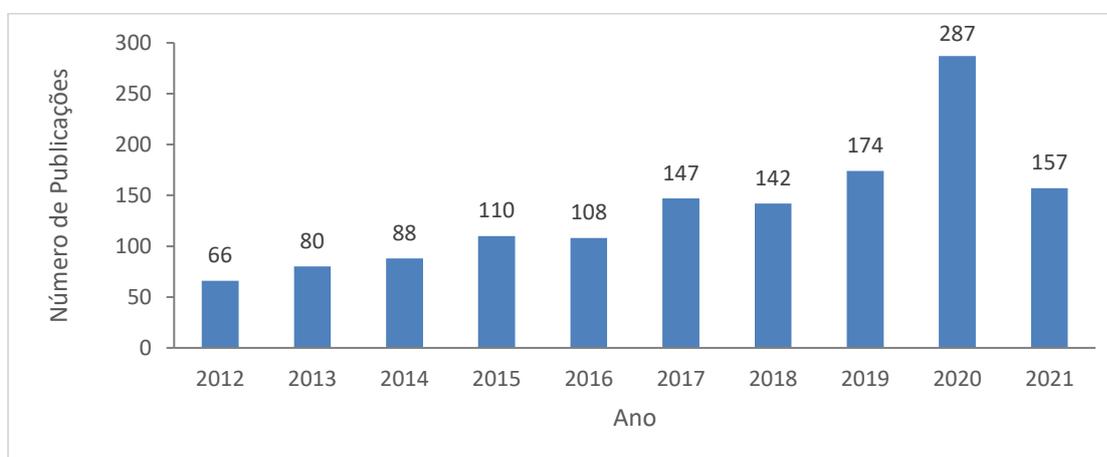
Esta revisão da literatura foi desenvolvida mediante pesquisa bibliográfica, quanto aos procedimentos técnicos adotados. Utilizou-se o método hipotético-dedutivo com uma abordagem quali-quantitativa para o tratamento dos dados coletados. Além disso, a pesquisa assumiu natureza básica estratégica, quanto à finalidade, visando uma proposta de solução para o problema em questão.

Para o levantamento bibliográfico foram consultados bancos de dados e fontes de pesquisa online, como: Science Direct, Engineering Village, Royal Society of Chemistry, Web of Science, Wiley Online Library, Google Acadêmico. As bibliotecas digitais brasileiras foram: Portal de Periódicos CAPES, SciELO (“Scientific Electronic Library Online” ou Biblioteca Eletrônica Científica Online), Sabi+ (Catálogo das Bibliotecas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Publicações Eletrônicas) e LUME (Repositório Digital da UFRGS).

A consulta no LUME, Sabi+, Portal da CAPES e SciELO foi feita por meio das palavras-chave, em português: “coloração capilar”, “tintura de cabelo”, “tinta de cabelo”, “cabeleireiros”, “salão de beleza” juntamente com o termo “tratamento de efluentes”. Já para os demais bancos de dados (mas incluindo o Portal CAPES) foram utilizados os termos, em inglês: “*hair dye or dyes or dyeing*” (que, para alguns bancos, pode ser resumido por “*hair dy??*”, sendo que os dois pontos de interrogação serviram para o buscador completar automaticamente a palavra), “*beauty salon*” ou “*hair salon*” usados em conjunto com uma das duas opções “*wastewater*” ou “*effluent*”, precedidas de AND e seguidas, ou não, da palavra “*treatment*”.

O uso dos operadores booleanos, AND (inclusão, recupera documentos que contêm todos os termos), OR (recupera pelo menos um termo), NOT (exclusão dos termos), foi imprescindível para delimitar os resultados das consultas e otimizar as mesmas. Essa otimização da busca é retratada quando se compara a Figura 7, elaborada a partir de dados da busca feita no Science Direct através dos termos “*hair dye wastewater*”, à Figura 8, feita com dados da busca no Engineering Village – plataforma voltada para trabalhos de engenharia – da seguinte forma: (*beauty or hair*) AND (*salon or dye*) AND (*effluent or wastewater*) NOT (*tannery or cattle or textile*).

Figura 7: Número de publicações por ano, com palavra-chave: “*hair dye wastewater*”



Fonte: Adaptado da base de dados Science Direct.

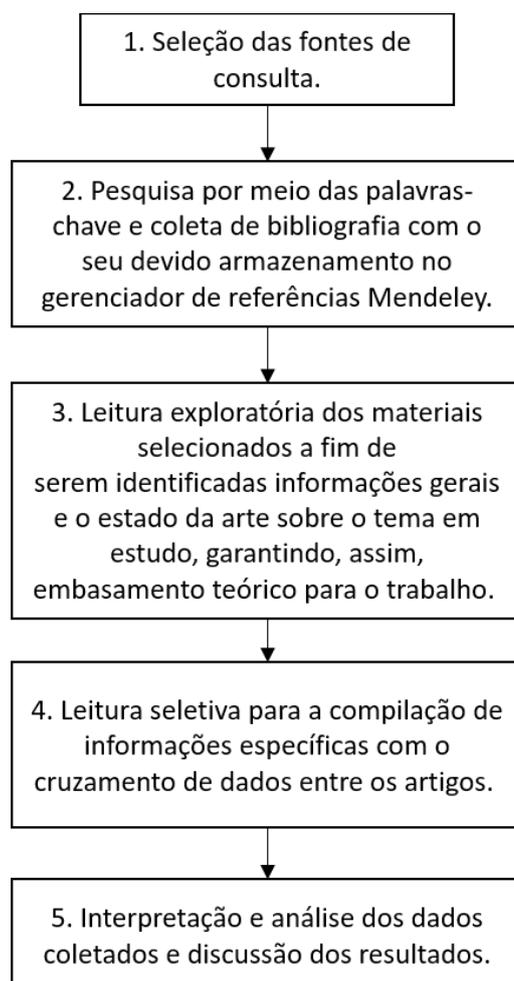
Figura 8: Número de publicações por ano, com palavras-chave: “(beauty or hair) AND (salon or dye) AND (effluent or wastewater) NOT (tannery or cattle or textile)”



Fonte: Adaptado da base de dados Engineering Village.

A partir da pesquisa foram selecionadas publicações, entre os anos de 2012 a 2021, que melhor se relacionaram ao tema de interesse - tratamento de efluentes de coloração capilar. Foram também escolhidos trabalhos procedentes das referências dos artigos encontrados nas bases de dados mencionadas (e que não necessariamente estavam nessas bases). Ao todo, 11 artigos científicos acabaram fazendo parte desta seleção e, por isso, utilizados neste trabalho. Após a seleção das fontes de consulta e das palavras-chave, o procedimento utilizado para a elaboração deste estudo teve a sequência descrita no fluxograma da Figura 9.

Figura 9: As 5 etapas para a elaboração deste trabalho



Fonte: Adaptado de Cauchick-Miguel (2019).

Frente à diversidade e falta de padronização nos diversos dados extraídos das referências pesquisadas, construíram-se as Tabelas A.1, A.2 e A.3, contidas no Apêndice A deste trabalho (os dados apresentados possuem o mesmo número de algarismos significativos das referências pesquisadas, desconsiderando-se os desvios-padrão). Isso foi feito para facilitar a visualização e interpretação das informações apresentadas nos artigos selecionados.

Para ampliar a comparação e discussão dos resultados, alguns dados foram obtidos indiretamente (por leitura de gráficos ou cálculos simples) através do conteúdo fornecido pelas próprias referências. Conhecidos os valores de um mesmo parâmetro para os efluentes bruto (a) e tratado (b) pode-se calcular a porcentagem de remoção para esse parâmetro através:

$$\% \text{ de remoção} = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \times 100 \quad (3.1)$$

Ou, se conhecidos a porcentagem de remoção e pelo menos um dos valores, a ou b, pode-se calcular o outro valor através da mesma equação. Os valores calculados podem ser encontrados na Tabela A.4 do Apêndice A. Além disso, os artigos foram comparados entre si em relação aos parâmetros em comum através da razão entre seus valores.

4 Resultados

Neste capítulo são apresentados os principais resultados obtidos a partir da pesquisa bibliográfica realizada. Nesse sentido, o Quadro 4 contém uma compilação dos 11 trabalhos de pesquisa selecionados, os quais estão relacionados ao tratamento de efluentes de processos de coloração capilar. Através deste, foi possível a identificação dos parâmetros utilizados pelos autores para a caracterização da qualidade dos efluentes tratados.

Na sequência, os estudos são comparados entre si de forma simplificada. Essa comparação foi feita de três formas: pelo tipo de efluente bruto, pelo método de tratamento e pelo tempo empregado. Após, sugere-se um método, dentre os analisados, para o tratamento do efluente específico de coloração capilar a ser realizado localmente em salão de beleza.

Quadro 4: Métodos de tratamento de efluentes de salão de beleza

(continua)

#	Composição do efluente	Condições iniciais do efluente e condições de processo	Método de tratamento	Principais resultados	Referência
1. Efluente de Salão de Beleza no Geral (não exclusivo ao tingimento ou apenas processos capilares)					
I	Efluente real de salão de beleza	Metais pesados: Cd, Cr, Cu, Fe e Zn. CE: 122,00 μ S/cm, Cor: 2,65 Pt/Co, DBO: 20,27 mg/L, DQO: 70 mg/L, Fenol: 0,60 mg/L, N-NH ₄ (?): 32,00 mg/L, N-NO ₃ : 20,02 mg/L, OD: 13,47 mg/L, pH: 10,05, SDT: 1700 mg/L, SST: 406 mg/L, THC: 10,10 mg/L e Turbidez: 950 NTU. C.a. produzido com sabugo de milho pirolisado à T = 250°C, na ausência de O ₂ . 0,5 g de c.a. para até 500 cm ³ de efluente, t = 30 min agitação + 1h repouso	Adsorção com carvão ativado (C.a.)	Metais pesados: n.d. A cor mudou de branco-acinzentado para incolor. CE: 80,01 μ S/cm, Cor: 0,01 Pt/Co, DBO: 5,19 mg/L, DQO: 30,00 mg/L, Fenol: n.d., N-NH ₄ : 5,01 mg/L, N-NO ₃ : 0,05 mg/L, OD: 28,56 (?) mg/L, pH: 7,10, SDT: 72,27 mg/L, SST: 20,17 mg/L, THC: 0,09 mg/L, Turbidez: 20,01 NTU. Redução de 99,62% de cor, 74,4% de DBO, 60,53% de DQO, 84,34% de N-NH ₃ e 97,9% de turbidez	Egbon <i>et al.</i> (2013)
II	Efluente real de salões de beleza	Metais pesados (mg/L): As: 0,002, Cd: 0,027, Cu: 0,067, Fe: 0,063, Pb: 0,010 e Zn: 0,054. CE: 1780,125 μ S/m, DBO: 29,325 mg/L, DQO: 2925,0 mg/L, N-NH ₃ : 13,903 mg/L, N-NO ₃ : 24,025 mg/L, OD: 3,725 mg/L, pH: 7,776, PO ₄ : 2,393 mg/L, SDT: 891,375 mg/L, SST: 1662,0 mg/L e Turbidez: 1556,675 NTU. Maiores remoções: vazão de 1L/h	Sistema de filtração com areia, carvão ativado e cascalho	Porcentagens de remoção dos metais pesados: As: 100,000 %, Cd: 59,259%, Cu: 32,836%, Fe: 38,095%, Pb: 100,000% e Zn: 83,333%. Outras porcentagens de remoção: CE: 6,250%, DBO: 21,780%, DQO: 84,487%, N-NH ₃ : 79,249%, N-NO ₃ : 67,727%, OD (mg/L): n.a., pH: 9,877 %, PO ₄ : 67,614 %, SDT: 5,81%, SST: 94,043% e Turbidez: 93,798%	Bryant e Tetteh-Narh (2015)
III	Efluente real de salões de beleza e spas	COT: 1038,25 mg/L, DQO: 6350,25 mg/L, NKT: 4,34 mg/L, OD: 2,75 mg/L, pH: entre 9,1 e 9,5, ST: 2124,75 mg/L, Surfactante: entre 5,2 e 6,8 g/L, Triclosan: entre 4,20 e 5,5 mg/L e Turbidez: 106,56 NTU. Consórcio bacteriano isolado de lodo ativado coletado em estação de tratamento de efluentes comum. Membros do consórcio identificados como <i>Klebsiella sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Salmonella sp.</i> e <i>Comamonas sp.</i> Biotratamento apenas com o consórcio bacteriano: t = 168h, pH 6 e T = 303K	Biorreator com diferentes configurações de membranas cerâmicas de ultrafiltração (UF)	Biotratamento apenas com o consórcio bacteriano: remoções de cor, surfactante e triclosan de 99,04%, 99,12% e 98,14%. Já com a UF, o modo submerso com membranas capilares (fluxo: 140,14 L/(m ² .h)) produziu os melhores resultados de remoção de cor, surfactante e triclosan, que foram de 99,22%, 99,74% e 98,86% (?); e esse método apresentou redução de DQO em 99,33% e de ST em 98,39%, com COT: 0,110 mg/L, DQO: 42,36 mg/L, NKT: 0,54 mg/L, OD: 7,85 mg/L, pH: entre 7,4 e 7,8, ST: 34,29 mg/L e Turbidez: 0,28 NTU	Banerjee <i>et al.</i> (2016)

