

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
(CEFET-MG)**

Ângella Maris Chagas Costa

**USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NOS PROCESSOS DE ADSORÇÃO
DO AZOCORANTE TARTRAZINA**

Belo Horizonte (MG)

2020

Ângella Maris Chagas Costa

**USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NOS PROCESSOS DE ADSORÇÃO
DO AZOCORANTE TARTRAZINA**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
a obtenção do título de Bacharel em
Química Tecnológica.**

**Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Raquel Vieira
Mambrini.**

**Coorientador: Prof^ª. Dr^ª. Patrícia Sueli
de Rezende.**

Belo Horizonte (MG)

2020

Ângella Maris Chagas Costa

**USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NOS PROCESSOS DE ADSORÇÃO
DO AZOCORANTE TARTRAZINA**

**Trabalho de conclusão de curso do Bacharelado
em Química Tecnológica
CEFET-MG**

Belo Horizonte, 18 de novembro de 2020

**Prof^ª. Dr^ª. Raquel Vieira Mambrini
(orientadora – CEFET-MG)**

**Prof^ª. Dr^ª. Patrícia Sueli de Rezende
(coorientadora - CEFET-MG)**

**Prof^ª. Dr^ª. Adriana de Almeida Pinto Bracarense
(Avaliadora – CEFET-MG)**

**Prof^ª. Dr^ª. Diana Quintão Lima
(Avaliadora CEFET-MG)**

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo apoio, incentivo e paciência dedicados a mim por todos estes anos. Desde a pré-escola até a faculdade vocês acompanharam meu caminho, ajudando e ensinando todas as vezes que eu precisei. Agradeço hoje e sempre por ter sido educada por pessoas tão incríveis, com tantos valores e exemplos a serem seguidos.

Aos meus professores eu agradeço por todo o conhecimento transmitido dentro e fora da sala de aula, em especial à professora Raquel Mambrini pela orientação para a execução do trabalho e à professora Patrícia Rezende pela coorientação.

Agradeço também a todos os meus amigos que me apoiaram e incentivaram, me dando forças nos momentos cruciais, para que eu conseguisse concluir este trabalho, especialmente Débora Souza, Carolina Távora e Walter Alves.

A todos que contribuíram com meu crescimento, muito obrigada!

RESUMO

COSTA, A. M. C.; MAMBRINI, R. V.; REZENDE, P. S. Uso de materiais alternativos nos processos de adsorção do azocorante tartrazina.

Os corantes azo são amplamente utilizados em muitas indústrias, entre as quais as alimentícias, farmacêuticas e têxteis. Quando essas moléculas estão presentes no efluente industrial, mesmo em pequenas quantidades, tornam o seu tratamento, que na maioria dos casos é biológico, difícil. Suas complexas estruturas são altamente estáveis e a presença de grupos sulfônicos ($-\text{SO}_3\text{H}$) torna o corante ácido e altamente solúvel em água. Um exemplo deste tipo de corante é a tartrazina que pode causar efeitos adversos para a saúde humana e quando incorretamente descartada no ambiente promove danos principalmente pela alta carga de compostos orgânicos e sua coloração, que interfere nos processos fotossintéticos. Neste trabalho, foi realizado um levantamento de estudos publicados que descrevem o uso de materiais alternativos no processo de adsorção do corante alimentício tartrazina, com o objetivo de evidenciar as vantagens, desvantagens e aplicabilidade no tratamento de efluentes. De todos os materiais estudados, a soja sem óleo se apresentou promissora devido a grande quantidade de tartrazina adsorvida por grama de adsorvente, porcentagem de remoção e sustentabilidade do processo.

Palavras-chave: Tartrazina. Adsorção. Efluente.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Grupos funcionais presentes em corantes alimentícios. a) Nitro; b) Nitroso; c) Azo; d) Carbonila.....	04
Figura 02 – (a) Fórmula estrutural dos Azocorantes. (b) Destaque (em vermelho) para o grupo funcional azo.....	07
Figura 03 – Fórmula estrutural do Azul de Indigotina.....	08
Figura 04 – (a) Fórmula estrutural dos corantes do grupo Trifenilmetano. (b) Destaque para os grupos funcionais trifenilmetano, sulfônico e amina.	08
Figura 05 – a) Estrutura química do corante amarelo tartrazina; b) Aspecto físico do corante.....	09
Figura 06 – Etapas da adsorção. a) Adsorvato na camada limítrofe; b) Difusão externa; c) Difusão interna; d) Adsorção.....	14
Figura 07 – Isotermas de adsorção.....	15
Figura 08 – Efeito do aumento do pH na remoção da tartrazina.....	17
Quadro 01 – Propriedades dos corantes alimentícios artificiais permitidos no Brasil..	05
Quadro 02 – Concentração de TT em gelatinas, sucos e isotônicos.....	10
Quadro 03 – Quantidade de tartrazina consumida de acordo com o peso corpóreo.....	10
Esquema 01 – Adsorção da tartrazina. a) Protonação da BQR. b) Formação do complexo.....	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Condições experimentais de máxima adsorção.....	20
Tabela 02 – Constantes de Langmuir e Freundlich com destaque em verde para as isothermas favoráveis.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIA	Associação Brasileira da Indústria de Alimentos
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BQR	Bentonita revestida por quitosana reticulada
CA	Carvão ativado
CACB	Carvão ativado de coco babaçu
CAFE	Comunidade acadêmica federada
CC	Casca de coco
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CNNPA	Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COA	Carvão ósseo ativado
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
IDA	Ingestão diária aceitável
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i> (União Internacional de Química Pura e Aplicada)
MS	Ministério da Saúde
SMO	Sementes de <i>Moringa oleífera</i>
STJ	Supremo Tribunal de Justiça
SVS	Secretaria de Vigilância Sanitária
TT	Tartrazina

LISTA DE SÍMBOLOS

q_e	Quantidade de soluto adsorvido por quantidade de adsorvente no equilíbrio (mol g^{-1})
Q°	Constante da máxima energia de adsorção
b	Constante de Langmuir (máxima capacidade de adsorção)
C_e	Concentração no equilíbrio (mol L^{-1})
K_f	Constante de Freundlich relacionada a capacidade de adsorção
n	Constante relacionada à intensidade da adsorção obtida empiricamente

Sumário

1. INTRODUÇÃO	4
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivos específicos	5
3. METODOLOGIA	1
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
4.1. Corantes	1
4.1.1. Corantes alimentícios	1
4.1.1.1. Classes dos corantes artificiais	2
4.1.1.2. Tartrazina	7
4.2. Efluentes contendo corantes	9
4.3. Tratamento convencional de efluentes	11
4.4. Adsorção	12
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.1. Materiais alternativos empregados em processos de adsorção do azocorante tartrazina ..	17
5.2. Estudos de casos	18
6. CONCLUSÃO	28
7. REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos corresponde a 61,7% do saldo total da balança comercial brasileira, atingindo US\$28,8 bilhões em 2019 com 37,7 mil empresas no setor (ABIA, 2019).

O crescimento das indústrias têxteis e de alimentos tem gerado um alto volume de efluentes contendo corantes sintéticos. Estes efluentes apresentam elevadas quantidades de compostos orgânicos, alguns altamente tóxicos para a vida aquática, afetando processos simbióticos, reduzindo a capacidade de reoxigenação da água, dificultando a passagem de luz solar e, conseqüentemente, reduzindo a atividade fotossintética (ANASTACIO et al., 2016; SARTORI, 2018).

Um dos maiores problemas ambientais envolvendo corantes consiste na ampla utilização de azocorantes, espécies químicas de reconhecido efeito carcinogênico e mutagênico, além de tratar-se de substâncias recalcitrantes e não biodegradáveis, o que leva à necessidade de novas tecnologias de tratamento para esses resíduos (SOUZA, 2005).

Os processos convencionais usados para tratar efluentes contendo corantes, como por exemplo a coagulação, floculação e os processos biológicos, apesar da eficiência comprovada para a remoção de carga orgânica, possuem limitações para a remoção deste tipo de compostos, visto que são moléculas recalcitrantes, ou seja, resistentes à digestão aeróbica e estáveis frente a muitos agentes oxidantes especialmente em concentrações reduzidas. Desta forma, vários métodos de tratamentos não convencionais têm sido estudados a fim de remover os corantes de efluentes, como por exemplo, processos de oxidação (AZBAR; YONAR; KESTIOGLU, 2004; QU et al., 2012; ; NAGEL-HASSEMER *et al.*, 2012; SÁ, 2013; YADAV; GARG, 2018), o processo fenton e foto fenton (GONÇALVES *et al.*, 2014; (DA SILVA LEITE et al., 2016; DE LA CRUZ et al., 2012; HASAN; ABDUL AZIZ; DAUD, 2012; ROJAS; GIRALDO; LÓPEZ, [s.d.]; XU et al., 2018) e a adsorção (ALBADARIN et al., 2017; CHRISTOV; VAN DRIESSEL; DU PLESSIS, 1999; FARIA; SOARES; RODRIGUES, 2018; SILVA et al., 2017; TV, [s.d.]; ZINICOVSCAIA et al., 2018).

A adsorção é um método físico-químico muito vantajoso em relação aos outros métodos de tratamento por remover o contaminante sem gerar produto de degradação na solução tratada, que, em alguns casos, é mais tóxico que o próprio contaminante

(DJILANI et al., 2015; MARTINI et al., 2018; MITTAL; MITTAL; KURUP, 2006; ZHANG et al., 2020),

2. OBJETIVOS

A proposta deste trabalho é destacar materiais alternativos que vem sendo utilizados no processo de adsorção do corante alimentício tartrazina.

2.1. Objetivos específicos

- Descrever os parâmetros necessários para escolha de um bom adsorvente na remoção de corantes
- Selecionar artigos que abordem o tratamento de efluentes contendo corantes alimentícios por adsorção
- Verificar a relevância do tema apresentado a partir de publicações recentes
- Apresentar as vantagens e desvantagens no uso de materiais alternativos para remoção do corante alimentício tartrazina

3. METODOLOGIA

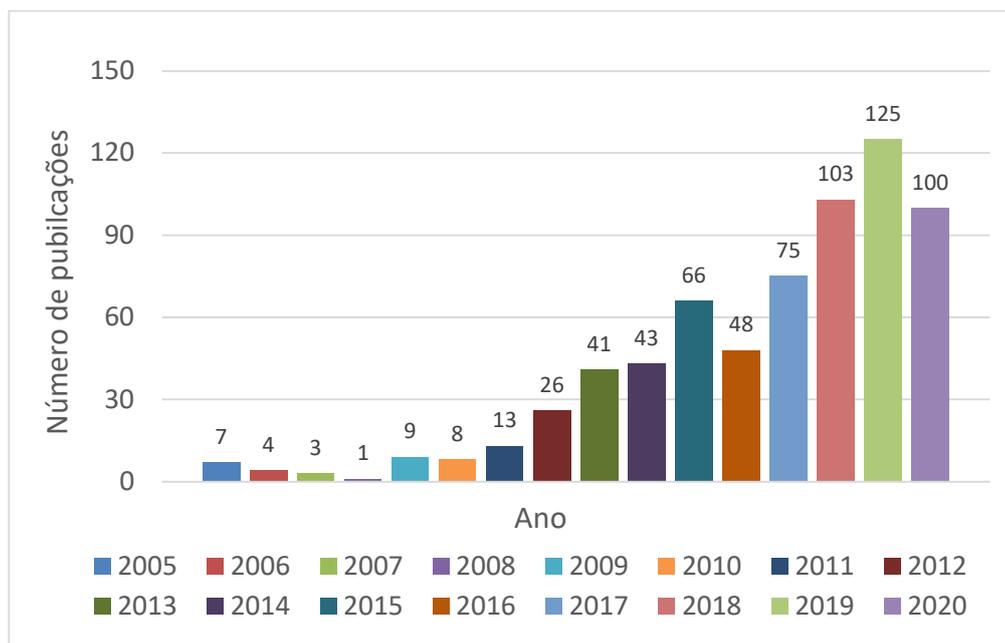
Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica a fim de verificar quais são as legislações referentes aos corantes e aos efluentes; quais os corantes alimentícios são potencialmente danosos a saúde humana e ao meio ambiente e quais são os tratamentos de efluentes disponíveis.

As legislações foram pesquisadas pelo site Google. Informações gerais dos corantes foram pesquisadas em livros da Biblioteca do CEFET-MG (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais) Campus I e pelo site Periódicos Capes através do Acesso CAFe (Comunidade Acadêmica Federada), utilizando os descritores: “*Dye*”, “*Food coloring*”, “*Azo*”, “*Triphenylmethane*”, “*Indigotine*”, “*Effluent*”, “*Treatment*”, “*Adsorption*”, “*Oxidation*”, “*Advanced oxidation process*”, “*Fenton*”, “*Photo Fenton*” e a combinação destes em português e inglês.