(continua)

#	Composição do efluente	Condições iniciais do efluente e condições de processo	Método de tratamento	Principais resultados	Referência
2. Efluente de Salão de Beleza de Processos Capilares Diversos (não exclusivo ao tingimento capilar)					
IV	Efluente real de barbearia, com diferentes processos de tratamentos capilares	DQO: 2400,0 mg/L. Todos os experimentos foram conduzidos nas mesmas condições: 1g de adsorvente, 100mL, t = 24 h, T = ambiente	Adsorção, com comparação entre diferentes materiais adsorventes: cabelo humano, carvão ativado e basalto	As eficiências de remoção de DQO foram de 38,3% (1480 mg/L) para o cabelo humano, 63,0% (888 mg/L) para o carvão ativado e 85,0% (360 mg/L) para o basalto	Arslan <i>et al.</i> (2020)
V	Efluente real de salões de beleza femininos, de apenas 4 procedimentos capilares: lavagem com xampu, tratamento, relaxamento e tingimento	Parâmetros para efluentes '1' e '2': CE ($\mu\text{S/cm}$): 344,1 e 453, COT (mg/L): 47,284 e 61,487, pH: 9,34 e 9,77, SDT (mg/L): 309,5 e 315 e Turbidez (NTU): 227 e 945. Efluentes '1' e '2' gerados com produtos de uma mesma marca, porém em '1' é usada a Linha Profissional e em '2' a Comercial. Vazão: 50 mL/min	Sistema de filtração granular rápida com areia, carvão e zeólita (clinoptilolita)	Os parâmetros para os efluentes '1' e '2' tratados ficaram em: CE ($\mu\text{S/cm}$): 312,8 e 412, COT (mg/L): 0,691 e 0,781, pH: 7,47 e 7,54, SDT (mg/L): 211,4 e 226 e Turbidez (NTU): 0,56 e 2,61. Os percentuais de remoção foram de: 9,1 e 9% para a CE, 98,5 e 98,7% para a COT, 31,7 e 28,2% para os SDT e 99,8 e 99,7% para a turbidez	Maifadi <i>et al.</i> (2020)
VI	Efluente real de salões de beleza femininos, de apenas 4 procedimentos capilares: lavagem com xampu, tratamento, relaxamento e tingimento	CE: 489 $\mu\text{S/cm}$, COT: 22,00 mg/L, pH: 6,16, SDT: 246 mg/L e Turbidez: >1000 NTU	Filtração granular rápida com areia, carvão e zeólita (clinoptilolita) seguida de ultrafiltração com membranas com nanotubos de carbono	Os parâmetros para o efluente tratado com a totalidade do método ficaram em: CE: 125,4 $\mu\text{S/cm}$, COT: 7,97 mg/L, pH: 6,72, SDT: 59,3 mg/L e Turbidez: 0,73 NTU. Os percentuais de remoção entre a filtração e a UF ficaram na faixa de: 40,57% para a CE, 33,19% para a COT, 44,06% para os SDT e 80,84% para a turbidez	Maifadi <i>et al.</i> (2021)

(continua)

#	Composição do efluente	Condições iniciais do efluente e condições de processo	Método de tratamento	Principais resultados	Referência
3. Efluente Exclusivo de Coloração Capilar (seja obtido em salão de beleza, em domicílio ou em laboratório)					
VII	Simulação de efluente de coloração capilar	Cor: entre 1200 e 1220 vezes a da água de torneira, DQO (mg/L): entre 3200 e 4000, pH: entre 8,2 e 9,5, PT (mg/L): entre 72,5 e 315,4 e Turbidez (NTU): entre 368 e 450. t = 60 min	Oxidação de Fenton	As taxas de remoção de cor e de DQO foram de 93,2% e 91,2%, respectivamente	Yin <i>et al.</i> (2014)
VIII	Simulação de efluente de coloração capilar	Cor: entre 1000 e 1200 vezes a da água de torneira, DQO (mg/L): entre 2400 e 3000 (2427), NT (mg/L): entre 254,8 e 390,2, pH: entre 8,2 e 9,5, PT (mg/L): entre 72,5 e 315,4 e Turbidez (NTU): entre 368 e 450. Adsorção: t = 1h, PAC: agitação (300 rpm) por 10 min (+ PAM, agitação (100 rpm) por 20 min, 30 min descanso), KMnO ₄ : 100 rpm por 60 min	Adsorção com carvão ativado seguida de Coagulação com policloreto de alumínio (PAC) e Oxidação com permanganato de potássio (KMnO ₄)	As taxas de remoção de cor e de DQO foram de, respectivamente, 18,29% e 37,79% para somente adsorção com carvão ativado (1300 mg/L); 90,56% e 90,09%, quando adicionado PAC (140 mg/L) sob essa condição; e de 97,37% e 90,22%, quando o tratamento foi finalizado com a adição de solução de KMnO ₄ (70 mg/L)	Yin e Hu (2014)
IX	Efluente real de processo de tingimento de cabelo feito em domicílio	COT: 94,16 mg/L, DBO ₅ : 75,1 mg/L, DBO ₅ /DQO: 0,164, DQO: 433 mg/L, Tensão Superficial: 35,8 mN/m, Toxicidade (EC ₅₀ (%)): <i>V. Fisheri</i> (i) 15,74 e YTT (YTT (atividade de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>) (ii) 25,68 e Turbidez: 268 NTU. [H ₂ O ₂]: ≅ 0 mmol/L. O efluente passou inicialmente por um filtro de sedimentos para remoção de fios de cabelo, areia e excesso de gordura. Fotocatálise solar: 4h (2h + 2h). Floculação com quitosana: 24 h	Fotocatálise solar com fibras têxteis (poliéster-75% e lã-25%) revestidas com TiO ₂ acoplada à floculação com quitosana	Fotocatálise (4h): Compostos Emulsificantes: 32%, COT: 85,24 mg/L, DBO ₅ : 29,1 mg/L, DBO ₅ /DQO: 0,137, DQO: 211 mg/L, Tensão Superficial: 64,0, Toxicidade (EC ₅₀ (%)): <i>V. Fisheri</i> (i) 76,60 e YTT (ii) 94,50 e Turbidez: 65 NTU. Degradação completa das moléculas do corante e de certos compostos aromáticos. Floculação: Compostos Emulsificantes: ≅ 0%, COT: 18,52 mg/L, DBO ₅ : 17,36 mg/L, DBO ₅ /DQO: 0,430, DQO: 40,4 mg/L, Tensão Superficial: 70,1 mN/m, Toxicidade: n.d. e Turbidez: 12 NTU	Grčić <i>et al.</i> (2015)

(conclusão)

#	Composição do efluente	Condições iniciais do efluente e condições de processo	Método de tratamento	Principais resultados	Referência
3. Efluente Exclusivo de Coloração Capilar (seja obtido em salão de beleza, em domicílio ou em laboratório)					
X	Formas utilizáveis das tinturas preparadas em laboratório	Efluente de salão como fonte de bactérias degradadoras de corantes. Pó de bagaço de cana-de-açúcar (PBC) como fonte de nutriente e superfície para o crescimento bacteriano	Biorremediação de baixo custo com bactérias isoladas de efluente de salão	1 mg/ml de corante efetivamente descolorido em 18 h de tratamento com DDB I (<i>Enterobacter cloacae</i>) no meio mínimo contendo 30 mg/ml de PBC. O uso de apenas PBC apresentou desintoxicação de 66,66%, já PBC na presença de DDB I foi de cerca de 85,23%	Maiti <i>et al.</i> (2017)
XI	Efluente real de processo de coloração capilar feito em salão de beleza	CE: 164,0 μ S (?), Cor: 347,3 mg PtCo/L (?), COT: 169,4 mg/L, DQO: 370 mg/L, pH: 7,31 e Turbidez: 64,83 NTU. [H ₂ O ₂]: 18,3 mmol/L (adicionado antes de iniciar o tratamento). t = 90 min para cada processo	Processos Oxidativos Avançados, como: O ₃ /PEC, O ₃ /UV/H ₂ O ₂ e O ₃ /PEC/H ₂ O ₂	Remoção completa de PPD, RSC e BB do efluente em menos de 5 min de tratamento por meio de O ₃ /PEC/H ₂ O ₂ . Os parâmetros do efluente tratado por esse processo ficaram em: CE: 169,8 μ S (?), DQO: <50 mg/L, pH: 6,96 e Turbidez: 8,97 NTU, [H ₂ O ₂]: < 0,138 mmol/L. Percentuais de remoção (dados indiretos obtidos através de análise gráfica): Cor \cong 95% e COT \cong 92% *	Bessegato <i>et al.</i> (2018)**

* As informações do Quadro 4 são de dados diretos obtidos das referências analisadas, com exceção dos percentuais de remoção do estudo de Bessegato *et al.* (2018) (únicos obtidos indiretamente através de gráficos de porcentagem de remoção em função do tempo). Os dados indiretos calculados através da equação 3.1 podem ser encontrados na Tabela A. 4 , no Apêndice A deste trabalho.

** Os trabalhos de Bessegato *et al.* (2014), Bessegato *et al.* (2015) e Bessegato *et al.* (2016) não foram analisados por tratarem a degradação de corantes específicos das tinturas capilares (Vermelho Básico 51 e Azul básico 99 (2014) e Amarelo Ácido 1 (2015, 2016)).

Fonte: Autoria própria.

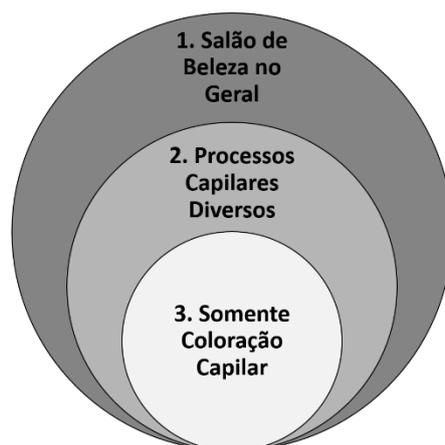
4.1 Análise dos Resultados pelo Tipo de Efluente Bruto

Os 11 artigos do Quadro 4 foram separados em três categorias principais, de acordo com o tipo de efluente bruto tratado, são elas:

1. Efluente de Salão de Beleza no Geral (não exclusivo ao tingimento ou apenas processos capilares)
2. Efluente de Salão de Beleza de Processos Capilares Diversos (não exclusivo ao tingimento capilar)
3. Efluente Exclusivo de Coloração Capilar (seja obtido em salão de beleza, em domicílio ou em laboratório)

Essa divisão foi feita para facilitar a análise dos resultados. A organização dos artigos dessa forma ainda permitiu que o Diagrama de Venn, representado na Figura 10, fosse construído. Em consonância com esse diagrama, os resultados são exibidos do caso mais geral (1) ao mais específico (3).

Figura 10: Os tipos de efluentes bruto tratados nos artigos do Quadro 4



Fonte: A autoria própria.

Vale ressaltar que o enfoque desta monografia é o tratamento do efluente específico de coloração capilar (3). Tendo em vista a pouca quantidade de artigos que abordassem esse tema em particular, a pesquisa foi ampliada para efluentes de salões de beleza. Faz-se a ressalva de que o trabalho de Banerjee *et al.* (2016), apesar de incluir efluentes de spas, também foi analisado nos resultados uma vez que, conforme visto no item 2.1.1, as atividades de spas (não realizadas em estabelecimentos hoteleiros) também fazem parte dos dois principais códigos CNAEs usados por salões de beleza.

Através do Quadro 4 foi possível a identificação, nos 11 artigos, dos parâmetros utilizados para a caracterização do efluente bruto. Foram encontrados 29 parâmetros de controle sendo os mais comuns entre eles a DQO e a turbidez. Os 29 parâmetros, divididos em físicos, químicos e biológicos, são:

- parâmetros físicos: condutividade elétrica (CE), cor, presença de sólidos (SDT, SST e ST), temperatura, tensão superficial e turbidez.

- parâmetros químicos: pH, presença de matéria orgânica (COT, DBO, DQO e DBO/DQO), micropoluentes orgânicos (compostos emulsificantes, fenol, surfactantes, THC e triclosan) e inorgânicos (metais pesados), nitrogênio (NKT, N-NH₃, N-NH₄, N-NO₃ e NT), fósforo (PO₄ e PT), concentração de peróxido de hidrogênio e oxigênio dissolvido.
- parâmetro de caracterização biológica: toxicidade.