Devido à ampla utilização e ao potencial danoso do azocorante Tartrazina, este foi escolhido para o desenvolvimento deste trabalho. A adsorção foi escolhida para o estudo por ser um processo de baixo custo, fácil aplicação, alta eficiência, possibilidade de recuperar o adsorvente e o adsorvato, por remover o contaminante sem gerar produto de degradação na solução tratada apresentando grande potencial para aplicação no tratamento de efluentes.

Uma nova pesquisa bibliográfica mais específica foi realizada pelo site Periódicos Capes combinando os descritores: “*Tartrazine*” AND “*Adsorption*” buscando apenas por artigos em inglês, com o total de 715 (setecentos e trinta e três) resultados. O número de publicações dos últimos 15 anos foi plotado no Gráfico 01.

Gráfico 01 – Número de artigos publicados em inglês até o dia 25 de novembro de 2020 relacionados aos termos “*Tartrazine*” AND “*Adsorption*” nos últimos 15 anos.



Fonte: Periódicos Capes. Gráfico plotado pela própria autora através do Excel.

Dentre todos os artigos pesquisados, foram selecionados para a discussão deste trabalho aqueles que apresentaram pelo menos um material alternativo como provável adsorvente para o azocorante Tartrazina. Os parâmetros escolhidos para classificar o material como alternativo foram: sustentabilidade, biodegradabilidade, fácil obtenção, baixo custo, reaproveitamento de resíduos de indústrias que seriam descartados por não possuírem valor comercial.

A revisão da literatura científica ocorreu durante o período de fevereiro de 2020 a outubro de 2020.

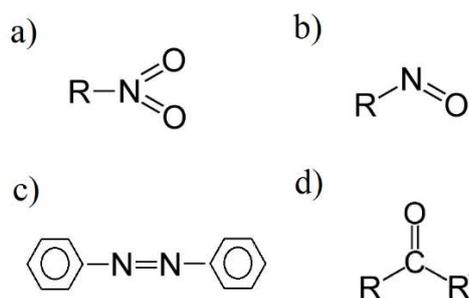
Em posse dos artigos selecionados, foi realizada uma comparação entre os materiais a fim de obter informações quanto a eficiência, vantagens e desvantagens apresentadas por eles.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Corantes

Corantes são substâncias solúveis que conferem cor ao material no qual foram aplicados, devido à presença de grupos cromóforos tais como nitro, nitroso, azo e carbonila, que conferem a propriedade de absorver luz visível seletivamente, sendo por isso coloridos (Figura 01). Também faz parte da molécula do corante os grupos auxócromos como, por exemplo, o sulfônico ($^{-}\text{SO}_3\text{H}$) e o amino ($^{-}\text{NH}_2$), que tem a função de intensificar a cor do grupo cromóforo. Diversas indústrias utilizam corantes em seus produtos. Dentre elas as de papel, cosméticos, tintas, plásticos, fármacos, tecidos e alimentos (GUPTA; SUHAS, 2009; CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA - IV REGIÃO, 2011).

Figura 01 – Grupamentos funcionais presentes em corantes alimentícios. a) Nitro; b) Nitroso; c) Azo; d) Carbonila.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

4.1.1. Corantes alimentícios

Corantes são aditivos alimentares definidos como toda substância que confere, intensifica ou restaura a cor de um alimento. Segundo o Item 1.2 da Portaria SVS/MS 540/97, aditivo é qualquer ingrediente adicionado intencionalmente aos alimentos com o objetivo de modificar suas características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante sua fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação, sem o propósito de nutrir (BRASIL, 1997).

A Resolução da CNNPA (Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos) nº 44, de 1977, apresentou “estabelecer as condições gerais da elaboração, classificação,

apresentação, designação, composição e fatores essenciais de qualidade dos corantes empregados na produção de alimentos (e bebidas)”.

Existem três categorias de corantes permitidas pela legislação para uso em alimentos: os corantes naturais, o corante caramelo e os corantes artificiais. Corantes naturais possuem o pigmento ou corante inócuo extraído de substância vegetal ou animal. O corante caramelo é obtido a partir de açúcares pelo aquecimento em temperatura superior ao seu ponto de fusão. Já corantes artificiais ou sintéticos são substâncias obtidas através de um processo de síntese. Corantes sintéticos apresentam vantagens por serem menos vulneráveis à luz, ao calor, ao oxigênio ou à ação das bactérias, sendo assim mais estáveis além de propiciar cores mais intensas (SÁ, 2013; FREITAS, 2012).

A coloração é a primeira qualidade sensorial pela qual os alimentos são julgados, portanto, essa característica é amplamente utilizada na indústria alimentícia visando atender às expectativas dos consumidores, que associam cor ao sabor, ao cheiro ou à qualidade do produto (SÁ, 2013; FREITAS, 2012).

Dentre os tipos de corantes alimentícios existentes, o foco deste trabalho será nos corantes orgânicos artificiais, em específico no azocorante tartrazina, devido à sua ampla utilização pela indústria alimentícia e às suas propriedades recalcitrantes no tratamento convencional de efluentes.

4.1.1.1. Classes dos corantes artificiais

Os corantes orgânicos artificiais são substâncias não encontradas em produtos naturais. De acordo com as resoluções nº 382 a 388, de 09 de agosto de 1999, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) que considera “a necessidade de constante aperfeiçoamentos das ações de controle sanitário na área de alimentos visando a proteção à saúde da população”, e por isso são permitidos 11 (onze) corantes artificiais no Brasil, que podem ser classificados em 3 (três) grandes grupos: Azo, Indigóide e Trifenilmetano. Suas principais aplicações, ingestão diária aceitável (IDA) e toxicologia estão descritas no Quadro 01 (GAVA, 2009).

Quadro 01 – Propriedades dos corantes alimentícios artificiais permitidos no Brasil.

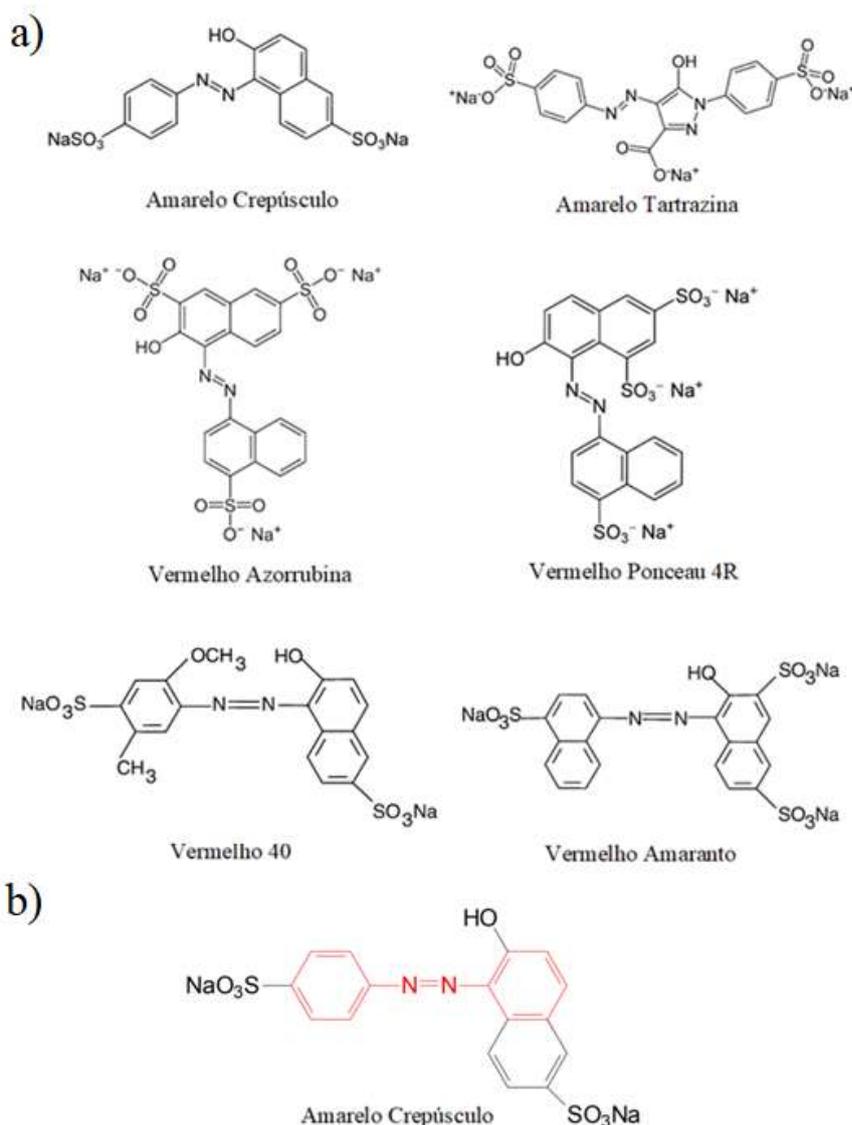
Nome Comercial	Fórmula e Nome IUPAC	Classe	Massa Molar (g)	Código Brasil	Absorção Máxima (nm)	Solubilidade (g 100 mL ⁻¹) a 25 C°	IDA (mg Kg ⁻¹ peso corpóreo)
Tartazina	$C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$ sal tri-sódico 5-hidroxi-1-(4-sulfofenil)-4-[(4-sulfofenil)azo]-pirazole-3-carboxilato	Azo	534,36	E-102	426	20	7,5
Amarelo Crepúsculo	$C_{16}H_{10}N_2Na_2O_7S_2$ sal di-sódico 6- hidroxi-5-[(4-sulfofenil) azo]- naftaleno-2-sulfonato	Azo	452,36	E-110	428	19	2,5
Azorrubina	$C_{20}H_{13}N_2Na_2O_7S_2$ sal di-sódico 4- hidroxi-3- [(4-sulfo-1-naftil) azo]-naftaleno-1-sulfonato	Azo	502,42	E-122	515	5-10 a 19 °C	4,0
Amaranto	$C_{20}H_{12}N_2Na_2O_{10}S_3$ sal tri-sódico do ácido 3-hidroxi-4- (4-sulfo-1-naftil azo)-naftaleno- 2,7-di-sulfonato	Azo	604,46	E-123	523	8	0,5
Ponceau 4R	$C_{20}H_{11}N_2Na_3O_{10}S_3$ sal tri-sódico 7- hidroxi-8- (4-sulfo-1-naftil azo)-naftaleno- 1,3-di-sulfonato	Azo	604,46	E-124	505	25	4,0
Eritrosina	$C_{20}H_6I_4Na_2O_5$ sal di-sódico 2,4,5,7-tetraiodo fluoresceína	Xanteno	879,86	E-127	526	9	0,1

Nome Comercial	Fórmula e Nome IUPAC	Classe	Massa Molar (g)	Código Brasil	Absorção Máxima (nm)	Solubilidade (g 100 mL ⁻¹) a 25 C°	IDA (mg Kg ⁻¹ peso corpóreo)
Vermelho 40	C ₁₈ H ₁₄ N ₂ Na ₂ O ₆ S ₂ sal di-sódico de 1-(2-metoxi-5-metil-4- sulfofenilazo)- 2-naftol-6- sulfonato	Monoazo	496,42	E-129	502	22	7,0
Azul Patente V	C ₂₇ H ₃₁ N ₂ Na ₂ O ₆ S ₂ sal de cálcio di-4- [dietilamino ciclohexa-2,5- dienilideno-(4-dietilaminofenil) metil]-6-hidroxibenzeno – 1,3-di-sulfonato	trifenil-metano	566,66	E-131	635	< 10	15,0
Azul Indigotina	C ₁₆ H ₈ N ₂ Na ₂ O ₈ S ₂ sal di-sódico do ácido 5,5'-indigotino sulfonato	indigóide	466,35	E-132	610	1,6	5,0
Azul Brilhante	C ₃₇ H ₃₄ N ₂ Na ₂ O ₁₀ S ₃ sal tri-sódico de 4',4''-di (N-etil-3- sulfonatobenzil amino)-trifenil metil-2-sulfonato	trifenil-metano	792,84	E-133	629	20	10,0
Verde Rápido	C ₃₇ H ₃₄ N ₂ Na ₂ O ₁₀ S ₃ sal tri-sódico 4- [4-(N-etil-p-sulfobenzil amino) -fenil]-(4-hidroxi-2 -sulfofenil-metileno)-1- (N-etil-N-p-sulfobenzil)-Δ ² ,5-ciclohexa dienimina.	trifenil-metano	808,84	E-143	625	10	10,0

Fonte: ADITIVOS INGREDIENTES (2015) adaptada.

O grupo Azo (Figura 02) tem como cromóforo a ligação dupla entre átomos de nitrogênio. Seus principais precursores são as aminas aromáticas. Também faz parte da molécula grupos auxocromos como, por exemplo, o sulfônico ($^{-}\text{SO}_3\text{H}$) e o amino ($^{-}\text{NH}_2$), que tem a função de intensificar a cor do grupo cromóforo (ADITIVOS INGREDIENTES, 2019; CHUNG, 2016).

Figura 02 – (a) Fórmula estrutural dos Azocorantes. (b) Destaque (em vermelho) para o grupo funcional azo.

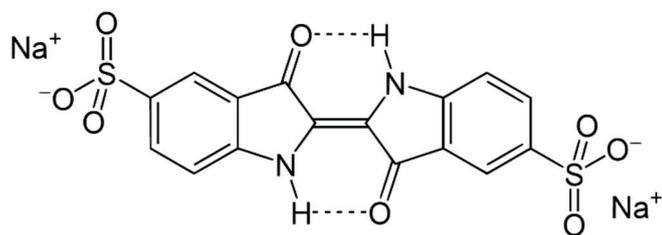


Fonte: ARAÚJO (2016); URQUISA (2001); SÁ (2013)

O grupo Indigóide possui apenas um corante permitido no Brasil, o Azul de Indigotina. Além da indústria alimentícia, também é utilizado na indústria têxtil, na de papel e de celulose. Possui alta estabilidade química e difícil degradabilidade devido à

complexidade da sua estrutura (Figura 03) (ADITIVOS INGREDIENTES, 2019; PAVANELLI, 2010).

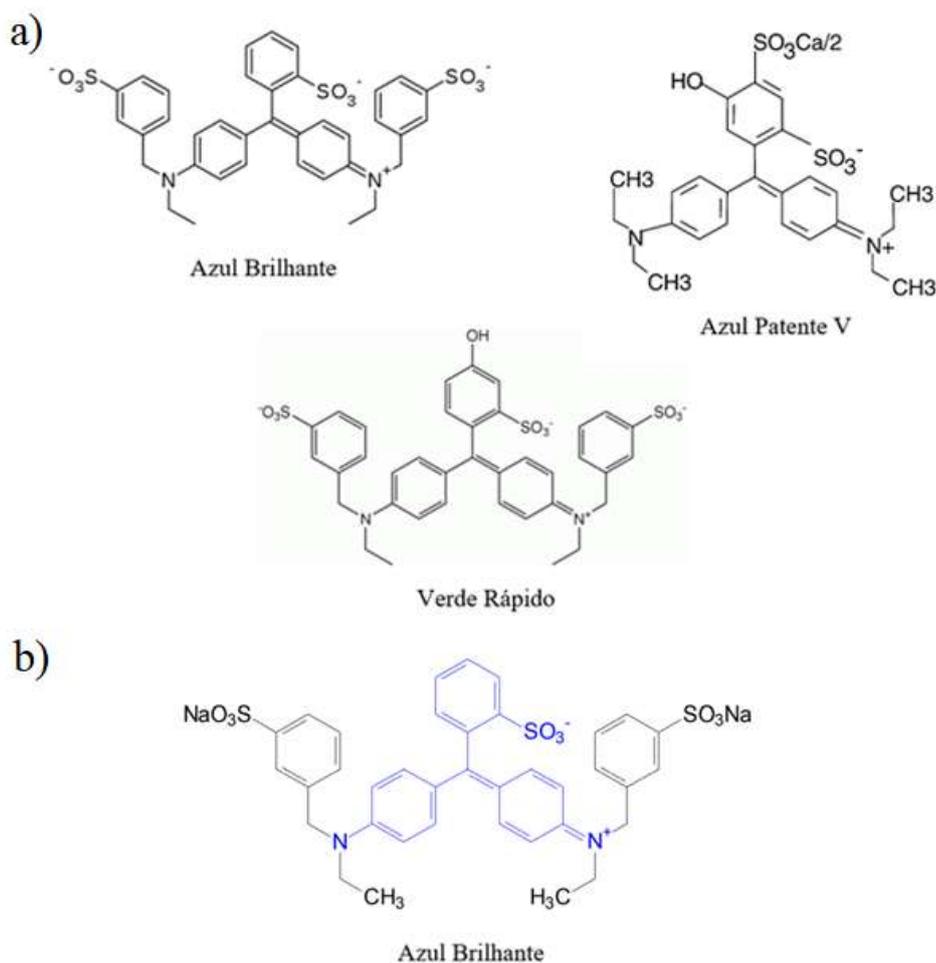
Figura 03 – Fórmula estrutural do Azul de Indigotina



Fonte: PAVANELLI (2010)

O grupo trifenilmetano (Figura 04) possui três grupos arila ligados a um átomo de carbono central. A solubilidade em água é conferida principalmente pela presença de grupos sulfônicos e hidroxilas (ADITIVOS INGREDIENTES, 2019; PAVANELLI, 2010).

Figura 04 – (a) Fórmula estrutural dos corantes do grupo Trifenilmetano. (b) Destaque para os grupos funcionais trifenilmetano, sulfônico e amino.



Fonte: ARAÚJO (2016); URQUISA (2001); SÁ (2013)

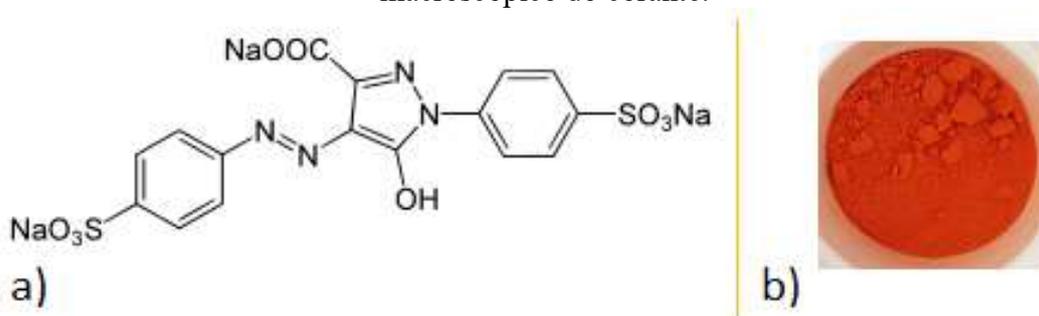
A escolha do corante é de acordo com a aceitação do alimento pelo consumidor por meio de análise sensorial realizada na própria indústria alimentícia antes do produto ser vendido. As cores são diretamente relacionadas aos sabores e influenciam ao ponto de o consumidor não ser capaz de identificar o sabor de bebidas incolores. Em medicamentos, os corantes alimentícios também são utilizados com o objetivo de aumentar a aceitação. (DIAS et al., 2012; TEIXEIRA, 2009).

Os corantes alimentícios artificiais são substâncias químicas sem valor nutricional, adicionados ao alimento apenas para melhorar sua aparência. Quando presentes no efluente, não são degradados pelos métodos tradicionais de tratamento. São compostos recalcitrantes devido à sua estrutura química conter policíclicos aromáticos. Anéis aromáticos demandam muita energia para quebrar a aromaticidade, por isso apresentam grande estabilidade. Ao atingirem os corpos d'água, os corantes dificultam a passagem da luz solar, o que pode prejudicar o processo de fotossíntese pelas plantas aquáticas, além de desencadear o processo de eutrofização, dentre outras consequências. (DOTTO, 2012); (PRADO; GODOY, 2003).

4.1.1.2. Tartrazina

O amarelo tartrazina (TT) (Figura 05) possui massa molar $534,3 \text{ g mol}^{-1}$, ponto de fusão $350 \text{ }^\circ\text{C}$, densidade $1,7660 \text{ g cm}^{-3}$ e solubilidade $20 \text{ g } 100 \text{ mL}^{-1}$ em água a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. É um corante muito empregado na indústria alimentícia e, apesar de ser considerado uma substância carcinogênica, sua aplicação é motivada por apresentar uma excelente estabilidade à luz, calor e ácido, além de possuir a capacidade de descolorir na presença de ácido ascórbico e SO_2 . É caracterizado por apresentar coloração amarelada e sintetizado a partir da tinta de alcatrão (PAROLIN, 2011; FISPQ, 2011; FREITAS, 2012).

Figura 05 – a) Estrutura química do corante amarelo tartrazina; b) Aspecto macroscópico do corante.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os alimentos em que a tartrazina é mais empregada são: cereais, aperitivos, confeitados, coberturas, sobremesas, lácteos aromatizados, massas, molhos, queijos, recheios, refrescos, refrigerantes, sucos de frutas, xaropes para refrescos (FREITAS,2012)

Um estudo realizado por Piasini (2014) identificou as seguintes concentrações de TT em 100 g de alimento (Quadro 02).

Quadro 02 – Concentração de TT em gelatinas, sucos e isotônicos.

Produto	Variável	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Gelatinas	Concentração (mg 100 g ⁻¹)	9	18,8	75,8	34,8	23,7
Sucos	Concentração (mg 100 g ⁻¹)	9	103,6	663,7	180,1	182,0
Isotônicos	Concentração (mg 100 g ⁻¹)	9	2,1	3,6	2,6	0,7

Fonte: PIASINI et al. (2014) adaptada.

A tartrazina é amplamente utilizada desde 1916 na coloração de alimentos, cosméticos e medicamentos por conferir coloração de amarela à alaranjada quando adicionada pura; ou verde, quando misturada a corantes azuis. Este corante pode desencadear reações adversas em seus consumidores. Um estudo realizado com 26 adultos apresentou sintomas como erupção eritematosa, prurido, urticária, congestão nasal, espirros/coceira, tosse e sibilo (assobio agudo durante a respiração), mesmo em doses de 0,4 mg Kg⁻¹ (peso corpóreo – pc), sendo que a ingestão diária aceitável é de 7,5 mg Kg⁻¹ pc. Para efeito de comparação, a quantidade consumida por pessoas de 60, 70 e 80 Kg está descrita no Quadro 03 (PESTANA, 2010).

Quadro 03 – Quantidade de tartrazina consumida de acordo com o peso corpóreo.

Peso Corporal (Kg)	Consumo		IDA
	0,4 mg Kg⁻¹ (mg)	7,5 mg Kg⁻¹ (mg)	
60	24	450	
70	28	525	
80	32	600	

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Comparando os dados do Quadro 02 com o Quadro 03 nota-se que a quantidade de tartrazina em $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ presente em sucos poderia causar sintomas até em adultos de 80 kg, mesmo quando a quantidade acrescentada no produto atende a legislação, sendo que quanto menor o peso corporal, menor a quantidade tolerada.

A tartrazina também é capaz de provocar hiperatividade em crianças (BATEMAN, 2004; MCCANN et al., 2007), agregações amorfas em mioglobina catiônica (AL-SHABIB et al., 2017) e alterações neurobioquímicas em ratos (BHATT et al., 2018). Sua carcinogenicidade é devido a alteração da renovação celular durante o seu crescimento normal ou no processo de hiperplasia regenerativa (HILL, 1993; SUGIMURA, 1982; ANTUNES, 2000).

Em fevereiro de 2019 o Tribunal Regional Federal da 3ª Região fez uma apelação à ANVISA exigindo que a presença do corante amarelo tartrazina (com o nome por extenso) e dos seus malefícios fossem mencionados nos rótulos dos alimentos pois desde 2002 há registros de denúncias à ANVISA de consumidores que apresentaram reações alérgicas após o consumo de alimentos contendo tartrazina, principalmente pessoas alérgicas ao ácido acetil salicílico. Entretanto a ANVISA conseguiu suspender a decisão da justiça em 24 de abril de 2020 pois o ministro Dias Toffoli, presidente do Supremo Tribunal Federal (STF) concluiu que não existem critérios científicos precisos quanto à intolerância alimentar ou alergia que justifiquem a inscrição nos rótulos dos alimentos. Entretanto, realizando uma pesquisa pelo site Periódicos Capes combinando os descritores: “*Tartrazine*” AND “*Disease*” são encontrados 2577 artigos científicos sendo 1355 nos 10 últimos anos (ALIMENTUS CONSULTORIA E ASSESSORIA, 2019; SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL, 2020).

4.2. Efluentes contendo corantes

Segundo Rojas et al (2008) é possível encontrar corantes alimentícios artificiais em efluentes industriais de alimentos, cosméticos e medicamentos.

No Brasil, a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), com a intenção de reduzir os riscos à saúde humana, publicou em 1999, resoluções que instituíam os limites máximos permitidos de corantes para as diversas categorias de alimentos. Pela legislação atual, através das Resoluções nº 382 a 388, de 9 de agosto de 1999, da ANVISA são permitidos para alimentos e bebidas o uso de 11 tipos distintos de corantes, os quais variam a quantidade permitida de acordo com o nível de toxicidade que apresentam. A

menor concentração permitida é de 0,001 g 100 g⁻¹ para corantes como urucum, bixina e norbixina. Curcumina, licopeno e paprica podem ser adicionados ate a concentração de 0,05 g 100 g⁻¹ de alimento e para alguns corantes, como clorofila e carotenos naturais, e permitido *quantum satis*, de acordo com o anexo A (BRASIL, 2002).