4.1.1 Efluente de Salão de Beleza no Geral

Egbon *et al.* (2013), Bryant e Tetteh-Narh (2015) e Banerjee *et al.* (2016) usaram termos genéricos, como “hair dressing” e “hair salon” (salões de cabeleireiros) e “beauty treatment salons and spas” (salões de tratamentos de beleza e spas) ao se referir aos efluentes brutos coletados. Como os valores de DBO para Egbon *et al.* (2013) e Bryant e Tetteh-Narh (2015) ficaram entre 20 e 30 mg/L, inferiu-se que o esgoto sanitário (cloacal, de banheiros) não fez parte dos efluentes desses artigos. Apesar disso, não foi excluída a possibilidade de que águas residuais de outras atividades (que não apenas de processos capilares) poderiam compor os efluentes dessas três referências.

Cinco parâmetros em comum foram avaliados por Egbon *et al.* (2013), Bryant e Tetteh-Narh (2015) e Banerjee *et al.* (2016): DQO, OD, pH, ST e turbidez. Os autores identificaram o efluente bruto com pH básico (> 7,0) e conteúdo de ST entre 2100 e 2600 mg/L. Os valores de DQO e turbidez divergiram entre os três estudos e o OD no trabalho de Egbon *et al.* (2013) foi cerca de 3,6 e 4,9 vezes mais alto que os demais (que ficaram entre 3,75 e 2,75 mg/L, respectivamente). Apenas Egbon *et al.* (2013) mediram a temperatura do efluente coletado, que foi de 29,5 °C. Os valores de OD apresentados por essas referências parecem não seguir os padrões analíticos normais de solubilidade do oxigênio na água.

O trabalho de Egbon *et al.* (2013) foi tomado como base para o trabalho de Bryant e Tetteh-Narh (2015), por esse motivo, foram encontrados mais parâmetros avaliados por ambos os artigos, como: CE, DBO, DBO/DQO, Metais Pesados, N-NO₃, SDT e SST. Os autores encontraram valores em cerca de 7 e 2 vezes maiores para CE e SDT, respectivamente, em comparação a Bryant e Tetteh-Narh (2015). Já o valor de SST foi 4 vezes maior para Bryant e Tetteh-Narh (2015). Porém os valores de DBO e N-NO₃ ficaram próximos entre esses dois artigos (em torno de 20 e 30 mg/L para cada parâmetro). Apenas Banerjee *et al.* (2016) mediram o teor de COT (1038,25 mg/L).

Bryant e Tetteh-Narh (2015) justificaram a elevada turbidez medida no seu efluente bruto (>1500 NTU) pelos altos níveis de SST e SDT, de 1662,000 e 891,375 mg/L, respectivamente. Os três trabalhos obtiveram valores próximos de ST, porém não apresentaram proximidade nos valores de turbidez. Bryant e Tetteh-Narh (2015) explicaram essa diferença devido a composição diversa e complexa entre os efluentes, visto que em seu trabalho foram homogeneizadas efluentes de cinco salões. Egbon *et al.* (2013) coletaram amostras de apenas um salão e Banerjee *et al.* (2016) incluíram, ainda, efluentes de spas.

4.1.2 Efluente de Salão de Beleza de Processos Capilares Diversos

Com respeito ao efluente gerado por processos capilares diversos, três trabalhos fizeram parte da pesquisa: Arslan *et al.* (2020) e Maifadi *et al.* (2020, 2021). O único parâmetro avaliado por Arslan *et al.* (2020) foi a DQO, com valor de 2400 mg/L, sendo próximo ao do efluente de salão obtido por Bryant e Tetteh-Narh (2015). Maifadi *et al.* (2020, 2021) não caracterizam o efluente bruto através desse parâmetro. Por essa razão, só puderam ser comparados os trabalhos de Maifadi *et al.* (2020, 2021) entre si, através dos dados de CE, COT, pH, SDT, turbidez.

Maifadi *et al.* utilizaram, em ambos os estudos, o mesmo procedimento para a coleta dos seus respectivos efluentes brutos. Em 2020, as faixas para os valores de CE, COT e SDT ficaram em 310 e 345 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 45 e 65 mg/L e 305 e 315 mg/L, respectivamente. Porém, em 2021, os valores para esses parâmetros ficaram em aproximadamente 1,4 vezes maior para CE e 2,8 e 1,3 vezes menor para COT e SDT. Destaca-se que o trabalho de Maifadi *et al.* (2021) apresentou o efluente bruto com pH ácido. Esse comportamento diverso entre os dados pode ter ocorrido pela diferença de composição dos efluentes brutos, conforme explicado por Bryant e Tetteh-Narh (2015).

Supõe-se que o pH dos produtos usados possam ter interferido na mudança de comportamento do efluente bruto, pois, segundo Maifadi *et al.* (2021) o mercado dos produtos cosméticos passa por constantes inovações. Pode ser que de um ano para o outro possam ter ocorrido reformulações ou novos produtos foram utilizados pelos salões. Além disso, há a possibilidade da água usada para o enxágue dos cabelos ter afetado no pH do efluente gerado.

A qualidade e a quantidade (diluição) da água usada para gerar o efluente, o número de colorações capilares e se foram realizados mais cortes e lavagens do que tingimentos de cabelo, a época do ano (variações sazonais), dentre outros, também podem influenciar nos valores dos parâmetros encontrados. Destaca-se também que alguns artigos não explicaram como foi realizada a amostragem de coleta do efluente, se foi simples ou composta, se o efluente foi preservado antes de ser analisado, se houve homogeneização ou somente a coleta de sobrenadante.

O efeito da composição na qualidade do efluente também pode ser observado no trabalho de 2020, onde Maifadi *et al.* compararam dois efluentes distintos. Os efluentes foram gerados por dois salões, sendo que um deles usava produtos apenas da linha profissional ('1') e o outro, da linha comercial ('2'). O parâmetro que mais divergiu entre os dois efluentes foi a turbidez, visto que o efluente '2' apresentou cerca de 4,2 vezes maior turbidez que a do '1'. No estudo de 2021, o valor desse parâmetro foi próximo ao do efluente '2'. Para os autores, a elevada turbidez poderia ser atribuída à presença de surfactantes dos produtos de lavagem e coloração dos tratamentos capilares.

4.1.3 Efluente Exclusivo de Coloração Capilar

Foram encontrados na literatura pesquisada somente cinco artigos sobre efluentes obtidos após processo somente de coloração capilar: Yin *et al.* (2014), Yin e Hu (2014), Grčić *et al.* (2015), Maiti *et al.* (2017) e Bessegato *et al.* (2018). Desses, três eram sobre efluentes produzidos em laboratório – Yin *et al.* (2014), Yin e Hu (2014) e Maiti *et al.*

(2017) –, um sobre efluente real obtido após tingimento capilar realizado em domicílio – Grčić *et al.* (2015) – e um sobre efluente real obtido em salão de beleza – Bessegato *et al.* (2018). Por essa razão, os artigos desta seção foram subdivididos em efluente de laboratório e efluente real.

Os cinco trabalhos pesquisados abordaram o efluente contendo tintura capilar do tipo permanente (também mencionada como oxidativa) de cor preta para Yin *et al.* (2014), castanho para Yin e Hu (2014) e castanho escuro para Bessegato *et al.* (2018). Com exceção de Yin e Hu (2014), os estudos mencionaram pelo menos algum dos diversos compostos químicos poluentes das tinturas permanentes, como PAP, PPD, PTD, RSC, citados no item 2.3 desta revisão.

Apenas Maiti *et al.* (2017) não quantificaram os parâmetros de DQO e turbidez do seu efluente. Para Yin e Hu (2014) a DQO do efluente bruto ficou entre 2400-3000 mg/L, próxima à de Arslan *et al.* (2020) (efluente real de barbearia, mas de somente processos capilares), à de Bryant e Tetteh-Narh (2015) (efluente de salão em geral) e à de Yin *et al.* (2014). Essa similaridade no valor de DQO pode ter ocorrido, uma vez que o efluente de laboratório de Yin e Hu (2014) simulava as condições de um efluente real de salão de beleza. Todavia, esse valor de DQO foi de cerca de 6 vezes maior ao dos efluentes reais exclusivos de coloração capilar, os quais obtiveram DQO em torno de 400 mg/L.

A turbidez para os efluentes brutos de Yin *et al.* (2014) e Yin e Hu (2014), entre 368 e 450 NTU, ficaram entre 1,5 e 1,7 vezes a turbidez de Grčić *et al.* (2015), de 268 NTU, e 5,7 e 6,9 vezes a de Bessegato *et al.* (2018), de 64,83 NTU. O valor de turbidez medido por Bessegato *et al.* (2018) foi o mais baixo encontrado dentre todas as referências analisadas.

4.1.3.1 Efluente Real de Coloração Capilar

O efluente real obtido pelo processo de tingimento dos cabelos é composto pelo efluente da tintura juntamente com o efluente de higienização. Esse efluente de higienização é produzido na lavagem dos cabelos para a remoção do excesso da tinta que não foi incorporada aos fios e, pode conter produtos como xampus, condicionadores, máscaras de tratamento, entre outros.

Os valores de DQO para os efluentes reais provenientes somente de coloração capilar apresentaram certa similaridade entre si, visto que Grčić *et al.* (2015) obtiveram DQO em 433 mg/L e Bessegato *et al.* (2018), em 370 mg/L. Diante disso, este foi o único dos efluentes, comparado aos das seções anteriores, em que a diferença no valor da DQO foi apenas de 15%.

Bessegato *et al.* (2018) encontraram um valor de 1,8 vezes maior de COT, porém de 4,1 vezes menor para a turbidez para o efluente não tratado, quando comparado a Grčić *et al.* (2015). Bessegato *et al.* (2018) explicaram que a alta turbidez do efluente de salão poderia ser amplamente atribuída aos compostos químicos presentes nas tinturas de cabelo, como os surfactantes, os quais contêm extensas cadeias de carbono.

Já Grčić *et al.* (2015) afirmaram que, devido ao corante utilizado ser uma emulsão, o efluente bruto poderia ser considerado uma emulsão diluída e seus compostos

deveriam ser considerados como um grupo de poluentes. Dada a impossibilidade de se distinguir e monitorar certos tipos de surfactantes no sistema complexo do efluente em questão, o autor avaliou a concentração de surfactante de forma aproximada por meio da tensão superficial. A baixa tensão superficial do efluente bruto, de 35,8 mN/m, comparada ao valor conhecido para a tensão superficial da água a 25 °C de 71,97 mN/m, indicaria a presença de um grande número de surfactantes nas tinturas capilares.

Bessegato *et al.* (2018) identificaram, por meio de adaptação da técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), a presença de precursores de cor (como PPD e RSC) e do subproduto mutagênico indesejável – BB – no efluente bruto. RSC e PPD foram detectados em 279 nm e BB em 413 nm. Segundo os autores, a PPD foi encontrada em concentrações relativamente baixas como resultado de sua facilidade de ser oxidada à BB. Já o resíduo de RSC foi observado em concentrações maiores, indicando que um excesso desse composto não reagiu na fibra capilar durante o processo de tingimento dos cabelos.

4.1.3.2 *Efluente de Coloração Capilar produzido em Laboratório*

Conforme mencionado, apenas três artigos produziram o efluente de coloração capilar em laboratório. Yin *et al.* (2014) e Yin e Hu (2014) simularam um efluente real de coloração capilar. E, por sua vez, Maiti *et al.* (2017) produziram formas utilizáveis das tinturas em laboratório.

Dentre esses dois casos, inferiu-se que as formas utilizáveis das tinturas seria o mais crítico, uma vez que a mistura entre os componentes da tintura estaria na sua forma mais concentrada. O efluente real produzido após processo de coloração, em que a tintura entra em contato com o cabelo, teria uma parcela dos compostos químicos retidos nos fios após as reações de oxidação. Assim, os parâmetros medidos no efluente bruto real seriam menores do que a simulação em laboratório, devido à ausência do contato da tinta com o cabelo e diluição devido a higienização. Contudo, Maiti *et al.* (2017) não forneceu dados suficientes para que essa hipótese pudesse ser validada.

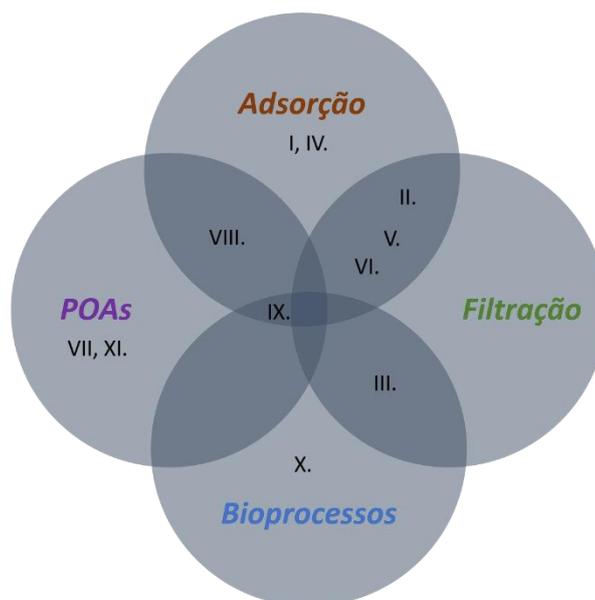
O efluente utilizado no estudo de Yin e Hu (2014) apresentou valores de DQO próximos aos de outros três autores. Além disso, o pH permaneceu básico, assim como o da maioria dos efluentes brutos abordados neste capítulo (com exceção do único trabalho, Maifadi *et al.* (2021), que apresentou pH ácido). E, com exceção dos efluentes de Banerjee *et al.* (2016) e o efluente '2' de Maifadi *et al.* (2020), os efluentes brutos provenientes apenas de coloração capilar foram o tipo de efluente com os menores valores de turbidez (inferiores a 450 NTU).

Após análise e comparação dos resultados referentes aos efluentes brutos dos 11 artigos considerados nesta revisão de literatura, percebeu-se que esses efluentes possuíam uma composição complexa e diversificada. Aliás, de acordo com Maifadi *et al.* (2021), quanto mais produtos são adicionados ao efluente bruto mais difícil será o seu tratamento.

4.2 Análise dos Resultados pelo Tipo de Técnica de Tratamento de Efluente

Os métodos de tratamento do efluente encontrados nos artigos analisados puderam ser agrupados, devido a sua similaridade, em 4 técnicas principais: Adsorção, Bioprocessos, Filtração e Processos Oxidativos Avançados (POAs) (Figura 11). Esses métodos se caracterizam como técnicas avançadas de tratamento de efluente (Ameta, 2018; Dhodapkar e Gandhi, 2019; Kaur *et al.*, 2019).

Figura 11: As 4 técnicas principais dos tratamentos de efluente analisados



I. Adsorção com carvão ativado (Egbon *et al.*, 2013)

II. Sistema de filtração com areia, carvão ativado e cascalho (Bryant e Tetteh-Narh, 2015)

III. Biorreator com diferentes configurações de membranas cerâmicas de ultrafiltração (UF) (Banerjee *et al.*, 2016)

IV. Adsorção: comparação entre cabelo humano, carvão ativado e basalto (Arslan *et al.*, 2020)

V. Sistema de filtração granular rápida com areia, carvão ativado e zeólita (clinoptilolita) (Maifadi *et al.*, 2020)

VI. Filtração granular rápida com areia, carvão ativado e zeólita (clinoptilolita) seguida de ultrafiltração com membranas com nanotubos de carbono (Maifadi *et al.*, 2021)

VII. Oxidação de Fenton (Yin *et al.*, 2014)

VIII. Adsorção com carvão ativado seguida de Coagulação com policloreto de alumínio (PAC) e Oxidação com permanganato de potássio (KMnO₄) (Yin e Hu, 2014)

IX. Fotocatálise solar com fibras têxteis (poliéster-75% e lã-25%) revestidas com TiO₂ acoplada à floculação com quitosana (Grčić *et al.*, 2015)

X. Biorremediação de baixo custo com bactérias isoladas de efluente de salão (Maiti *et al.*, 2017)

XI. Processos Oxidativos Avançados, como: (O₃/PEC), O₃/UV/H₂O₂ e O₃/PEC/H₂O₂ (Bessegato *et al.*, 2018).

Fonte: Autoria própria.

Com base na Figura 11 percebeu-se que mais da metade dos artigos analisados usaram, ao invés de uma técnica isolada, um conjunto de técnicas para tratar o efluente. A adsorção foi a que apareceu com maior frequência entre os artigos. Apenas um trabalho, IX, fez o uso de 3 – POAs, Adsorção e Bioprocessos – das 4 técnicas principais do diagrama. Os autores Yin e Hu (2014) e Grčić *et al.* (2015) também utilizaram técnicas de coagulação ou floculação, as quais não foram incluídas no diagrama pela falta de dados disponíveis para comparação entre as referências.

4.2.1 Adsorção

Seis artigos – Egbon *et al.* (2013), Yin e Hu (2014), Bryant e Tetteh-Narh (2015), Arslan *et al.* (2020) e Maifadi *et al.* (2020, 2021) – utilizaram carvão ativado em pelo menos alguma etapa do tratamento do efluente. Outros materiais testados como adsorventes foram areia e cascalho (Bryant e Tetteh-Narh, 2015; Maifadi *et al.*, 2020, 2021), zeólita (clinoptilolita) (Maifadi *et al.*, 2020, 2021), cabelo humano e basalto (Arslan *et al.*, 2020) e fibras têxteis e quitosana (Grčić *et al.*, 2015).

O método de Yin e Hu (2014) apresentou a melhor remoção de DQO (90,22%) entre os seis artigos que usaram carvão ativado. Egbon *et al.* (2013) e Arslan *et al.* (2020) obtiveram remoções de DQO em torno de 60%. Porém, Arslan *et al.* (2020) compararam o carvão ativado à adsorção isolada com materiais de baixo custo – resíduos de cabelo humano (sem tintura e obtidos dos cortes feitos na própria barbearia, fonte do efluente) e basalto – obtendo remoções de 38,3 e 85%, respectivamente, para a DQO.

Os autores conseguiram remoções de turbidez superiores a 90% (Arslan *et al.* (2020) não avaliou esse parâmetro), sendo que os trabalhos de Maifadi *et al.* (2020, 2021) obtiveram as maiores remoções (>99%). Egbon *et al.* (2013), Bryant e Tetteh-Narh (2015) e Maifadi *et al.* (2020, 2021) avaliaram a remoção de SDT e obtiveram resultados bem diversos, de 95,75%, 5,81%, ~30% (dados referentes às médias entre amostras '1' e '2') e 75,89%, respectivamente. Para a CE estes mesmos autores obtiveram resultados em torno de 34%, 6%, 9% (médias entre amostras '1' e '2') e 74%, respectivamente.

Estes resultados foram justificados, em certo grau, por Egbon *et al.* (2013), Bryant e Tetteh-Narh (2015) e Maifadi *et al.* (2020) pela excelente capacidade de adsorção do carvão ativado. Inclui-se, também, a capacidade remoção de metais pesados desse material, devido suas propriedades de alta área de superfície e tamanho dos poros.

4.2.2 Bioprocessos

Grčić *et al.* (2015) fizeram uso de quitosana na etapa de floculação de seu processo de tratamento estudado. Banerjee *et al.* (2016) e Maiti *et al.* (2017) usaram técnicas envolvendo biorreator e biorremediação, respectivamente e os microrganismos utilizados por esses autores foram caracterizados bioquimicamente como sendo de bactérias gram-negativas e em forma de bastonete. Segundo Maiti *et al.* (2017), os microrganismos são conhecidos por sobreviver em nichos ricos em material recalcitrante e podem fornecer ferramentas valiosas para remediar as tinturas capilares de uma maneira econômica.

A descoloração do efluente foi observado por Grčić *et al.* (2015) em termos da diminuição dos picos nos comprimentos de onda característicos aos cromóforos. O percentual de remoção da cor do efluente alcançado por Banerjee *et al.* (2016) foi de 99,22%. Maiti *et al.* (2017) verificaram a descoloração do efluente na presença de DDB I (enterobactérias) com PBC (meio nutritivo formado por bagaço de cana-de-açúcar), dado que a absorvância do corante diminuiu, indicando sua absorção por DDB I.

A toxicidade do efluente foi examinada por Grčić *et al.* (2015) pelo método luminescente e por teste de toxicidade de levedura. Após as 24h de tratamento com a

quitosana não foram observados impactos nos organismos em nenhum dos testes. Banerjee *et al.* (2016) investigaram o provável potencial citogenotóxico agudo e crônico dos efluentes tratados e não tratados em peixes bagre-australiano, *Heteropneustes fossilis* (Bloch). Concluíram que os indivíduos expostos ao efluente tratado exibiram atividades enzimáticas semelhantes aos níveis de controle, indicando uma desintoxicação eficiente do efluente e este sendo biologicamente seguro para descarga.

Para Maiti *et al.* (2017) a diminuição da absorvância em 508 nm na presença de DDB I com PBC demonstrou diminuição na toxicidade da BB. Além disso, o deslocamento dos três picos principais (412, 305 e 240 nm) indicariam a biotransformação do corante. O estudo toxicológico foi realizado em ambientes aquáticos com microflora natural isolada de lagoas frescas. Vale ressaltar que, apenas na presença de nutrientes, fornecido pelo meio de PBC, que as bactérias foram capazes de transformar o corante em um composto não tóxico. Os valores nutricionais do PBC foram determinados como 12% de açúcar redutor, 1,4% de proteína e 1% de composto fenólico.

4.2.3 Filtração

Sistemas de filtração para o tratamento do efluente foram utilizados por Bryant e Tetteh-Narh (2015) e Maifadi *et al.* (2020, 2021). Maifadi *et al.* (2020) aprimorou o sistema de filtros de Bryant e Tetteh-Narh (2015) ao incorporar zeólitas de clinoptilolita ao leito inicialmente composto por areia, carvão ativado triturado e cascalho. Esse aprimoramento no sistema pode ser identificado com as porcentagens de remoção de CE, que passou de aproximadamente 6% para 9%, e de SDT, que foi de aproximadamente 6% para 30%.

Os autores Banerjee *et al.* (2016) e Maifadi *et al.* (2021) avaliaram sistemas de UF utilizando membranas cerâmicas e poliméricas com nanocompósitos, respectivamente. As membranas de Banerjee *et al.* (2016) atingiram maior porcentagem de remoção de COT, de cerca de 99,99%, quando comparadas as de Maifadi *et al.* (2021), de aproximadamente 64% (ambas porcentagens referentes à totalidade dos tratamentos).

Em 2020, Maifadi *et al.* estudaram um sistema de filtração granular rápida. Essa mesma técnica foi repetida em 2021, onde serviu de pré-tratamento para o novo efluente que passaria por um sistema de ultrafiltração com membranas. Quando comparados os dados das duas técnicas estudadas em 2021, todas as porcentagens de remoção avaliadas – CE, COT, pH, SDT e turbidez – foram superiores com a inclusão da ultrafiltração. Comparados os dados de 2020 com os de 2021, apenas CE, SDT e turbidez tiveram maiores remoções com o estudo de 2021. Isso pode ter ocorrido uma vez que a composição do efluente bruto pode ter afetado o rendimento das membranas.

A porcentagem de remoção de turbidez foi superior a 93% para o tratamento proposto por Bryant e Tetteh-Narh (2015) e superior a 99% tanto para Banerjee *et al.* (2016) quanto para Maifadi *et al.* (2020, 2021). Avaliando-se o pH, os quatro artigos apresentaram porcentagens de redução diversas, de aproximadamente 10%, 18% e 21% para Bryant e Tetteh-Narh (2015), Banerjee *et al.* (2016) e Maifadi *et al.* (2020). Maifadi *et al.* (2021) apresentou comportamento díspar com aumento de pH em cerca de 9% e foi o único que apresentou pH ácido, tanto para os efluentes bruto e tratado.

Banerjee *et al.* (2016) antes da ultrafiltração fizeram uso de bioprocesso. Os dados de remoção de cor, surfactante e triclosan para apenas o consórcio bacteriano foram altos, de 99,04%, 99,12% e 98,14%, respectivamente. Para a UF, os resultados foram de 99,22%, 99,74% e 98,86%. Apesar dos valores das remoções com a UF serem próximos das do consórcio, elas podem ser significativas para a remoção dos poluentes.

4.2.4 POAs

Apenas Yin *et al.* (2014) fizeram uso de uma técnica isolada do tipo POAs. Yin *et al.* (2014) e Yin e Hu (2014) trataram efluentes exclusivos de coloração capilar simulados em laboratório através de oxidação de Fenton e de permanganato de potássio, respectivamente. Grčić *et al.* (2015) propuseram o tratamento do efluente real exclusivo de coloração capilar através da fotocatalise solar. Esse mesmo tipo de efluente foi tratado por Bessegato *et al.* (2018) por meio de processos oxidativos avançados, combinados ou não e, dentre eles, a oxidação fotocatalítica ou PEC obteve os melhores resultados quando combinada na forma de O₃/PEC/H₂O₂.