Por outro lado, visando a qualidade dos efluentes lançados nos corpos hidricos, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução não 430, de 13 de maio de 2011 estabelece os parametros e padroes para lançamento de efluentes em recursos hidricos, complementando a Resolução não 357 de 2005 e dispondo valores orientadores de qualidade das águas quanto a presença de substancias químicas oriundas de atividades antropognicas. Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características que influenciem na qualidade, devendo obedecer as condioes pré-estabelecidas como ausência de coloração, pH entre 5 e 9 e remoção de demanda bioquímica de oxignio (DBO) mínima de 60%, além de outros parametros orgânicos e inorgânicos que garantem que o seu lançamento no corpo hidrico seja seguro e apresente baixos índices de poluição (BRASIL, 2011).

Spellmeier e Stulp relataram em seus estudos, direcionados  remoção de corantes alimentícios de efluentes gerados em processos industriais, os riscos ambientais relacionados ao descarte inadequado desses efluentes. Quando lançados nos corpos d'água receptores, por apresentarem estabilidade química e efeito de acumulação, os corantes alimentícios podem atingir concentraoes superiores  dose letal de alguns organismos, o que gera desequilíbrio na biota aquática e coloca em risco a saúde humana (SPELLMEIER; STLUP, 2009).

Vacchi et al. (2016) apresentaram um estudo em que mesmo em pequenas concentraoes, a presença de corantes nos corpos d'água é capaz de causar atraso na regeneração de organismos aquáticos e morte dos mesmos. Países emergentes como Brasil, ndia e China são grandes responsáveis por tingimento de tecidos, portanto o efluente gerado pela indústria têxtil tem impacto direto no meio ambiente devido ao grande volume de água utilizado na fase de produção. A descoloração após o tratamento convencional não necessariamente significa redução na toxicidade portanto são necessários mais estudos para que, além da cor, seja reduzido simultaneamente a toxicidade e a mutagenicidade (DA SILVA LEITE et al., 2016; VACCHI et al., 2016).

A cidade de Maringá se destaca no corredor da moda do estado do Paraná por empregar cerca de um terço da população no setor têxtil, seja direta ou indiretamente. Como consequência da alta produção, ocorre grande geração de resíduos que contaminam

o solo, a água e o ar. Além do efluente já produzido pelas indústrias, o armazenamento e descarte incorreto de resíduos de tecidos também contamina corpos d'água quando expostos ao processo de lixiviação, possibilitando até mesmo a contaminação de águas subterrâneas por corantes (LINKE; ZANIRATO, [s.d.]).

Ainda não existe quantidade suficiente de estudos para afirmar o impacto ambiental causado por tipo de corante especificamente. Entretanto todos apontam que a coloração da água diminui a passagem de luz, bloqueando parcialmente ou totalmente a fotossíntese; o aumento da carga orgânica causado pelo despejo de corantes pode desencadear em eutrofização do corpo d'água e a presença de corantes mesmo após descoloridos pode ser nociva aos seres vivos pois alguns produtos de degradação apresentam propriedades teratogênicas e carcinogênicas (CAMPOS, 2014; LINKE; ZANIRATO, [s.d.]; TONIOLLO; ZANCAN; WÜST, [s.d.]; TV, [s.d.]).

4.3. Tratamento convencional de efluentes

O tratamento convencional de efluentes consiste em 3 etapas: Tratamento Primário, Tratamento Secundário e Tratamento Terciário. (LEME, 2007)

No Tratamento Primário ocorre a aplicação de operações unitárias físicas e processos unitários químicos para remover material sólido e em suspensão, material graxo, equalização do efluente e ajuste de pH. No Tratamento Secundário ocorrem os processos unitários biológicos. Pode ser subdividido em aeróbio e anaeróbio. Seu principal objetivo é a remoção da matéria orgânica através da degradação de compostos carbonáceos em moléculas mais simples. Esta etapa mimetiza os fenômenos biológicos de ocorrência natural, porém com altas concentrações microbianas para acelerar o processo, gerando os produtos de degradação: gás carbônico (CO_2), água (H_2O), amônia (NH_3), metano (CH_4), ácido sulfídrico (H_2S) dentre outros compostos orgânicos simples. O tratamento secundário é o principal utilizado no Brasil, entretanto apenas compostos biodegradáveis são removidos, portanto não é possível degradar corantes através deste processo (DESOTI, 2008; SANT'ANNA JÚNIOR, 2013).

No Tratamento Terciário ocorre a remoção de material solúvel não removido nos tratamentos anteriores, tais como compostos recalcitrantes, poluentes metálicos, nutrientes (por exemplo: nitrogênio e fósforo), cor verdadeira e substâncias causadoras de odor. Este processo tem alto custo e não é amplamente utilizado como o secundário. (LEME, 2007; CAVALCANTI, 2009; SANT'ANNA JÚNIOR, 2013).

É possível remover boa parte dos compostos persistentes através dos processos de cloração, ozonização, adsorção química, eletrodialise, osmose inversa, troca iônica, dentre outros, de forma a atender a legislação vigente. Entretanto, apenas com processos oxidativos avançados é possível atingir a completa mineralização dos compostos orgânicos, inclusive corantes artificiais (DESOTI, 2008).

4.4. Adsorção

A adsorção é um dos processos mais eficientes para o tratamento de águas e está sendo empregada nos efluentes das indústrias, a fim de reduzir os níveis de compostos tóxicos ao meio ambiente por ser uma alternativa promissora devido a seu baixo custo, fácil aplicação, alta eficiência e possibilidade de recuperar o adsorvente e o adsorvato, os quais poderão ser aplicados em um novo processo (ROJAS; GIRALDO; LÓPEZ, [s.d.]; SCHÄFER, [s.d.]).

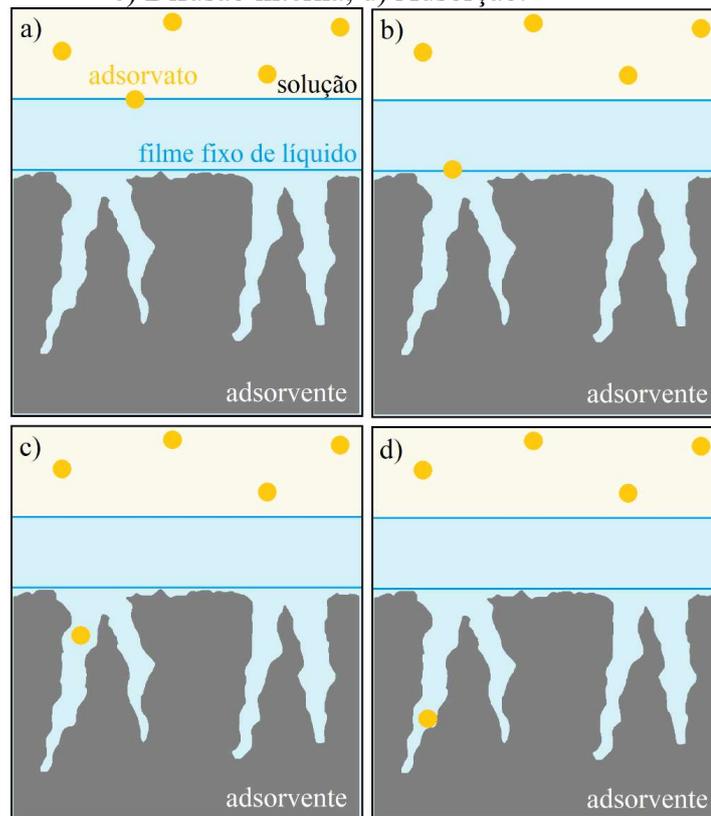
O processo de adsorção é conhecido desde o século XVIII, sendo que os principais elementos envolvidos no processo de adsorção são: o fluido, a superfície (normalmente um sólido poroso) e os compostos imobilizados pela superfície (adsorvato) (ALVES, 2010).

O adsorvente é o sólido no qual se dará o fenômeno de adsorção, o fluido em contato com o adsorvente é a amostra e chama-se adsorvato a espécie de interesse imobilizada no adsorvente (ALVES, 2010).

Os fenômenos de adsorção podem ser classificados quanto à natureza das interações adsorvente-adsorvato, em dois tipos: adsorção química e adsorção física. A adsorção química (quimissorção) é baseada na ligação química na qual há a transferência de elétrons entre o adsorvato e a superfície do sólido, ocasionando a formação de uma única camada sobre a superfície sólida, e liberação de energia superior a 20 KJ (valor correspondente ao ΔH da quebra de uma ligação química). A quimissorção é um processo com alto grau de especificidade e irreversível devido a ocorrência de reações químicas. Sua principal aplicação é em processos de catálise. A adsorção física (fisissorção) é baseada na Força de Van der Waals, na qual as espécies encontram-se fracamente ligadas à superfície e os calores de adsorção são baixos. É um fenômeno reversível no qual se observa normalmente a adsorção de mais de uma camada de adsorvato sobre a superfície adsorvente. Sua principal aplicação é em sistemas de separação (ALVES, 2010).

A adsorção ocorre em quatro etapas como mostra a Figura 06. Na primeira etapa, o adsorvato que estava no meio da solução, atinge a camada limite com o filme fixo de líquido que fica ao redor do adsorvente. Na segunda etapa, ocorre a difusão externa, processo no qual o adsorvato atravessa a cama limite até a entrada dos poros do adsorvente. Na terceira etapa, difusão interna, o adsorvato se locomove ao longo da superfície do adsorvente e no interior dos poros. Na quarta etapa ocorre a adsorção de fato (RUTHVEN, 1984; WANKAT, 1994).

Figura 06 – Etapas da adsorção. a) Adsorvato na camada limítrofe; b) Difusão externa; c) Difusão interna; d) Adsorção.

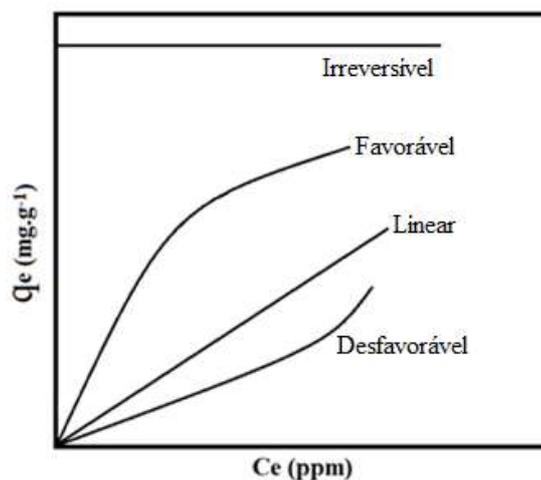


Fonte: Elaborado pela própria autora.

As isotermas de adsorção, são curvas determinadas experimentalmente ao adicionar adsorvente à solução de concentração conhecida do soluto (adsorvato) até atingir o equilíbrio. O material que apresenta isoterma irreversível tem altíssima afinidade pelo soluto e rápida adsorção. Entretanto não pode ser utilizado como adsorvente por não ser possível a dessorção em condições experimentais. Isotermas lineares costumam ocorrer em experimentos com baixas concentrações de soluto e isotermas desfavoráveis são típicas de superfícies heterogêneas. O adsorvente que possui isoterma favorável, adsorve grandes quantidades inicialmente e vai diminuindo sua capacidade de adsorção ao longo do experimento, como demonstrado na Figura 07 onde q_e é a quantidade de

soluto adsorvido por quantidade de adsorvente no equilíbrio e C_e é a concentração no equilíbrio (COULSON, 1985; WANKAT, 1994).

Figura 07 – Isotermas de adsorção.



Fonte: COULSON (1985) adaptada.

Os modelos mais utilizados para a construção das isotermas são Langmuir (Equações 01 e 02) e Freundlich (Equação 03). Langmuir considera a superfície do adsorvente uniforme, infinita e sem poros, de forma que o adsorvato a recubra formando apenas uma monocamada. Já o modelo de Freundlich admite a existência de multicamadas, considerando apenas as interações verticais entre o adsorvente e o adsorvato. A partir da linearização da Equação 01, é possível calcular o parâmetro de equilíbrio R_L e indicar o tipo de isoterma: se $R_L = 0$, a isoterma é irreversível; se $0 < R_L < 1$ a isoterma é favorável; se $R_L = 1$ a isoterma é linear e se $R_L > 1$ é desfavorável (GUPTA et al., 2010; MITTAL; KURUP; MITTAL, 2007).

$$1/q_e = 1/Q^\circ + 1/(bQ^\circ C_e) \quad (\text{Equação 01})$$

Onde:

q_e = quantidade de soluto adsorvido por quantidade de adsorvente no equilíbrio (mol g^{-1})

Q° = constante da máxima energia de adsorção

b = constante de Langmuir (maior afinidade)

C_e = concentração no equilíbrio (mol L^{-1})

$$R_L = 1/(1 + bC_0) \quad (\text{Equação 02})$$

C_0 = concentração inicial do adsorvato (mol L^{-1})

b = constante de Langmuir

A representação linear do modelo de Freundlich é:

$$\log q_e = \log K_f + 1/n \log C_e \quad (\text{Equação 03})$$

Onde:

q_e = quantidade de soluto adsorvido por quantidade de adsorvente no equilíbrio (mol g⁻¹)

K_f = constante de Freundlich relacionada a capacidade de adsorção

n = constante relacionada à intensidade da adsorção obtida empiricamente

C_e = concentração no equilíbrio (mol L⁻¹)

Ao plotar o gráfico de $\log q_e$ em função do $\log C_e$ a interseção corresponde a $\log K_f$ e a inclinação é dada por $1/n$. Isotermas favoráveis possuem valor de n entre 1 e 10.