Com exceção de Grčić *et al.* (2015), que não avaliou esse parâmetro, as outras três referências obtiveram porcentagens de remoção de cor superiores a 93%. Em relação a remoção de DQO, os 4 artigos apresentaram remoções superiores a 86%. Apenas Grčić *et al.* (2015) e Bessegato *et al.* (2018) avaliaram as remoções de COT e turbidez do efluente. Para a fotocatalise solar proposta por Grčić *et al.* (2015) essas remoções foram de 80,33% e 95,52%, respectivamente. Já para o tratamento por meio de O₃/PEC/H₂O₂ de Bessegato *et al.* (2018) essas remoções foram de 92% e 86,16% e em menos de 5 min houve a remoção completa de PPD, RSC e BB do efluente.

Bessegato *et al.* (2018) relataram que o efluente produziu muito espuma, o que dificultou o tratamento e que, por isso, não pode acontecer somente via PEC (tensão de 2,5 V, eletrodo TiO₂NT irradiado por lâmpada UV-C 36W). Segundo os autores, a espuma inibe a formação das espécies oxidantes, cruciais para um processo oxidativo. Quando empregado O₃, as bolhas desse gás aumentaram a formação de espuma, que só pode ser minimizada mantendo-se a solução em recirculação. Em tese de doutorado realizado na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) em parceria com o Laboratório de Separação e Operações Unitárias (LASOP) da UFRGS, foi encontrada a mesma dificuldade na utilização do O₃ para o tratamento do efluente (Rodrigues, 2020).

Foram também encontrados na literatura artigos sobre o tratamento de efluentes de fábrica de: xampu e tinturas por meio de processos anaeróbicos (Ahammad *et al.*, 2012); produtos para cabelo, como xampus, condicionadores, entre outros, por coagulação/floculação, separação por membrana e adsorção com carvão ativado (Melo *et al.*, 2018) e perucas (incluindo seu tingimento) através de floculantes de celulose e membrana dupla (Song *et al.*, 2020).

Apesar desses artigos estarem relacionados ao tingimento capilar e aos salões de beleza, eles não foram incluídos no Quadro 4 por se tratarem de efluentes da indústria. Para terem sido avaliados os efluentes industriais neste trabalho deveriam ter sido consideradas outras palavras chaves para ampliar os resultados de pesquisa. No entanto, chama-se atenção para essas referências pela sua importância e relação com o tema desta monografia.

Menciona-se o estudo de Fraga *et al.* (2013) sobre a oxidação fotoeletrocatalítica de corante vermelho básico 51 (do tipo azo), presente em tintura de cabelo semipermanente. Como as tinturas temporárias e semipermanentes possuem corantes diretos (como os azocorantes) em suas formulações e que, em alguns casos, podem ser utilizados em alimentos, medicamentos e outros cosméticos (corantes dos tipos FD&C e D&C), a identificação na literatura dos trabalhos sobre a degradação dessas substâncias relacionados as tinturas capilares pode se tornar difícil, visto que alguns autores não os associam às palavras chave “tinturas capilares” ou “efluentes de salões”.

Segundo Lima (2021), há vasta literatura sobre a remoção dos corantes diretos das tinturas de cabelo dos efluentes industriais. Devido a isso, apenas trabalhos envolvendo o tratamento de efluentes relacionados a tinturas capilares do tipo permanente foram analisados no Quadro 4.

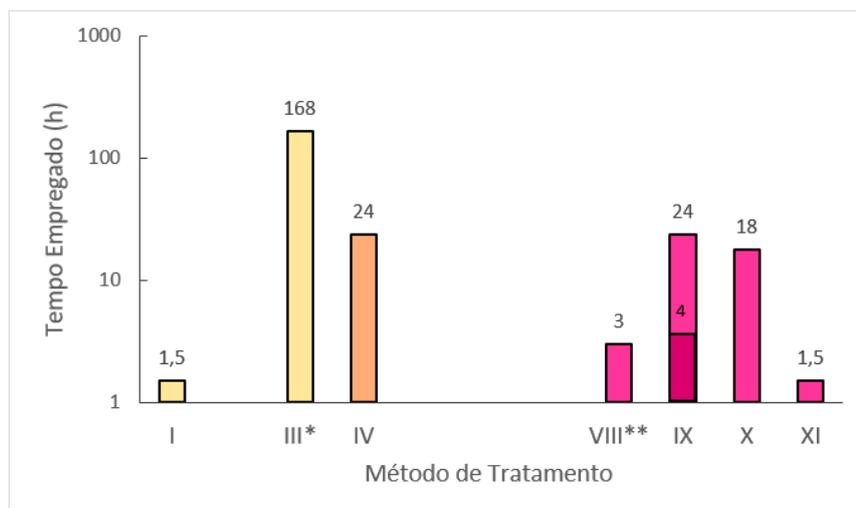
Além disso, foram encontrados artigos anteriores ao ano de 2012 sobre efluentes mais genéricos de produtos de cuidados pessoais e fármacos. Mesmo que as tinturas capilares pertençam a este grupo, os tratamentos de efluente propostos por estes artigos também não foram analisados.

Além destes, cita-se o trabalho de Gonzalez *et al.* (2019) que, ao estudar tinturas de cabelo naturais, sugeriram um aumento na eficiência da coloração com o uso de energia ultrassônica. Segundo os autores, o uso de ultrassom é relatado por aumentar a absorção da tintura e diminuir os tempos de tingimento. Apesar desse estudo não propor o tratamento do efluente, ele propõe um método para aumentar a eficiência da coloração capilar, o que, conseqüentemente, poderia diminuir a quantidade de compostos químicos lançados no efluente.

4.3 Análise dos Resultados pelo Tempo do Tratamento de Efluente

Os métodos de tratamento dos efluentes das referências analisadas apresentaram-se heterogêneos em relação a variável tempo (Figura 12). O conhecimento da duração do tratamento do efluente se configura de extrema importância, já que servirá como um dos principais critérios para a seleção do melhor método a ser utilizado para tratar o efluente específico de coloração capilar, o qual será sugerido na próxima seção.

Figura 12: Duração (com tempo expresso em horas) dos tratamentos de efluente dos artigos analisados, conforme o Quadro 4



III*: Apenas dados para o biotratamento com o consórcio bacteriano.

IX**: 4h equivalem ao processo completo de fotocatalise e 24h correspondem ao processo de floculação com quitosana.

Fonte: Autoria própria.

Com o gráfico da Figura 12, elaborado com os dados de tempo do Quadro 4, observa-se que os tratamentos foram realizados em poucas horas (tempo mínimo) até uma semana (tempo máximo). O tratamento com menor duração, em torno de 1h foi o de número VII – Oxidação de Fenton de Yin *et al.* (2014) – e o mais longo, em torno de 7 dias, foi o III – Biotratamento com consórcio bacteriano estudado por Banerjee *et al.* (2016). Em geral, os tratamentos com POAs foram os mais rápidos.

Os artigos II, III, V, VI que utilizaram tratamentos envolvendo filtração não informaram o tempo empregado para essa técnica. Entretanto, os autores informaram que o tratamento II teve as melhores remoções com vazão de 1L/h, para o III foi usado fluxo volumétrico de 140,14 L/(m².h) e em V a vazão foi de 50 mL/min.

4.4 Sugestão de Tratamento para o Efluente de Coloração Capilar

Para a sugestão do método de tratamento é necessário o conhecimento da qualidade e quantidade do efluente a ser tratado. Quanto menor o grau de particularidade (especificidade) ou, analogamente, quanto mais externa estiver a localização do efluente bruto no diagrama de Venn apresentado na Figura 11, maiores serão as exigências em relação ao seu tratamento. Como os esgotos municipais são mais complexos do que o efluente isolado dos salões de beleza (Maifadi *et al.*, 2021), sugere-se que o tratamento vise o efluente dos salões e, ainda, o específico de coloração capilar, com o enfoque nas tinturas do tipo permanente.

Apesar de que o processo de coloração possa ser realizado sem o auxílio de um profissional e em domicílio, espera-se que um salão de beleza gere um maior volume de efluente relacionado as tintas de cabelo do que uma residência. Assim, a proposta dessa monografia para a solução desse problema dos efluentes das tinturas capilares foi avaliar, com os resultados obtidos, se um dos 11 métodos de tratamento de efluentes

analisados poderia ocorrer em uma cadeira de lavatório de salão. Posto que a técnica de tratamento será implantada em linha nesse local, onde vários tingimentos de cabelo podem acontecer em um dia, o tempo de tratamento do efluente não deve ser longo.

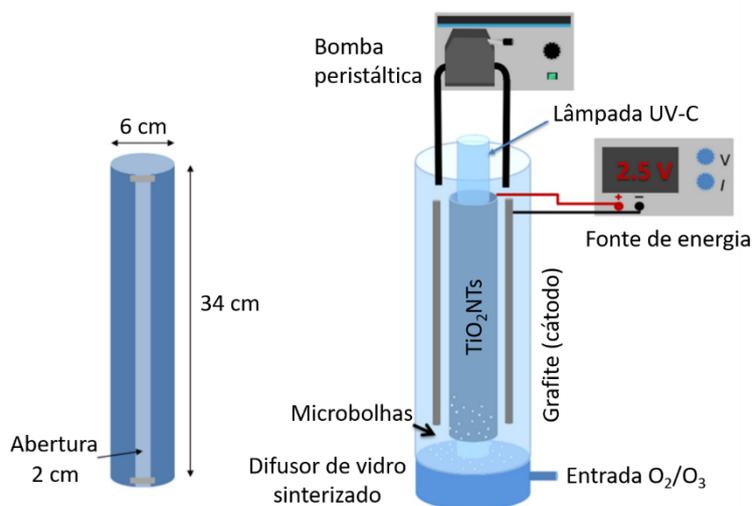
Além do tempo, outra variável importante para a escolha do método de tratamento a ser sugerido seria a remoção dos poluentes das tinturas permanentes do efluente. Conforme a literatura consultada, os principais poluentes que conferem toxicidade ao efluente em questão são compostos como PPD, PTD, BB, PAP, RSC. Apenas duas referências – Maiti *et al.* (2017) e Bessegato *et al.* (2018) – das 11 analisadas, avaliaram a remoção de pelo menos alguma dessas substâncias através dos seus respectivos tratamentos de efluente.

Levando-se em consideração que o método de Maiti *et al.* (2017) teve duração de 18h, ele seria inviável para atender a proposta em questão. Já o método de Bessegato *et al.* (2018) da fotoeletrocatalise combinada $O_3/PEC/H_2O_2$ apresentar-se-ia como potencialmente viável, pois das 1,5 h de tratamento, em menos de 5 min houve a remoção completa de PPD, RSC e BB do efluente. Por essas razões este foi o método escolhido como sugestão.

Acredita-se que a remoção dos poluentes tóxicos das tinturas citados seja o maior problema a ser resolvido. Embora outros métodos de tratamento possam ter apresentado maiores remoções em relação a outros parâmetros medidos, eles não avaliaram a remoção desses compostos. Conforme visto no item 2.4 deste trabalho, estes poluentes tóxicos ainda não constam na legislação CONSEMA e CONAMA. Já parâmetros como cor, DQO, turbidez são normalmente removidos com os tratamentos convencionais de efluente nas ETEs municipais.

O método $O_3/PEC/H_2O_2$ foi desenvolvido em um reator anular do tipo coluna de bolhas de 63,5 mm de diâmetro, com capacidade de 1,3 L, equipado com borbulhadores no fundo para injeção de O_2/O_3 e operado em regime de batelada mantida sob recirculação por uma bomba peristáltica a uma taxa de 1060 mL/min (Figura 13).

Figura 23: O Método de Tratamento de Efluente Sugerido – $O_3/PEC/H_2O_2$



Fonte: Adaptado de Bessegato *et al.* (2018).

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Com o presente trabalho foram identificados 11 artigos, na bibliografia consultada, sobre o tratamento de efluentes relacionados a processos de coloração capilar, sendo apenas 5 deles exclusivos a coloração capilar com tintura do tipo permanente. Nestes, foram encontrados 29 parâmetros utilizados para avaliar a qualidade dos efluentes estudados. Contudo, observou-se não haver, nestas referências, padronização em relação aos parâmetros de controle avaliados, análises e metodologia empregada para a caracterização e amostragem dos efluentes.

Pode-se perceber também que os efluentes relacionados às tinturas capilares são complexos e que a sua composição é variável, dependendo de uma série de fatores. Além disso, o grau de complexidade do efluente aumenta à medida que mais processos, e por conseguinte mais poluentes, são responsáveis pela sua geração. E, quanto mais complexo o efluente, mais difícil torna-se seu tratamento.