Ao apresentar isoterma favorável em pelo menos um dos modelos, o material tem potencial para ser um bom adsorvente. O estudo deve ser continuado avaliando a cinética e a termodinâmica para descobrir qual a ordem do processo de adsorção, a etapa determinante da velocidade da adsorção, a espontaneidade, se o processo é endo ou exotérmico e como a entropia do sistema é alterada. (GUPTA et al., 2010; NASCIMENTO, 2014).

Os modelos cinéticos lineares mais aplicados para interpretar o processo de adsorção são os de pseudoprimeira ordem (LAGERGREN, 1898) e pseudosegunda ordem (HO; MCKAY, 1998) demonstrados na Equação 04 e Equação 05 respectivamente.

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - k_1 t \quad (\text{Equação 04})$$

Onde:

q_e = quantidade adsorvida no equilíbrio (mg g⁻¹)

q_t = quantidade adsorvida (mg g⁻¹) no tempo t (min)

k_1 = constante de taxa de adsorção (min⁻¹)

$$t/q_t = 1/k_2 \cdot q_e^2 + t/q_e \quad (\text{Equação 05})$$

Onde:

q_e = capacidade de adsorção no equilíbrio

k_2 = constante de segunda ordem (g mg⁻¹ min⁻¹)

Plotando o gráfico de t/q_t por t , é possível encontrar a inclinação, a interceptação do gráfico e determinar o valor da constante K_2 a partir dos dados experimentais.

Caso o experimento não se ajuste ao modelo de pseudoprimeira ordem nem de pseudosegunda ordem, significa que a difusão intrapartícula (WEBER; MORRIS, 1963)

é o fator determinante da velocidade de remoção do adsorvato (Equação 06). Ou seja, é a etapa mais lenta da adsorção. (NASCIMENTO, 2014; BANERJEE, 2017).

$$q_t = K_d t^{0.5} + C \quad (\text{Equação 06})$$

Onde

q_t = quantidade adsorvida na fase sólida (mg g^{-1}) em um período de tempo t (min)

K_d = coeficiente de difusão intrapartícula ($\text{mg g}^{-1}\text{min}^{-0.5}$)

C = constante relacionada a resistência à difusão (mg g^{-1})

É possível obter K_d através da inclinação do gráfico q_t versus $t^{0.5}$. Já a constante C , diretamente proporcional ao efeito da camada limite, é o valor correspondente a interceptação da curva.

Parâmetros termodinâmicos podem ser estimados a partir da constante de equilíbrio de isotermas em diferentes temperaturas (T_i). São eles: energia livre de Gibbs (ΔG°) (Equação 07) que indica a espontaneidade, variação da entalpia (ΔH°) (Equação 08) que informa se o processo é endotérmico ou exotérmico e a variação na entropia (ΔS°) (Equação 09) que mede a desordem do sistema e influencia diretamente na espontaneidade do processo. Para $\Delta G < 0$ o processo é espontâneo. Ocorre quando a entropia final é maior que a inicial (NASCIMENTO et al., 2014; BANERJEE, 2017).

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_p \quad (\text{Equação 07})$$

$$\Delta H^\circ = -R(T_2 T_1)/(T_2 - T_1) \ln (b_2/b_1) \quad (\text{Equação 08})$$

$$\Delta S^\circ = \Delta H - \Delta G/T \quad (\text{Equação 09})$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Materiais alternativos empregados em processos de adsorção do azocorante tartrazina

Foram considerados “materiais alternativos” aqueles que apresentaram características relacionadas a sustentabilidade, biodegradabilidade, fácil obtenção, baixo custo, sendo que alguns são resíduos de indústrias que seriam descartados por não possuírem valor comercial.

Para ser considerado um bom adsorvente com potencial de aplicação em efluentes reais, o material deve possuir grande área superficial, tamanho do poro adequado para que ocorra a difusão intrapartícula do adsorvato, grande número de sítios ativos para que maior quantidade de adsorvato seja adsorvido por grama de adsorvente, estabilidade térmica para que ele possa ser empregado no tratamento de efluentes com temperaturas superiores a temperatura ambiente e grande variedade de grupos funcionais para que o material também seja capaz de remover outras moléculas de contaminantes. Através de técnicas de caracterização pode-se conhecer melhor as propriedades do material e avaliar seu potencial como adsorvente. Com a espectroscopia do infravermelho (IV) é possível verificar quais grupos funcionais estão presentes no material. Com a termogravimetria (TG) é possível verificar a estabilidade térmica do material. O ponto de carga zero (PCZ) fornece informações sobre a carga superficial do adsorvente conforme o pH do meio. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) permite obter informações sobre a superfície do material como, por exemplo, a distância entre as lamelas, a área superficial e o tamanho do poro. Estas informações sobre a superfície do adsorvente são correlacionadas aos dados obtidos no estudo das isotermas. A constante de Langmuir (b) indica o potencial para a adsorção. Quanto maior a área superficial, maior b . Entretanto, se o poro for pequeno, mesmo com grande potencial, a adsorção não ocorre em grandes quantidades, apresentando Q° pequena (PASQUINI, 2003; DÍAZ, 2006; ZHOU et al., [s.d.]; RECK, 2018).

Não existe um material ou um tratamento ideal capaz de remover todos os tipos de corante do efluente. Portanto, é necessário estudar cada substância específica que se deseja tratar, por meio de efluente simulado para só então avaliar a possibilidade de aplicar em grande escala e no efluente real (COLLIVIGNARELLI et al., 2019).

Após pesquisa bibliográfica foi possível constatar que vários estudos relatam a presença de corantes alimentícios como contaminantes em efluentes industriais. Sua

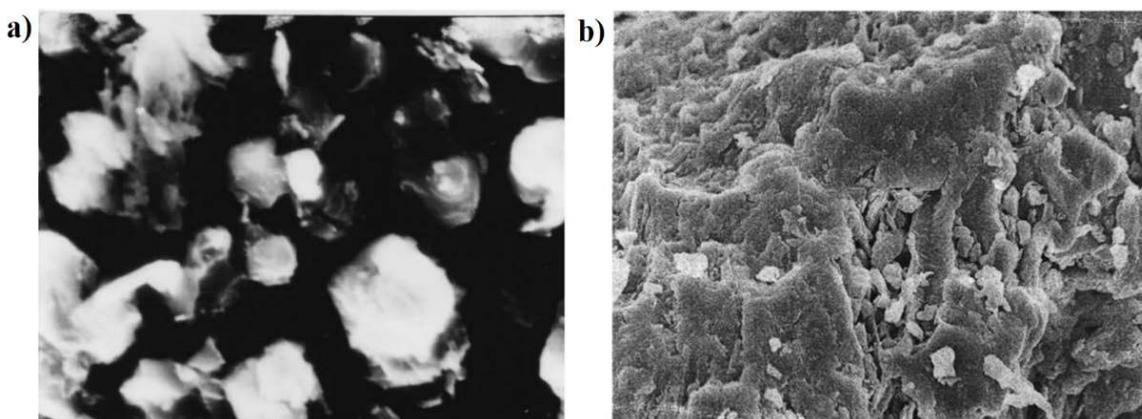
elevada toxicidade tem impulsionado pesquisas voltadas para sua remoção, de forma mais eficiente que as realizadas tradicionalmente. Os estudos apresentados a seguir reutilizam materiais que estariam dispostos como resíduos. Alguns apenas pelo fato de não possuírem valor comercial, outros pelo fato de serem tóxicos no meio ambiente. O aumento do tempo de vida destes materiais contribui ativamente para o desenvolvimento sustentável, reduzindo o volume de resíduo gerado e tratando contaminantes.

Este trabalho está focado no azo corante tartrazina, devido à sua ampla utilização pelas indústrias alimentícias e farmacêuticas, mesmo com todo o seu potencial contaminante.

5.2. Estudos de casos

Mittal et al. (2006) testou dois resíduos como adsorventes. A cinza de coque é um resíduo da usina de energia que provoca aumento da infertilidade do solo se disposta diretamente no ambiente. A soja sem óleo é um resíduo agrícola utilizado na ração de animais de grande porte, entretanto, no ambiente, é tóxica para pássaros, animais e peixes devido a presença de resíduo de hexano. Através da microscopia eletrônica de varredura foi observada uma área superficial de $870,5 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ com porosidade de 46% para a cinza de coque e $728,6 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ com porosidade de 67% para a soja sem óleo (Figura 08).

Figura 08 – Microscopia eletrônica de varredura 1 x 160 (a) cinza de coque (b) soja sem óleo.

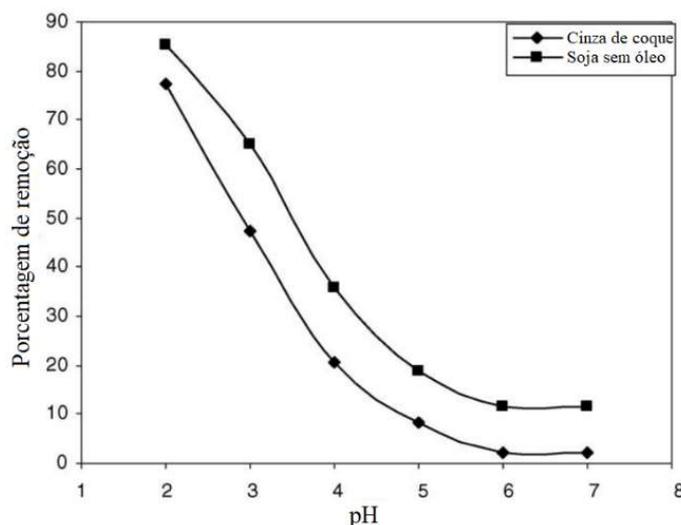


Fonte: MITTAL (2006)

Ambos apresentaram alta remoção de TT por adsorção em pH 2, sendo o máximo de 77,30% e 85,31% respectivamente, na concentração de $9 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$. Entretanto em

pH 7 a adsorção foi inferior a 20 % devido à desprotonação que retarda a difusão. O efeito da variação do pH está representado na Figura 09. Este experimento foi a base para definir o parâmetro para todos os seguintes serem realizados em pH 2 (MITTAL; MITTAL; KURUP, 2006).

Figura 09 – Efeito do aumento do pH na remoção da tartrazina.



Fonte: MITTAL (2006)

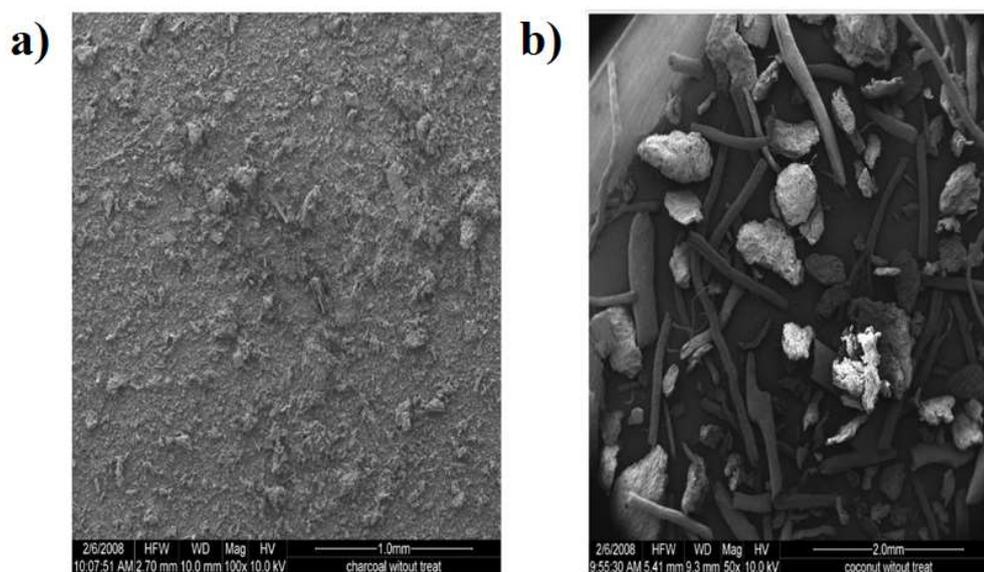
Variando a concentração de TT de 1×10^{-5} a 1×10^{-4} foi possível observar remoção máxima de $2,033 \times 10^{-5} \text{ mol g}^{-1}$ para a cinza de coque e $4,348 \times 10^{-5} \text{ mol g}^{-1}$ para soja sem óleo. Para obter as isotermas de adsorção de Freundlich e Langmuir os experimentos foram realizados a 30, 40 e 50 °C e a capacidade de adsorção aumentou em ambos os casos com o aumento da temperatura. Os valores negativos da energia livre de Gibbs comprovaram a espontaneidade do processo. Quanto menor o tamanho do adsorvente, maior a adsorção, entretanto ocorre diminuição no período de meia-vida. Em baixas concentrações a adsorção ocorre através da difusão do filme. Em altas concentrações ocorre difusão de partículas. A adsorção máxima foi de 77,30% para a cinza de coque e 85,31% para soja sem óleo, ambos a 30 °C com concentração de tartrazina igual a 9×10^{-5} . Ao final dos experimentos os adsorventes foram regenerados. Obteve-se 84% de TT recuperada da coluna com cinzas e 88% da coluna com soja. Devido ao baixo custo, rapidez, alta eficiência na remoção e na recuperação do corante, o autor considerou o processo viável (MITTAL; MITTAL; KURUP, 2006).

Um segundo estudo realizado por Mittal et al. (2007) nas mesmas condições do estudo anterior, mostrou que penas de galinha também são bons adsorventes, podendo chegar a quase 100% de remoção da TT em concentrações baixas como de 1 a

$3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$. O processo de adsorção foi espontâneo, endotérmico e, pelo estudo cinético, ocorreu pelo mecanismo de difusão do filme (MITTAL; KURUP; MITTAL, 2007).

Gupta et al. (2010) realizou um estudo comparativo entre o carvão ativado (CA) e a casca de coco (CC) para remoção de tartrazina. O carvão ativado já é reconhecido no meio científico pela sua alta capacidade de adsorção, entretanto ainda é muito caro. A casca de coco foi testada com o objetivo de se tornar uma alternativa barata, natural e sustentável. Para isso, ela foi previamente lavada com água destilada, seca e tratada com peróxido de hidrogênio para oxidar as impurezas orgânicas. Foi realizada análise por MEV (Figura 10) e não foram citados valores das áreas superficiais.

Figura 10 – Microscopia eletrônica de varredura (a) carvão ativado
(b) casca de coco.



Fonte: GUPTA (2010)

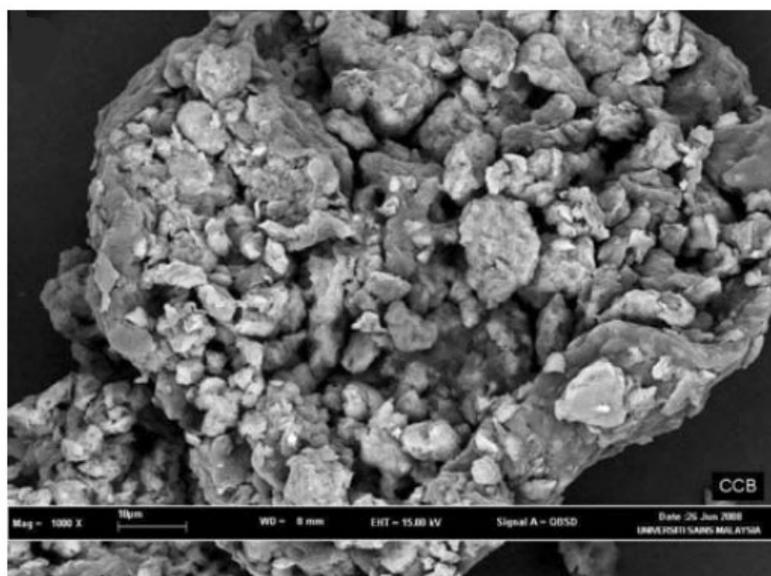
As condições de operação foram: pH 2,5, temperaturas de 30, 40 e 50 °C. As isotermas de adsorção foram realizadas em triplicata para maior exatidão dos resultados e apresentaram comportamento linear.

Para efeito de comparação, o carvão ativado foi utilizado com granulometria semelhante à da casca de coco tratada, entretanto para a solução de tartrazina a $6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$, as quantidades de adsorvente foram de 0,06 a 0,46 g L⁻¹ para CA, pois a partir de 0,40 g L⁻¹ a velocidade de adsorção diminuiu consideravelmente, e de 1,66 a 11,6 g L⁻¹ para CC pois a adsorção permaneceu rápida até a concentração de 10 g L⁻¹. A

adsorção máxima alcançada foi de 76,8 % CA a 30°C e 65,9 % para CC a 50°C, da solução de tartrazina a $6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ (GUPTA et al., 2010).

Ngah et al. (2010) realizou um estudo desde o preparo, caracterização, até a aplicação ambiental da bentonita revestida por quitosana reticulada (BQR). O objetivo do revestimento é aumentar a afinidade por moléculas orgânicas (já que a argila é um aluminossilicato, ou seja, inorgânica), aumentando o espaço entre as lamelas, e, conseqüentemente, a área de adsorção. Entretanto, a área superficial verificada pela MEV (Figura 11) foi de $5,4 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$.

Figura 11 – Microscopia eletrônica de varredura da BQR.



Fonte: NGAH (2010)

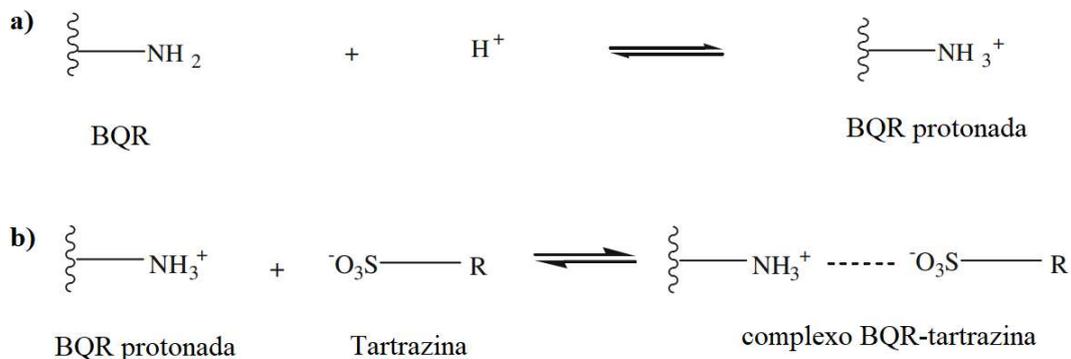
De acordo com a IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), microporos possuem diâmetro inferior a 2 nm, mesoporos possuem diâmetro entre 2 e 50 nm e macroporos possuem diâmetro superior a 50 nm. A BQR foi caracterizada como um adsorvente mesoporoso por possuir poros de 2 a 50 nm de diâmetro.

Na adsorção, o pH ideal de 2,5 foi encontrado variando as condições experimentais de 1 a 8, adicionando soluções de hidróxido de sódio (NaOH) e ácido clorídrico (HCl) ambas na concentração de $0,10 \text{ mol L}^{-1}$. A melhor taxa de agitação foi definida como 400 rpm pois variando de 100 a 600 rpm não havia significativa diferença na adsorção de TT a partir dos 400 rpm (menos de 1% a mais).

Através do Esquema 01, os autores demonstraram que a tartrazina é adsorvida em meio ácido principalmente devido à protonação do sítio ativo da BQR e interação com o

grupamento aniônico ($R-SO_3^-$), mas que outras interações também podem ocorrer devido aos grupamentos hidroxil ($-OH$), carboxilato ($-COO^-$), e azo ($-N=N-$) da TT.

Esquema 01 – Adsorção da tartrazina. a) Protonação da BQR. b) Formação do complexo.

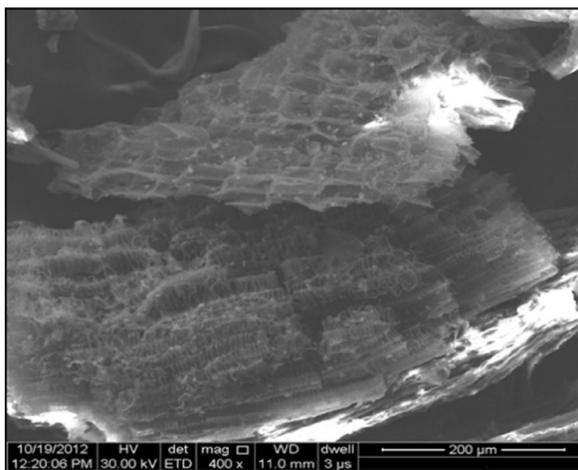


Fonte: NGAH (2010)

A maior taxa de adsorção foi de 294,1 mg g⁻¹ na temperatura de 320 K (47 °C), entretanto em todos os experimentos realizados, a dessorção foi inferior a 30% (WAN NGAH; ARIFF; HANAFIAH, 2010).

Banerjee et al. (2017) utilizou serragem, um sub produto agrícola de baixo custo, previamente lavada com água de torneira e posteriormente com água destilada para remover partículas de sujeira. A secagem durou 24h a 110 °C, logo após foi triturada e peneirada. Pela MEV foi possível observar uma superfície heterogênea com partículas de formas irregulares e poros de tamanhos variados (Figura 12).

Figura 12 – Microscopia eletrônica de varredura da serragem.



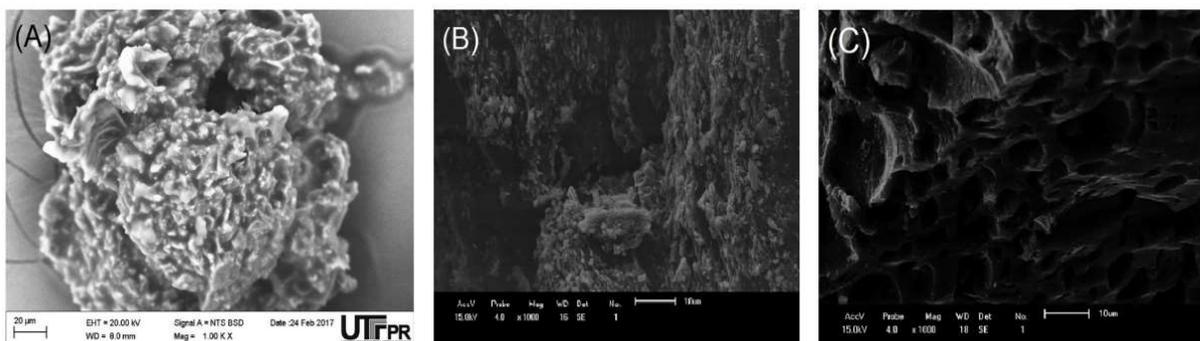
Fonte: BANERJEE (2017)

As partículas entre 0,425 e 0,6 mm foram selecionadas para realizar os testes de adsorção que ocorreram a 180 rpm nas temperaturas de 298 K (25 °C), 308 K (35 °C) e

318 K (45 °C). Variando o pH de 2 até 12, pH 3 apresentou melhor adsorção e foi mantido nos experimentos posteriores. Em pHs altos os íons OH^- competem com a TT pelos sítios ativos do adsorvente (catiônico), por isso a queda da eficiência da adsorção. A maior eficiência obtida foi de 97% de remoção a 45 °C e pH 3. Foi comprovada a espontaneidade e o caráter endotérmico da adsorção (BANERJEE; CHATTOPADHYAYA, 2017).

Reck et al. (2018) realizou um estudo comparativo da capacidade de adsorção das sementes de *Moringa oleifera* (SMO) em relação ao carvão ativado de coco babaçu (CACB) e carvão ósseo ativado (COA). A *Moringa oleifera* foi escolhida por apresentar propriedades já comprovadas como agente floculante e sedimentador por neutralizar sistemas coloidais formando ligações entre as partículas. Através da microscopia eletrônica de varredura (Figura 13) foi observada uma área superficial de $18,93 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ e volume dos poros de $0,026 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ para a SMO, $624,30 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ e $0,351 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ para CACB, $89,67 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ e $0,077 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ para COA.

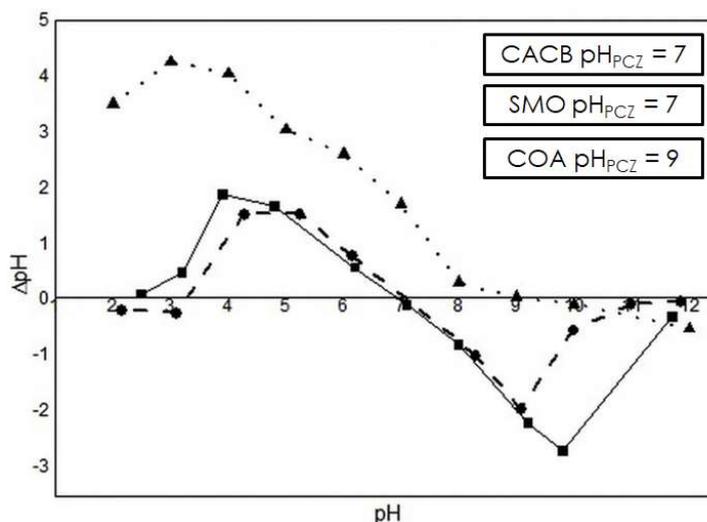
Figura 13 – Microscopia eletrônica de varredura (a) SMO (b) CACB (c) COA.