Apenas a partir do ano de 2014, com o estudo de Yin e Hu (2014) que os termos PAP, PPD, PTD, RSC – referentes a substâncias químicas tóxicas das tinturas permanentes – surgiram na literatura relacionados ao tratamento de efluentes. Conforme a literatura, esses compostos podem apresentar sérios riscos tanto ao ser humano quanto ao meio ambiente e alguns desses compostos podem não ser totalmente removidos por tratamentos convencionais nas ETEs. Por esses motivos, um pré-tratamento do efluente das tinturas de cabelo, com técnicas avançadas de tratamento, antes que ele seja lançado na rede de esgoto municipal, adquire extrema importância.

Assim, com base nos estudos apresentados, sugeriu-se, de forma teórica, uma técnica de tratamento do efluente de coloração capilar com vistas a ser implementada em linha em uma cadeira de lavatório de salão de beleza. Como critérios para esta sugestão, foram levados em consideração a espécie de efluente, as eficiências e o tempo empregado para os métodos avaliados.

Contudo, novos estudos são necessários para a verificação da viabilidade da implantação do método sugerido no local proposto, como análises da praticidade da técnica, custos, entre outros, com subsequentes testes de bancada e prototipagem do mesmo. Espera-se com este trabalho despertar a preocupação em relação aos efluentes proveniente de processos de coloração capilar, principalmente das populares tinturas permanentes. Outras sugestões de trabalhos futuros são:

- Estimativa da quantidade de efluente gerado em um procedimento de coloração capilar e o número de colorações realizadas diariamente por um salão de beleza para estimativas das vazões de efluente a serem tratadas;
- Estudos que verifiquem a capacidade de remoção dos poluentes tóxicos das tinturas capilares dos métodos de tratamento analisados que não avaliaram esses poluentes; para os métodos que avaliaram algum(s) desses poluentes, ampliar a verificação para os poluentes que não foram avaliados;
- Adaptações de outras técnicas e métodos de tratamento avançado, como a sonicação, para o efluente de coloração capilar, em especial para tinturas

permanentes, que visem avaliar, principalmente, a remoção dos compostos poluentes tóxicos, como PAP, PPD, PTD, RSC, BB, dessas tinturas;

- Estudos da eficiência de remoção dos compostos poluentes das tinturas permanentes pelos métodos convencionais de tratamento das ETEs para que se proponham mudanças na legislação brasileira afim de que os efluentes de salão de beleza não possam mais ser lançados como esgoto doméstico sem terem passado por algum tratamento prévio;
- Técnicas que aumentem a eficiência da coloração capilar, para que uma menor quantidade da tintura seja desperdiçada compondo o efluente;
- Estudos de responsabilidade pós-consumo e logística reversa em relação ao descarte das embalagens das tinturas, devendo as empresas fabricantes de tintura de cabelo orientarem os consumidores para que estes evitem de lavar as embalagens utilizadas – gerando mais efluente relacionado às tinturas capilares – e as descartem em lugares apropriados;
- Novos estudos de mercado em relação as tinturas capilares para estimativas do efluente gerado;
- Estudos que avaliem qual é o tipo de tintura capilar mais tóxica aos seres humanos e ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABIHPEC-SEBRAE. **Caderno de tendências: Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos #2019-2020**. Disponível em: <<https://abihpec.org.br/publicacao/caderno-de-tendencias-2019-2020/>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ABIHPEC. A Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos: Essencial para o Brasil. **Panorama do Setor ABIHPEC - Atualização setembro de 2021**, 2021.

ABNT/SEBRAE. **Guia de Implementação das Normas Técnicas para Salões de Beleza**. Rio de Janeiro, Brasil: Sebrae, 2016.

AHAMMAD, S. Z.; YAKUBU, A.; DOLFING, J.; MOTA, C.; GRAHAM, D. W. Feasibility tests for treating shampoo and hair colorant wastewaters using anaerobic processes. **Water Science and Technology**, v. 65, n. 2, p. 303–308, 2012.

AMETA, S. C. Introduction. In: **Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Emerging Green Chemical Technology**. Rajasthan, India: Elsevier Inc., 2018. p. 1–12.

ANA. Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil. **ANA - Agência Nacional de Águas**, p. 44, 2020.

ARSLAN, H.; SALEH, M.; YALVAÇ, M.; GÜN, M. Treatment of Barber Salon Greywater by Adsorption Process: Comparison of Activated Carbon, Human Hair, and Basalt. **International Journal of Environmental Trends (IJENT)**, v. 4, n. 1, p. 28–37, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16283: Salão de beleza – Terminologia**. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2015.

BANERJEE, P.; DEY, T. KUMAR; SARKAR, S.; SWARNAKAR, S.; MUKHOPADHYAY, A.; GHOSH, S. Treatment of cosmetic effluent in different configurations of ceramic UF membrane based bioreactor: Toxicity evaluation of the untreated and treated wastewater using catfish (*Heteropneustes fossilis*). **Chemosphere**, v. 146, p. 133–144, 2016.

BECHTOLD, T. Natural Colorants in Hair Dyeing. In: **Handbook of Natural Colorants**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2009. p. 339–350.

BENEITO-CAMBRA, M.; HERRERO-MARTÍNEZ, J. M.; RAMIS-RAMOS, G. Analytical methods for the characterization and determination of nonionic surfactants in cosmetics and environmental matrices. **Analytical Methods**, v. 5, n. 2, p. 341–354, 2013.

BENNEDSEN, L. R. *In situ* Chemical Oxidation: The Mechanisms and Applications of Chemical Oxidants for Remediation Purposes. In: **Chemistry of Advanced Environmental Purification Processes of Water: Fundamentals and Applications**. Vejle,

Denmark: Elsevier B.V., 2014. p. 13–74.

BESSEGATO, G. G.; CARDOSO, J. C.; SILVA, B. F. DA; ZANONI, M. V. B. Enhanced photoabsorption properties of composites of Ti/TiO₂ nanotubes decorated by Sb₂S₃ and improvement of degradation of hair dye. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 276, n. February, p. 96–103, 2014.

BESSEGATO, G. G.; CARDOSO, J. C.; DA SILVA, B. F.; ZANONI, M. V. B. Combination of photoelectrocatalysis and ozonation: A novel and powerful approach applied in Acid Yellow 1 mineralization. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 180, p. 161–168, 2016.

BESSEGATO, G. G.; DE SOUZA, J. C.; CARDOSO, J. C.; ZANONI, M. V. B. Assessment of several advanced oxidation processes applied in the treatment of environmental concern constituents from a real hair dye wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 2, p. 2794–2802, 15 abr. 2018.

BESSEGATO, G. G.; CARDOSO, J. C.; ZANONI, M. V. B. Enhanced photoelectrocatalytic degradation of an acid dye with boron-doped TiO₂ nanotube anodes. **Catalysis Today**, v. 240, n. PA, p. 100–106, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). In: **Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.: Diário Oficial da República Federativa do Brasil., 2011.

BRYANT, I. M.; TETTEH-NARH, R. Using Slow Sand Filtration System with Activated Charcoal Layer to Treat Salon Waste Water in a Selected Community in Cape Coast, Ghana. **Journal of Advanced Chemical Engineering**, 2015.

CAUCHICK-MIGUEL, P. A. **Metodologia Científica para Engenharia**. Rio de Janeiro: Ltda., Elsevier Editora, 2019.

CHAN, A. The Depths of Hair Dyes: Understanding Users, Formulating Answers. **Cosmetics & Toiletries®**, v. 133, n. 2, p. 46–58, fev. 2018.

CONCLA. **CNAE 9602-5/01 - Cabeleireiros, manicure e pedicure**. Disponível em: <<https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html?subclasse=9602501&tipo=cnae&versao=9.1.0&view=subclasse>>. Acesso em: 17 mar. 2021a.

CONCLA. **CNAE 9602-5/02 - Atividades de estética e outros serviços de cuidados com a beleza**. Disponível em: <<https://cnae.ibge.gov.br/?view=subclasse&tipo=cnae&versao=&subclasse=9602502>>. Acesso em: 17 mar. 2021b.

COOK, C.; GUDE, V. G. Characteristics of Chitosan Nanoparticles for Water and Wastewater Treatment. **Waste Management**, v. 2025, p. 306–335, 2019.

DA FRANÇA, S.; DARIO, M.; ESTEVES, V.; BABY, A.; VELASCO, M. Types of Hair Dye and Their Mechanisms of Action. **Cosmetics**, v. 2, n. 2, p. 110–126, 22 abr. 2015.

DE OLIVEIRA, R. A. G.; ZANONI, T. B.; BESSEGATO, G. G.; OLIVEIRA, D. P.; UMBUZEIRO, G. A.; ZANONI, M. V. B. A química e toxicidade dos corantes de cabelo. **Química Nova**, v. 37, n. 6, p. 1037–1046, 2014.

DE SOUZA, J. C.; SILVA, B. F. DA; MORALES, D. A.; UMBUZEIRO, G. DE A.; ZANONI, M. V. B. Assessment of the autoxidation mechanism of p-toluenediamine by air and hydrogen peroxide and determination of mutagenic environmental contaminant in beauty salon effluent. **Science of the Total Environment**, v. 685, p. 911–922, 1 out. 2019.

DE SOUZA, J. C.; DA SILVA, B. F.; MORALES, D. A.; UMBUZEIRO, G. DE A.; ZANONI, M. V. B. Assessment of p-aminophenol oxidation by simulating the process of hair dyeing and occurrence in hair salon wastewater and drinking water from treatment plant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 387, n. December 2019, p. 122000, 2020.

DHODAPKAR, R. S.; GANDHI, K. N. Pharmaceuticals and personal care products in aquatic environment: Chemicals of emerging concern? In: **Pharmaceuticals and Personal Care Products: Waste Management and Treatment Technology Emerging Contaminants and Micro Pollutants**. Nagpur, India: Elsevier Inc., 2019. p. 63–85.

EGBON, E. E.; IDODE, V. O.; EGBON, E. I.; CHUKWUMA, P. A. Treatment of Saloon Waste Water Using Activated Carbon. **Chemical and Process Engineering Research**, v. 17, p. 24–28, 2013.

EMPRESÔMETRO. **Os 10 estados com mais cabeleireiros - O CNAE é o segundo com mais negócios ativos no país**. Disponível em: <<https://blog.empresometro.com.br/os-10-estados-com-mais-cabeleireiros/>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

FRAGA, L. E.; FRANCO, J. H.; ORLANDI, M. O.; ZANONI, M. V. B. Photoelectrocatalytic oxidation of hair dye basic red 51 at W/WO₃/TiO₂ bicomposite photoanode activated by ultraviolet and visible radiation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 1, n. 3, p. 194–199, 2013.

GEORGE, N. M.; POTLAPATI, A. Hair colouring: what a dermatologist should know? **International Journal of Research in Dermatology**, v. 7, n. 3, p. 496, 2021.

GONZALEZ, V.; WOOD, R.; LEE, J.; TAYLOR, S.; BUSSEMAKER, M. J. Ultrasound-enhanced hair dye application for natural dyeing formulations. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 52, p. 294–304, 1 abr. 2019.

GRČIĆ, I.; VRSALJKO, D.; KATANČIĆ, Z.; PAPIĆ, S. Purification of household greywater loaded with hair colorants by solar photocatalysis using TiO₂-coated textile fibers coupled flocculation with chitosan. **Journal of Water Process Engineering**, v. 5, p. 15–27, 2015.

HAMANN, D.; YAZAR, K.; HAMANN, C. R.; THYSSEN, J. P.; LIDÉN, C. P-Phenylenediamine and other allergens in hair dye products in the United States: A consumer exposure

study. **Contact Dermatitis**, v. 70, n. 4, p. 213–218, 2014.

HUEBER-BECKER, F.; NOHYNEK, G. J.; MEULING, W. J. A.; BENECH-KIEFFER, F.; TOUTAIN, H. Human systemic exposure to a [14C]-para-phenylenediamine- containing oxidative hair dye and correlation with in vitro percutaneous absorption in human or pig skin. **Food and Chemical Toxicology**, v. 42, n. 8, p. 1227–1236, 1 ago. 2004.

IBGE. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas: subclasses para uso da administração pública - versão 2.3**. Rio de Janeiro, Brasil: IBGE, 2020.

KAUR, H.; HIPPARGI, G.; POPHALI, G. R.; BANSIWAL, A. K. Treatment methods for removal of pharmaceuticals and personal care products from domestic wastewater. In: **Pharmaceuticals and Personal Care Products: Waste Management and Treatment Technology Emerging Contaminants and Micro Pollutants**. Nagpur, India: Elsevier Inc., 2019. p. 129–150.

KHAN, S.; BHARDWAJ, U.; IQBAL, H. M. N.; JOSHI, N. Chemosphere Synergistic role of bacterial consortium to biodegrade toxic dyes containing wastewater and its simultaneous reuse as an added value. **Chemosphere**, v. 284, n. June, p. 131273, 2021.