Fonte: RECK (2018)

O ponto de carga zero de cada material foi obtido variando o pH (Figura 14). Em meio mais ácido que o PCZ o adsorvente apresenta carga superficial positiva, o que favorece a adsorção da tartrazina que é uma molécula com características aniônicas. Em meio mais básico que o PCZ o adsorvente apresenta carga superficial negativa, o que desfavorece a adsorção e favorece a dessorção da tartrazina.

Figura 14 – Ponto de carga zero do CACB, SMO e COA.



Fonte: RECK (2018)

A tartrazina foi quantificada em um efluente real de uma indústria de suco localizada no Paraná que apresentou concentração de 15 mg L^{-1} e pH 5. CACB apresentou área superficial de $624,30 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, COA de $89,67 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ e SMO de $18,93 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ com variação insignificante de tamanho do poro de adsorvente para adsorvente. A porcentagem de adsorção chegou a 99% após 720 min para CACB e após 600 min para COA. O máximo de adsorção da SMO foi de 95% após 60 min e reduziu para 90% após atingir o equilíbrio em 240 min, de acordo com a autora, provavelmente devido a liberação de cor pela semente em solução. As isotermas de adsorção foram obtidas nas temperaturas de 15, 25, 35 e 45 °C e nas concentrações de 5 e 70 mg L^{-1} e as máximas adsorções ocorreram a 15 °C para SMO que apresentou comportamento exotérmico e 45 °C tanto para CACB quanto para COA que apresentaram comportamento endotérmico (RECK et al., 2018).

Para efeito de comparação, as condições experimentais que resultaram na máxima remoção de tartrazina por todos os adsorventes descritos neste trabalho estão na Tabela 01.

Todos os trabalhos apresentaram as constantes de Langmuir e de Freundlich (Tabela 02), entretanto alguns não forneceram os valores de R_L . Através do Excel, todos os valores de R_L foram calculados de acordo com a Equação 02.

Tabela 01 – Condições experimentais de máxima adsorção.

Autor	Adsorvente	Q adsorvente (g)	Vol. Sol. (mL)	[TT]	pH	T (°C)	% remoção máx	Q adsorvida (mg g⁻¹)
Mittal et al. (2006)	cinza de coque	0,10	25	$9 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$	2,0	30	77,30%	10200
Mittal et al. (2006)	soja sem óleo	0,05	25	$9 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$	2,0	30	85,31%	10020
(MITTAL; KURUP; MITTAL, 2007)	pena de galinha	0,01	25	$3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$	2,0	50	99%	$1,3 \times 10^{-2}$
Gupta et al. (2010)	casca de côco	3,30	30	$6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$	2,5	30	65,90%	$6,1 \times 10^{-4}$
Gupta et al. (2010)	carvão ativado	0,30	30	$6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$	2,5	50	76,80%	$7,18 \times 10^{-4}$
Wan Ngah et al. (2010)	BQR	0,01	50	60 mg L^{-1}	2,5	47	98,50%	294,1
Banerjee (2013)	Serragem	0,25	50	1 mg L^{-1}	3,0	45	97,00%	1,44
Reck	SMO	0,20	50	15 mg L^{-1}	5,0	15	95,00%	91,27
Reck	CACB	0,20	50	15 mg L^{-1}	5,0	45	99,00%	44,02
Reck	COA	0,20	50	15 mg L^{-1}	5,0	45	99,00%	35,72

Fonte: elaborado pela própria autora.

Tabela 02 – Constantes de Langmuir e Freundlich com destaque em verde para as isotermas favoráveis.

Autor	Adsorvente	% remoção máx	[TT]	Isotermas				
				Constantes de Langmuir			Constantes de Freundlich	
				Q°	b	R _L	K _f	n
Mittal et al. (2006)	cinza de coque	77,30%	9,00E-05	1,89E-05	5,75E-05	1,00E+00	1,00E+00 0	3,97E+01
Mittal et al. (2006)	soja sem óleo	85,31%	9,00E-05	3,98E-05	6,12E-05	1,00E+00	1,00E+00 0	3,14E+01
(MITTAL; KURUP; MITTAL, 2007)	pena de galinha	99%	3,00E-05	1,40E-04	2,20E+05	1,31E-01	1,30E+00 1	4,03E+00
Gupta et al. (2010)	casca de coco	65,90%	6,00E-05	4,31E+03	6,20E+00	1,00E+00	2,09E+00 1	1,17E+00
Gupta et al. (2010)	carvão ativado	76,80%	6,00E-05	3,48E+06	5,20E+01	9,97E-01	9,88E+00 1	2,65E+00
Wan Ngah et al. (2010)	BQR	98,50%	6,00E+01	2,94E+02	1,214	2,79E-03	1,99E+00 2	1,15E+01
Banerjee (2013)	Serragem	97,00%	1,00E+00	1,52E+00	7,14E+00	8,44E-02	1,23E+00 0	6,21E+00
Reck et al. (2018)	SMO	95,00%	15 mg L ⁻¹	9,13E+01	4,71E-02	2,33E-01	5,17E+00 0	1,36E+00
Reck et al. (2018)	CACB	99,00%	15 mg L ⁻¹	4,40E+01	4,99E-02	2,23E-01	7,34E+00 0	1,92E+00
Reck et al. (2018)	COA	99,00%	15 mg L ⁻¹	3,57E+01	3,10E-02	3,15E-01	2,41E+00 0	1,86E+00

Fonte: elaborado pela própria autora.

Todos os adsorventes obedeceram às equações das isotermas de Langmuir de forma favorável. Os que também se ajustaram às equações das isotermas de Freundlich de forma favorável foram: pena de galinha (MITTAL; KURUP; MITTAL, 2007), casca de coco (Gupta et al. 2010), carvão ativado (Gupta et al. 2010), serragem (Banerjee et al. 2013), sementes de *Moringa oleífera* (Reck et al. 2018), carvão ativado de coco babaçu (Reck et al. 2018), e carvão ósseo ativado (Reck et al. 2018). Dos materiais alternativos estudados, apenas SMO apresentou adsorção exotérmica.

Pela legislação brasileira no mínimo 60% da DBO deve ser removida para que o efluente possa ser despejado em leito d'água. Portanto todos os materiais, alcançaram porcentagem de remoção satisfatória com potencial para aplicação em efluentes reais.

Todos os materiais alternativos apresentados têm como vantagem a sustentabilidade, seja no reaproveitamento de resíduos para tratamento de efluentes ou na biodegradabilidade do material. Entretanto as condições operacionais de maior porcentagem de remoção ocorreram em meio ácido, o que dificulta a aplicação no tratamento convencional de efluentes. O ideal seria um pré-tratamento na própria indústria geradora do efluente para a remoção da tartrazina e um ajuste do pH ao final para atingir a neutralidade.

Dos materiais apresentados o que obteve maior adsorção por grama de adsorvente foi a cinza de coque, entretanto a diferença da quantidade adsorvida é pequena em relação a da soja sem óleo. Considerando as condições operacionais, quantidade de adsorvente utilizado, maior porcentagem de remoção e sustentabilidade do processo, a soja sem óleo foi o material alternativo mais promissor, dentre os que foram avaliados, para ser aplicado como adsorvente no tratamento de efluentes que contenham o azocorante tartrazina.

6. CONCLUSÃO

Utilizar a adsorção como pré-tratamento na própria indústria geradora do efluente é mais vantajoso do que adicionar uma etapa ao tratamento convencional de efluentes, visto que a tartrazina é mais facilmente removida das soluções em meio ácido por adsorventes catiônicos por possuir grupamentos que dão características aniônicas às moléculas.

A maioria dos experimentos obteve melhores resultados em temperaturas mais altas, evidenciando a natureza endotérmica do processo de adsorção.

Todos os adsorventes testados apresentaram espontaneidade pela energia livre de Gibbs, entretanto, para aplicar ao efluente real, é necessário avaliar os custos de preparação do material e condições experimentais. Principalmente nas etapas de trituração, agitação e aquecimento que são as de maior gasto energético.

É desejável utilizar um adsorvente com máxima eficiência. Entretanto outros fatores devem ser levados em consideração como, por exemplo, a proximidade entre a indústria geradora do efluente e o local de origem do material adsorvente para minimizar custos com o transporte. O que também favorece a sustentabilidade por queimar menos combustíveis fósseis.

A soja sem óleo foi o material alternativo mais promissor de todos que foram apresentados neste trabalho.

Em 2012 a ONU realizou uma conferência no Rio de Janeiro com objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) a serem alcançados até 2030. O estudo apresentado neste trabalho se enquadra no ODS número 6, que consiste em assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para toda população e mostra como algumas ações sustentáveis estão sendo conduzidas nos últimos anos, a fim de alcançar o objetivo da ONU.

Em paralelo com esse estudo, seria ideal uma revisão da IDA da tartrazina estabelecida pela legislação brasileira pois mesmo em concentrações aproximadamente 19 vezes menor que a permitida, a tartrazina é capaz de apresentar sintomas em humanos mesmo em adultos de 80 kg, sendo que a maior parte dos consumidores de gelatinas e sucos que contém este corante são crianças. Lembrando que quanto menor o peso corporal menor a quantidade tolerada. A suspensão da obrigatoriedade da ANVISA de mencionar a tartrazina por extenso e seus malefícios deveria ser imediatamente revisada pois existe

na literatura quantidade suficiente de estudos que provam a toxicidade e alergenicidade da tartrazina.

7. REFERÊNCIAS

ABIA. **Relatório Anual**. 2019. Disponível em: <https://www.abia.org.br/vsn/temp/z202055RelatorioAnual2019.pdf>. Acesso em: 14 de setembro de 2020.

ABIT. **Relatório Anual**. 2019. Disponível em: <https://www.abit.org.br/>. Acesso em: 05 de outubro de 2020.

ADITIVOS INGREDIENTES, **A química dos corantes e sua função nos alimentos**. Disponível em: https://aditivosingredientes.com.br/upload_arquivos/201910/2019100244711001569952876.pdf. Acesso em: 01 de setembro de 2020.

ALBADARIN, A.; CHARARA, M.; TARBOUSH, B. J. A.; AHMAD, M. N. M., KURNIAWAN, T. A.; NAUSHADE, M.; WALKER, G. M.; MANGWANDI, C. Mechanism analysis of tartrazine biosorption onto masau stones; a low cost by-product from semi-arid regions. **Journal of Molecular Liquids**, v. 242, p. 478–483, set. 2017.

AL-SHABIBA, N. A.; KHAN, J. M.; KHAN, M. S.; ALI, M. S.; AL-SENAIDY, A. M.; ALSENAIDY, M. A.; HUSAIN, F. M.; AL-LOHEDAN, H. A. Synthetic food additive dye “Tartrazine” triggers amorphous aggregation in cationic myoglobin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, p. 277–286, maio 2017.

ALIMENTUS CONSULTORIA E ASSESSORIA. **Nova mudança no horizonte para a rotulagem de Tartrazina**. Disponível em: <https://alimentusconsultoria.com.br/nova-mudanca-no-horizonte-para-a-rotulagem-de-tartrazina/>. Acesso em: 01 de dezembro de 2020.

ALVES, V. N. **Desenvolvimento de uma metodologia de pré-concentração em fluxo utilizando cascas tratadas de Moringa oleifera como bioadsorvente para determinação de Zn(II) em matrizes alcoólicas**. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

ANASTÁCIO, L. DE B.; OLIVEIRA, D.A.; DELMASCHIO, C. R.; ANTUNES, L. M. G.; CHEQUER, F. M. D. Corantes Alimentícios Amarantho, Eritrosina B e Tartrazina, e seus possíveis Efeitos Maléficos à Saúde Humana. **Journal of Applied Pharmaceutical Sciences** v. 2, n. 3, p. 16-30, 2016.

ANTUNES, L. M. G., ARAÚJO, M. C. P. Mutagenicidade e antigenicidade dos principais corantes para alimentos. **Rev Nutr** 2000; 13:81-8.

ANVISA, **Corante Limite Máximo**. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/219201/219401/Comp%25C3%25AAndio%2B-%2BJaneiro%2B2016_.pdf/eff5c6d9-b910-4915-bfd8-bbeeda6dffc2. Acesso em: 01 de setembro de 2020.

ANVISA. Resoluções nº 382 a 388, de 9 de agosto de 1999. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. (1999).

AZBAR, N.; YONAR, T.; KESTIOGLU, K. Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent. **Chemosphere**, v. 55, n. 1, p. 35–43, abr. 2004.

BANERJEE, S.; CHATTOPADHYAYA, M. C. Adsorption characteristics for the removal of a toxic dye, tartrazine from aqueous solutions by a low cost agricultural by-product. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 10, p. S1629–S1638, maio 2017.

BATEMAN, B. The effects of a double blind, placebo controlled, artificial food colourings and benzoate preservative challenge on hyperactivity in a general population sample of preschool children. **Archives of Disease in Childhood**, v. 89, n. 6, p. 506–511, 1 jun. 2004.