KIM, K. H.; KABIR, E.; JAHAN, S. A. The use of personal hair dye and its implications for human health. **Environment International**, v. 89–90, p. 222–227, 1 abr. 2016.

KOCH, S. L.; TRIDICO, S. R.; BERNARD, B. A.; SHRIVER, M. D.; JABLONSKI, N. G. The biology of human hair: A multidisciplinary review. **American Journal of Human Biology**, v. 32, n. 2, p. 1–17, 2020.

KRISHNA, I. V. M.; MANICKAM, V. Wastewater Treatment Technologies. In: BSP (Ed.). . **Environmental Management: Science and Engineering for Industry**. 1. ed. [s.l.] Elsevier Inc., 2017. v. 1p. 249–293.

LIMA, M. G. F. DE. Potencial tóxico de tinturas capilares oxidativas e não oxidativas. **Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências**, 3 set. 2021.

MAIFADI, S.; MHLANGA, S. D.; NXUMALO, E. N.; MOTSA, M. M.; KUVAREGA, A. T. Analysis and pretreatment of beauty hair salon wastewater using a rapid granular multimedia filtration system. **Journal of Water Process Engineering**, v. 33, p. 101050, 2020.

MAIFADI, S.; MHLANGA, S. D.; NXUMALO, E. N.; MOTSA, M. M.; KUVAREGA, A. T. Carbon nanotube embedded ultrafiltration membranes for the treatment of rapid granular multimedia prefiltered beauty hair salon and municipal wastewater. **Separation and Purification Technology**, v. 267, n. December 2020, p. 118618, 2021.

MAITI, S.; SASMAL, K.; SINHA, S. S.; SINGH, M. Analysis of cytotoxicity and genotoxicity on *E. coli*, human blood cells and *Allium cepa* suggests a greater toxic potential of hair dye. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 124, p. 248–254, 2016.

MAITI, S.; SINHA, S. S.; SINGH, M. Microbial decolorization and detoxification of emerging environmental pollutant: Cosmetic hair dyes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 338, p. 356–363, 15 set. 2017.

MELO, E. D. DE; MOUNTEER, A.; REIS, E.; COSTA, E.; VILETE, A. Screening of physicochemical treatment processes for reducing toxicity of hair care products wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 212, p. 349–356, 8 fev. 2018.

MILITELLO, M.; HU, S.; LAUGHTER, M.; DUNNICK, C. A. American Contact Dermatitis Society Allergens of the Year 2000 to 2020. **Dermatologic Clinics**, v. 38, n. 3, p. 309–320, 2020.

MOHANAKRISHNA, G.; SRIKANTH, S.; PANT, D. Bioprocesses for waste and wastewater remediation for sustainable energy. In: **Bioremediation and Bioeconomy**. [s.l.] Elsevier Inc., 2016. p. 537–565.

MOREL, O. J. X.; CHRISTIE, R. M. Current Trends in the Chemistry of Permanent Hair Dyeing. **Chemical Reviews**, v. 111, n. 4, p. 2537–2561, 13 abr. 2011.

MUKKANNA, K. S.; STONE, N. M.; INGRAM, J. R. Para-phenylenediamine allergy: Current perspectives on diagnosis and management. **Journal of Asthma and Allergy**, v. 10, p. 9–15, 2017.

PARK, H.; HWANG, J. HYUN; HAN, J. S.; LEE, B. S.; KIM, Y. B.; JOO, K. M.; CHOI, M. S.; CHO, S. A.; KIM, B. H.; LIM, K. M. Skin irritation and sensitization potential of oxidative hair dye substances evaluated with *in vitro*, *in chemico* and *in silico* test methods. **Food and Chemical Toxicology**, v. 121, p. 360–366, 2018.

PRASHANTH, V.; JAYASREE, P.; RAJPUT, P.; REMYA, N. Solar photocatalysis and its application for emerging contaminant removal from wastewater. In: **Advanced Oxidation Processes for Effluent Treatment Plants**. Odisha, India: Elsevier Inc., 2021. p. 69–85.

QIN, M.; CHEN, R.; HUANG, Z.; WANG, J.; XU, S.; JIANG, R.; LI, J.; XIAN, J.; WANG, X.; LU, Y.; XU, L.; CHEN, N.; CHEN, X.; WANG, P.; WANG, T. Application of the *in vivo* Pig-a gene mutation assay to test the potential genotoxicity of p-phenylenediamine. **Food and Chemical Toxicology**, v. 123, p. 424–430, 2019.

RABELO, D. **Como montar um salão de beleza**. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-um-salao-de-beleza,42287a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em: 11 mar. 2021.

RADHA, K. V.; SIRISHA, K. Electrochemical Oxidation Processes. In: **Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Emerging Green Chemical Technology**. Chennai, India: Elsevier Inc., 2018. p. 359–373.

REVISTACABELEIREIROS.COM. O que fazer e quanto custa abrir um salão de beleza. **Revista Cabeleireiros.com, Edição n.º 19**, jun. 2006.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA). In: **Resolução CONSEMA nº 355/2017**. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.: RS, 2017.

ROBBINS, C. R. Dyeing Human Hair. In: **Chemical and Physical Behavior of Human Hair**. 5. ed. Clermont, FL; USA: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. p. 445–488.

RODRIGUES, J. C. Caracterização e tratamentos de efluentes gerados no uso de tinturas capilares. **Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da PUCRS**, 30 abr. 2020.

ROY, D.; KHOSRAVANIPOUR MOSTAFAZADEH, A.; DROGUI, P.; TYAGI, R. D. **Removal of organic micro-pollutants by membrane filtration**. Quebec City, QC, Canada: Elsevier B.V., 2020.

RUST, R. C.; SCHLATTER, H. Hair Dyes. In: DRAELOS, Z. D. (Ed.). **Cosmetic dermatology: Products and Procedures**. 2. ed. Durham, North Carolina, USA: Wiley Blackwell, 2016. p. 239–250.

SAHOO, T. R.; PRELOT, B. **Adsorption processes for the removal of contaminants from wastewater**. [s.l.] Elsevier Inc., 2020.

SBD. **Tinturas**. Disponível em: <<https://www.sbd.org.br/dermatologia/cabelo/cuidados/tinturas/>>. Acesso em: 22 mar. 2021.

SEBRAE. Estudo de Mercado - Salões de Beleza. p. 0–159, 2013.

SEBRAE. Práticas de empreendedorismo para salões de beleza no brasil. **Sebrae**, 2016.

SELVARAJ, V.; KARTHIKA, T. S.; MANSIYA, C.; ALAGAR, M. An over review on recently developed techniques , mechanisms and intermediate involved in the advanced azo dye degradation for industrial applications. v. 1224, 2021.

SINGH, N. K.; PANDEY, S.; SINGH, R. P.; GANI, K. M.; YADAV, M.; THANKI, A.; KUMAR, T. **Bioreactor and bioprocess technology for bioremediation of domestic and municipal wastewater**. [s.l.] Elsevier Inc., 2020.

SONG, Y.; HU, Q.; LI, T.; LI, J.; JIANG, K.; GAO, C. Advanced reclamation of hairwork dyeing effluent using tree-shaped cellulose flocculants and subsequent optimization of dual-membrane performance and fouling behavior. **Journal of Cleaner Production**, v. 268, p. 122348, 2020.

SOUZA, M. M.; BORGES, L. DE O. BEAUTY SALON PARTNER IN PRACTICE: SUBMISSION OR AUTONOMY? **Psicologia e Sociedade**, v. 32, p. 1–16, 2020.

WELLA. **Koleston Coloração Creme com Tecnologia Resistente à Água - Preto**. Disponível em: <<https://www.wella.com/br/produtos/coloracao-permanente/wella-koleston-coloracao-creme-com-tecnologia-resistente-agua-preto-0>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

YIN, J.; LIU, W.; KAI, Y.; WANG, W. Y.; LIANG, L. Study on hair dyeing wastewater by fenton oxidation method. **Applied Mechanics and Materials**, v. 522–524, p. 168–171, 2014.

YIN, J.; HU, Y. Study on hair dyeing wastewater treatment by the union process of adsorption coagulation and potassium permanganate oxide. **Applied Mechanics and Materials**, v. 675–677, p. 638–642, 2014.

ZANONI, M. V. B.; YANAMAKA, H. **Corantes: Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. 1. ed. São Paulo – SP: Cultura Acadêmica - Editora UNESP, 2016.

ZANONI, T. B.; HUDARI, F.; MUNNIA, A.; PELUSO, M.; GODSCHALK, R. W.; ZANONI, M. V. B.; DEN HARTOG, G. J. M.; BAST, A.; BARROS, S. B. M.; MARIA-ENGLER, S. S.; HAGEMAN, G. J.; DE OLIVEIRA, D. P. The oxidation of p-phenylenediamine, an ingredient used for permanent hair dyeing purposes, leads to the formation of hydroxyl radicals: Oxidative stress and DNA damage in human immortalized keratinocytes. **Toxicology Letters**, v. 239, n. 3, p. 194–204, 2015.

APÊNDICE A

Tabela A.1: Dados qualitativos dos parâmetros listados nas referências analisadas

# Parâmetros	1						2		3													
	I		II		III		IV	V, VI	VII	VIII	IX	X	XI									
	Referência (ref.)		Egbon <i>et al.</i> (2013)		Bryant e Tetteh-Narh (2015)		Banerjee <i>et al.</i> (2016)		Arslan <i>et al.</i> (2020)		Maifadi <i>et al.</i> (2020, 2021)		Yin <i>et al.</i> (2014)		Yin e Hu (2014)		Grčić <i>et al.</i> (2015)		Maiti <i>et al.</i> (2017)		Bessegato <i>et al.</i> (2018)	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1 CE	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓
2 Compostos Emulsificantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-
3 Cor	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	•	✓	•	-	-	-	-	-	-	✓	•
4 COT	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	✓	•
5 DBO ou DBO5	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-
6 DBO/DQO	•	•	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-
7 DQO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	•	✓	•	✓	✓	-	-	-	-	✓	✓
8 Fenol	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 H ₂ O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	✓	✓
10 Metais Pesados*	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 NKT	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12 N-NH ₃	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 N-NH ₄	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14 N-NO ₃	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 NT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-
16 OD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	✓	✓
18 PO ₄	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19 PT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 SDT	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21 SST	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 ST	•	•	•	•	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 Surfactante	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24 T	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25 Tensão Superficial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-
26 THC	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 Toxicidade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-
28 Triclosan	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 Turbidez	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	-	-	-	-	✓	✓
Legenda	Direto				✓		1 Salão em Geral				a		Efluente Bruto									
	Indireto (leitura de gráfico, cálculo)				•		2 Processos Capilares				b		Efluente Tratado									
	Não encontrado				-		3 Somente Coloração				*		Cd, Cu, Fe, Zn									
											ref. II		* + (As, Pb)									
											ref. III		* + Cr									

Tabela A.2: Dados numéricos diretos dos parâmetros da Tabela A.1

	1						2				3												
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		
Referência (ref.)	Egbon <i>et al.</i> (2013)		Bryant e Tetteh-Narh (2015)		Banerjee <i>et al.</i> (2016)		Arslan <i>et al.</i> (2020)		Maifadi <i>et al.</i> (2020)		Maifadi <i>et al.</i> (2021)		Yin <i>et al.</i> (2014)		Yin e Hu (2014)		Grčić <i>et al.</i> (2015)		Maiti <i>et al.</i> (2017)		Bessegato <i>et al.</i> (2018)		
# Parâmetros	a	b	a	b	a	b	a	b	a ('1' e '2')	b ('1' e '2')	a	b	a	b	a	b	a	b (4h e 24h)	a	b	a	b	
1 CE (µS/cm)	122,00	80,01	17,80125	16,68875	-	-	-	-	344,1 e 453	312,8 e 412	489	125,4	-	-	-	-	-	-	-	-	164,0	169,8	
2 Compostos Emulsificantes (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32 e ≅ 0	-	-	-	-	
3 Cor (Pt/Co)	2,65	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1200-1220**	•	1000-1200**	•	-	-	-	-	347,3	•	
4 COT (mg/L)	-	-	-	-	1038,25	0,11	-	-	47,284 e 61,487	0,691 e 0,781	22,00	7,97	-	-	-	-	94,16	85,24 e 18,52	-	-	169,4	•	
5 DBO ou DBO ₅ (mg/L)	20,27***	5,19***	29,325	22,938	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75,1	29,1 e 17,36	-	-	-	-	
6 DBO/DQO	•	•	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,164	0,137 e 0,430	-	-	-	-	
7 DQO (mg/L)	70	30,00	2925,000	453,750	6350,25	42,36	2400,0	360 * ⁵	-	-	-	-	3200-4000	•	2400-3000 (2427)	•	433	211 e 40,4	-	-	370	<50	
8 Fenol (mg/L)	0,60	n.d.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9 [H ₂ O ₂] (mmol/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10 Metais Pesados*	✓	n.d.	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	18,3	0,138
11 NKT (mg/L)	-	-	-	-	4,34	0,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12 N-NH ₃ (mg/L)	-	-	13,903	2,885	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 N-NH ₄ (mg/L)	32,00	5,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14 N-NO ₃ (mg/L)	20,02	0,05	24,025	7,863	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 NT (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	254,8-390,2	-	-	-	-	-	-	-	-
16 OD (mg/L)	13,47	28,56	3,725	4,038	2,75	7,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 pH	10,05	7,10	7,776	7,008	9,1-9,5	7,4-7,8	-	-	9,34 e 9,77	7,47 e 7,54	6,16	6,72	8,2-9,5	-	8,2-9,5	-	-	-	-	-	-	7,31	6,96
18 PO ₄ (mg/L)	-	-	2,393	0,775	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19 PT (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72,5-315,4	-	72,5-315,4	-	-	-	-	-	-	-	-
20 SDT (mg/L)	1700	72,27	891,375	839,625	-	-	-	-	309,5 e 315	211,4 e 226	246	59,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21 SST (mg/L)	406	20,17	1662,000	99,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 ST (mg/L)	•	•	•	•	2124,75	34,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 Surfactante (g/L)	-	-	-	-	5,2-6,8	0,000052 * ⁴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24 T	29,50	26,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25 Tensão Superficial (mN/m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35,8	64,0 e 70,1	-	-	-	-	-
26 THC (mg/L)	10,10	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 Toxicidade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-
28 Triclosan (mg/L)	-	-	-	-	4,20-5,5	0,074 * ⁴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 Turbidez (NTU)	950	20,01	1556,675	96,538	106,56	0,28	-	-	227 e 945	0,56 e 2,61	>1000	0,73	368-450	-	368-450	-	268	65 e 12	-	-	64,83	8,97	

Legenda	Direto	✓			1 Salão em Geral		* Cd, Cu, Fe, ref. I * + Cr
	Indireto (leitura de gráfico, cálculo)	•			2 Processos Capilares		ref. II * + (As, Pb)
	Não encontrado	-			3 Somente Coloração		** Diferença de Unidade que, nesse caso, seria vezes a da água.
					a Efluente Bruto		*** O autor não explicita ser DBO ou DBO ₅ , nos outros artigos é DBO ₅ .
				b Efluente Tratado		* ⁴ Tratamento apenas com o consórcio bacteriano, o restante dos dados se referem a UF.	
						* ⁵ Referente ao basalto.	

Tabela A.3: Porcentagens de remoção diretas dos parâmetros da Tabela A.1

	Referência (ref.)	1			2			3				
		I	II	III	IV	V	VI * ⁵	VII	VIII	IX	X	XI
#	Percentuais de Remoção (%)					'1' e '2'				4h e 24h		
1	CE	•	6,250	-	-	9,1 e 9,0	40,57	-	-	-	-	•
2	Compostos Emulsificantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Cor	99,62	-	99,04 e 99,22 * ⁴	-	-	-	93,2**	97,37**	-	•	•
4	COT	-	-	•	-	98,5 e 98,7	33,19	-	-	•	-	•
5	DBO ou DBO ₅	74,4***	21,780	-	-	-	-	-	-	•	-	-
6	DBO/DQO	•	•	-	-	-	-	-	-	•	-	-
7	DQO	60,53	84,487	99,33	85 * ⁵	-	-	91,2	90,22	•	-	•
8	Fenol	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	H ₂ O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	•
10	Metais Pesados*	•	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	NKT	-	-	•	-	-	-	-	-	-	-	-
12	N-NH ₃	84,34 (?)	79,249	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	N-NH ₄	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	N-NO ₃	•	67,727	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	NT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	OD	•	n.a.	•	-	-	-	-	-	-	-	-
17	pH	•	9,877	•	-	•	•	-	-	-	-	•
18	PO ₄	-	67,614	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	PT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	SDT	•	5,81	-	-	31,7 e 28,2	44,06	-	-	-	-	-
21	SST	•	94,043	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	ST	•	•	99,12 e 98,39 * ⁴	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Surfactante	-	-	99,74	-	-	-	-	-	-	-	-
24	T	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	Tensão Superficial	-	-	-	-	-	-	-	-	•	-	-
26	THC	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	Toxicidade	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	85,23	-
28	Triclosan	-	-	98,14 e 98,56 * ⁴	-	-	-	-	-	-	-	-
29	Turbidez	97,9	93,798	•	-	99,8 e 99,7	80,84	-	-	•	-	•
Legenda	Direto			✓	1 Salão em Geral						* Cd, Cu, Fe, Zn	
	Indireto (leitura de gráfico, cálculo)			•	2 Processos Capilares						ref. I * + Cr	
	Não encontrado			-	3 Somente Coloração						ref. II * + (As, Pb)	
** Diferença de Unidade que, nesse caso, seria vezes a da água.												
*** O autor não deixa claro ser DBO ou DBO ₅ , nos outros artigos é DBO ₅ .												
* ⁴ Tratamento com o consórcio bacteriano e UF, o restante dos dados se referem a UF.												
* ⁵ Referente ao basalto.												
* ⁶ VI: % de remoção atingida com as membranas de ultrafiltração em relação ao sistema de filtração granular rápida.												

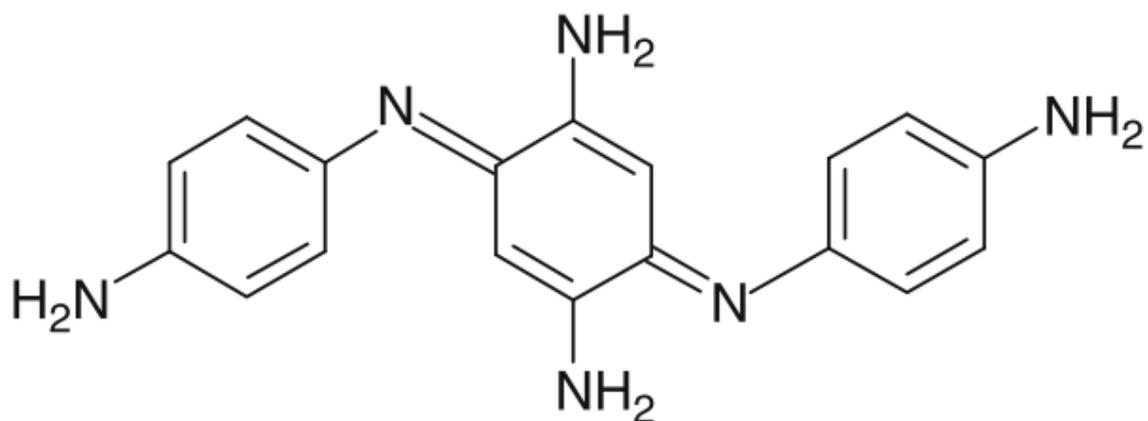
Tabela A.4: Dados indiretos e diretos das Tabelas A.2 e A.3

#	1									2									3																			
	I			II			III			IV			V			VI			VII			VIII			IX			X			XI							
	Egbon <i>et al.</i> (2013)			Bryant e Tetteh-Narh (2015)			Banerjee <i>et al.</i> (2016)			Arslan <i>et al.</i>			Maifadi <i>et al.</i> (2020)			Maifadi <i>et al.</i> (2021)			Yin <i>et al.</i> (2014)			Yin e Hu (2014)			Gräic <i>et al.</i> (2015)			Maiti <i>et al.</i> (2017)			Bessegato <i>et al.</i> (2018)							
a	b	%	a	b	%	a	b	%	a	b	%	a	b	%	a	b	% ^{*7}	a	b	%	a	b	%	a	b	%	a	b	%	a	b	%	a	b	%	a	b	%
1	122,00	80,01	34,42%	17,80125	16,68875	6,250%	-	-	-	-	-	-	344,1 e 453	312,8 e 412	9,1% e 9,0%	489	125,4	74,36%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	164,0	169,8	-3,54%					
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
3	2,65	0,01	99,62%	-	-	-	-	-	99,22% (99,04% ^{*1})	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1200 -1220 ^{**}	82,96 ^{*6}	93,2% ^{**}	1000 -1200 ^{**}	31,56 ^{*6}	97,37% ^{**}	-	-	-	-	-	-	347,3	17,4	95%					
4	-	-	-	-	-	-	1038,25	0,11	99,99%	-	-	-	47,284 e 61,487	0,691 e 0,781	98,5% e 98,7%	22,00	7,97	63,77%	-	-	-	-	-	-	94,16	85,24 e 18,52	9,47% e 80,33%	-	-	-	169,4	13,6	92%					
5	20,27 ^{***}	5,19 ^{***}	74,4%	29,325	22,938	21,780%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75,1	29,1 e 17,36	61,25% e 76,88%	-	-	-	-	-	-					
6	0,29	0,17	40,26%	0,01	0,05	-404,2%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,164	0,137 e 0,430	16,46% e 162,2%	-	-	-	-	-	-					
7	70	30,00	57,14%	2925,000	453,750	84,487%	6350,25	42,36	99,33%	2400,0	360	85%	-	-	-	-	-	-	3200 -4000	352 ^{*6}	91,2%	2427	237,4	90,22%	433	211 e 40,4	51,27% e 90,67%	-	-	-	370	<50	>86,49%					
8	0,60	n.d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	18,3	0,138	99,25%					
10	✓	n.d	-	✓	✓	-	4,34	0,54	87,56%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
12	-	-	84,34%	13,903	2,885	79,249%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
13	32,00	5,01	84,34%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
14	20,02	0,05	99,75%	24,025	7,863	67,272%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	254,8 -390,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
16	13,47	28,56	-112,03%	3,725	4,038	-8,40%	2,75	7,85	-185,45%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
17	10,05	7,10	29,35%	7,776	7,008	9,877%	9,1-9,5	7,4-7,8	17,89% ^{*6}	-	-	-	9,34 e 9,77	7,47 e 7,54	20% e 23%	6,16	6,72	-9,09%	8,2 -9,5	-	-	8,2 -9,5	-	-	-	-	-	-	-	7,31	6,96	4,79%						
18	-	-	-	2,393	0,775	67,614%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72,5 -315,4	-	72,5 -315,4	-	-	-	-	-	-	-					
20	1700	72,27	95,75%	891,375	839,625	5,81%	-	-	-	-	-	-	309,5 e 315	211,4 e 226	31,7% e 28,2%	246	59,3	75,89%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
21	406	20,17	95,03%	1662,000	99,000	94,043%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
22	2106	92,44	95,61%	2553,375	938,625	63,24%	2124,75	34,29	98,39% 99,74% (99,12% ^{*4})	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
23	-	-	-	-	-	-	5,2-6,8	5,2E-05 ^{*4}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
24	29,50	26,78	9,22%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35,8	64,0 e 70,1	-78,77% e 95,81%	-	-	-	-	-	-	-					
26	10,10	0,09	99,11%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
28	-	-	-	-	-	-	4,20-5,5	0,074 ^{*4}	98,86% 98,56% ^{*4}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	85,23%	-	-	-				
29	950	20,01	97,9%	1556,675	96,538	93,798%	106,56	0,28	99,74%	-	-	-	227 e 945	0,56 e 2,61	99,8% e 99,7%	>1000	0,73	>99,93%	368 -450	-	-	368 -450	-	-	268	65 e 12	75,75% e 95,52%	-	-	-	64,83	8,97	86,16%					

Legenda	Direto (dado da referência)	✓	1 Salão em Geral	Melhores resultados comparativamente aos outros dados na mesma linha.	* ⁴ Tratamento apenas com o consórcio bacteriano, o restante dos dados se referem a UF.
	Indireto (leitura de gráfico, cálculo)	•	2 Processos Capilares	* Cd, Cu, Fe, Zn;	* ⁵ Referente ao basalto.
	Não encontrado	-	3 Somente Coloração	ref. I: * + Cr e ref. II: * + (As, Pb)	* ⁶ Referente ao pior caso (maior diferença entre os valores de a e b).
	(?) dúvida em relação ao resultado	-	a Efluente Bruto	** Diferença de Unidade que, nesse caso, seria vezes a da água.	* ⁷ Porcentagens de remoção referentes à totalidade do tratamento (filtração + UF).
	%: porcentagem de remoção	-	b Efluente Tratado	*** O autor não explicita ser DBO ₅ ou DBO ₅ , nos outros artigos é DBO ₅ .	#: Especificação dos Parâmetros seguem a mesma numeração das Tabelas A.1, A.2 e A.3

ANEXO A

Figura A.1: Base de Bandrowski



Fonte: Adaptado de Robbins (2012).