BHATT, D.; VYAS, K.; SINGH, S.; JOHN, P. J.; SONI, I. Tartrazine induced neurobiochemical alterations in rat brain sub-regions. **Food and Chemical Toxicology**, v. 113, p. 322–327, mar. 2018.

BRASIL. Decreto nº 55. 871/65 de 26 de março de 1965. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Portaria no 540/97, de 27 de outubro de 1997. (DOU de 28/10/97) Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. 2002.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente: CONAMA nº430, de 11 de maio de 2011. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial Resolução. **Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional**. Publicado no D.O.U.

BRASIL, Ministério da Saúde: SVS nº 540, de 27 de outubro de 1997. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs1/1997/prt0540_27_10_1997.html. Acesso em: 31 de outubro de 2020.

CÂMARA, A. M. **CORANTES AZO: CARACTERÍSTICAS GERAIS, APLICAÇÕES E TOXICIDADE**. 2017. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Nutrição) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

CAMPOS, P. R. P. DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DE CORANTES EM AMOSTRAS DE SUCO ARTIFICIAL EM PÓ. p. 168, 2014.

CAVALCANTI, J. E. W. de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 2 ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica LTDA., 2009.

CHRISTOV, L. P.; VAN DRIESSEL, B.; DU PLESSIS, C. A. Fungal biomass from *Rhizomucor pusillus* as adsorbent of chromophores from a bleach plant effluent. **Process Biochemistry**, v. 35, n. 1–2, p. 91–95, out. 1999.

CHUNG, K.-T. Azo dyes and human health: A review. **Journal of Environmental Science and Health, Part C**, v. 34, n. 4, p. 233–261, out. 2016.

COLLIVIGNARELLI, M. C.; ABBÀ, A.; MIINO, M. C.; DAMIANIA, S. Treatments for color removal from wastewater: State of the art. **Journal of Environmental Management**, v. 236, p. 727–745, abr. 2019.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA - IV REGIÃO. Corantes e pigmentos. Disponível em: https://www.crq4.org.br/quimicaviva_corantespigmentos. Acesso em: 01 de dezembro de 2020.

COULSON, J.M.; RICHARDSON, J.F., **Chemical Engineering**. Vol. III, Pergamon Press, 1985.

LEITE, L. DA S.; MASELLI, B. DE S.; UMBUZEIRO, G. DE A.; NOGUEIRA, R. F. P. Monitoring ecotoxicity of disperse red 1 dye during photo-Fenton degradation. **Chemosphere**, v. 148, p. 511–517, abr. 2016.

CRUZ, N. DE L.; GIMÉNEZ, J.; ESPLUGAS, S.; GRANDJEAN, D.; ALENCASTRO, L.F. DE; PULGARÍNA, C. Degradation of 32 emergent contaminants by UV and neutral photo-fenton in domestic wastewater effluent previously treated by activated sludge. **Water Research**, v. 46, n. 6, p. 1947–1957, abr. 2012.

DESOTI, M. **Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos**. 1 ed. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda., 2008.

M. T.; BRICIO, S. M. L.; ALMEIDA, D. O.; OLIVEIRA, L. A. T.; DE FILIPPIS, I.; MARIN, V. A. Molecular characterization and evaluation of antimicrobial susceptibility of enteropathogenic E. coli (EPEC) isolated from minas soft cheese. **Food Science and Technology**, v. 32, n. 4, p. 747–753, 14 ago. 2012.

DJILANI, C.; ZAGHDOUDI, R.; DJAZI, F.; BOUCHEKIMA, B; LALLAM, A.; MODARRESSI, A.; ROGALSKI, M. Adsorption of dyes on activated carbon prepared from apricot stones and commercial activated carbon. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 53, p. 112–121, ago. 2015.

DOTTO, G. L. **Biossorção de corantes alimentícios utilizando nanopartículas de *Spirulina platensis***. 2012. 144 f. Dissertação (Pós Graduação) - Curso de Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2012.

FARIA, R. A. D. DE; SOARES, R. B.; RODRIGUES, C. G. Avaliação do emprego de casca de eucalipto na biossorção de hidrocarbonetos leves de petróleo contaminante em corpos hídricos simulados. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 4, 6 dez. 2018.

Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ. Tartrazina. Disponível em: http://www.clariquimica.com.br/pdf/pigmentos_aditivos/sanolin/Sanolin-Tartrazina-X-90.pdf. Acesso em 20 de novembro de 2019.

FREITAS, A. S. Tartrazina: uma revisão das propriedades e análises de quantificação. v. 7, p. 8, 2012.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B. da; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. 9 ed. São Paulo: Editora Nobel, 2009.

GUPTA, V.; SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal - a review. **Journal of Environmental Management**, 2009. v. 90, p. 2313–2342, 2009.

GUPTA, V. K.; JAIN, R.; SHRIVASTAVA, M.; NAYA, A. Equilibrium and Thermodynamic Studies on the Adsorption of the Dye Tartrazine onto Waste “Coconut Husks” Carbon and Activated Carbon. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 55, n. 11, p. 5083–5090, 11 nov. 2010.

HASAN, D. B.; ABDUL AZIZ, A. R.; DAUD, W. M. A. W. Oxidative mineralisation of petroleum refinery effluent using Fenton-like process. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, n. 2, p. 298–307, fev. 2012.

HILL HJ. Food additives and contaminants and their contribution to the human cancer load. **Eur J Cancer Prev** 1993; 2:291-5

Ho, Y.S., McKay, G., 1998. Sorption of dye from aqueous solution by peat. *Chem. Eng. J.* 70, 115.

Lagergren, S., 1898. About the theory of so-called adsorption of soluble substances. *K. Sven. Vetenskapsakad. Handl.* 24, 1.

LEME, E. J. de A. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. 1 ed. São Carlos: EdUFSCar, 2007.

LINKE, P. P.; ZANIRATO, S. H. DANOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR RESÍDUOS DA CONFECÇÃO NO MEIO URBANO EM MARINGÁ/PR. **São Paulo**, p. 18, [s.d.].

MARTINIA, B. K.; DANIEL, T. G.; CORAZZA, M. Z.; CARVALHOA, A. E. Methyl orange and tartrazine yellow adsorption on activated carbon prepared from boiler residue: Kinetics, isotherms, thermodynamics studies and material characterization. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 5, p. 6669–6679, out. 2018.

MCCANN, D.; BARRETT, A.; COOPER, A.; CRUMPLER, D.; DALEN, L.; GRIMSHAW, K.; KITCHIN, E.; LOK, K.; PORTEOUS, L.; PRINCE, E.; SONUGA-BARKE, E.; WARNER, J. O.; STEVENSON, J. Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: a randomised, double-blinded, placebo-controlled trial. **The Lancet**, v. 370, n. 9598, p. 1560–1567, nov. 2007.

MITTAL, A.; KURUP, L.; MITTAL, J. Freundlich and Langmuir adsorption isotherms and kinetics for the removal of Tartrazine from aqueous solutions using hen feathers. **Journal of Hazardous Materials**, v. 146, n. 1–2, p. 243–248, jul. 2007.

MITTAL, A.; MITTAL, J.; KURUP, L. Adsorption isotherms, kinetics and column operations for the removal of hazardous dye, Tartrazine from aqueous solutions using waste materials—Bottom Ash and De-Oiled Soya, as adsorbents. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 3, p. 567–578, 25 ago. 2006.

NAGEL-HASSEMER, M. E.; CORAL, L. A.; LAPOLLI, F. R.; AMORIM, M. T. S. P. DE. UV/H₂O₂ process as post-treatment for removal of color and polishing end in textile wastewater. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 900-904, 2012.

NASCIMENTO, R. F. do; LIMA, A. C. A. de; VIDAL, C. B.; MELO D. de Q.; RAULINO, G. S. C. Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais. Imprensa Universitária. Fortaleza, 2014. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014_liv_rfdnascimento.pdf Acesso em: 23 de novembro de 2020.

PAROLIN, F. **Estudo, Otimização e Aplicação de Microondas Acoplado ao Processo Oxidativo Avançado H₂O₂ /UV na Degradação da Tartrazina**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PASQUINI, C. Near Infrared Spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 14, n. 2, p. 198–219, abr. 2003.

PAVANELLI, Sérgio Pinton. **Degradação de corantes da indústria alimentícia por processos oxidativos e redutivos: monitoramento por espectrometria de massas com ionização electrospray (ESI-MS)**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Química – Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.

PRADO, M. A.; GODOY, H. T. CORANTES ARTIFICIAIS EM ALIMENTOS. p. 14, 2003.

QU, X. GAO, W.J.; HAN M. N.; CHEN, A.; LIAO, B. Q. Integrated thermophilic submerged aerobic membrane bioreactor and electrochemical oxidation for pulp and paper effluent treatment – towards system closure. **Bioresource Technology**, v. 116, p. 1–8, jul. 2012.

RECK, I. M.; PAIXÃO, R. M.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F.; VIEIRA, A. M. S. Removal of tartrazine from aqueous solutions using adsorbents based on activated carbon and Moringa oleifera seeds. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 85–97, jan. 2018.

Resolução nº 44 de 1997. D.O.U- Diário oficial da União; poder executivo, de 01 de fevereiro de 1978. CNNPA- Comissão Nacional de Normas e Padrões para alimentos.

Resolução nº 382m, de 05 de agosto de 1999. Ministério da saúde – Agência nacional de vigilância sanitária- AMVS.

ROJAS, J. A. A.; GIRALDO, L. F. G.; LÓPEZ, C. M. A. Photo degradation of the tartrazine dye by means of photofenton, using an ultra violet light lamp. **REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN**, v. 5, n. 2, p. 7, [s.d.].

Ruthven, D.M. **Principles of adsorption and adsorption processes**. John Wiley & Sons, 1984.

SÁ, F. P. **Adsorção e Fotodegradação de Corantes, Amarelo Crepúsculo e Azul Brilhante, para Tratamento de Efluentes de Indústrias Alimentícias**. 2013. 109 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SANT'ANNA JÚNIOR, G. L. **Tratamento Biológico de Efluentes: Fundamentos e Aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

SOUZA, C. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P. Degradação de corantes reativos pelo sistema ferro metálico/peróxido de hidrogênio. **Química Nova**, 2005. v. 28, p. 226–228, 2005.

SCHÄFER, T. M. Z. SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE FERRO (Fe₃O₄). p. 84, [s.d.].

SILVA, J. M.; FARIAS, B. S.; GRÜNDEMANN, D. D. R.; CADAVAL, T. R. S.; MOURA, JR. J. M.; DOTTO, G. L.; PINTO, L. A. A. Development of chitosan/*Spirulina* bio-blend films and its biosorption potential for dyes. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 134, n. 11, 15 mar. 2017.

SPELLMEIER, J. G.; STÜLP, S. AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO E TOXICIDADE DOS CORANTES ALIMENTÍCIOS ERITROSINA E CARMIM DE COCHONILHA ATRAVÉS DE PROCESSO FOTOQUÍMICO. v. 6, p. 19, [s.d.].

SUGIMURA, T. Mutagens, carcinogens, and tumor promoters in our daily food. **Cancer** 1982; 49:1970-84

SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL. **Dias Toffoli assegura competência da Anvisa para editar atos normativos quanto a rótulos de alimentos**. Disponível em: <http://www.stf.jus.br/portal/cms/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=442356>. Acesso em 01 de dezembro de 2020.

TEIXEIRA, L. V. ANÁLISE SENSORIAL NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. p. 10, 2009.

THERMAL ANALYSIS AND RHEOLOGY; ARTIAGA DÍAZ, R.; UNIVERSIDADE DA CORUÑA (EDS.). **Thermal analysis: fundamentals and applications to material characterization : proceedings of the International Seminar: Thermal Analysis and Rheology : Ferrol, Spain, 30 Juny - 4 July 2003**. A Coruña: Universidade da coruña. Servizo de Publicacións, 2006.

TONIOLLO, M.; ZANCAN, N. P.; WÜST, C. INDÚSTRIA TÊXTIL: SUSTENTABILIDADE, IMPACTOS E MINIMIZAÇÃO. p. 5, [s.d.].

TV, R. Biosorption: Techniques and Mechanisms. p. 92, [s.d.].

VACCHI, F. I.; VON DER OHE, P. C.; ALBUQUERQUE, A. F. DE; VENDEMIATTI, J. A. DE S.; AZEVEDO, C. C. J.; HONÓRIO, J. G.; SILVA, B. F. DA; ZANONI, M. V. B.; HENRY, T. B.; NOGUEIRA, A. J.; UMBUZEIRO, G. DE A. Occurrence and risk assessment of an azo dye – The case of Disperse Red 1. **Chemosphere**, v. 156, p. 95–100, ago. 2016.

WAN NGAH, W. S.; ARIFF, N. F. M.; HANAFIAH, M. A. K. M. Preparation, Characterization, and Environmental Application of Crosslinked Chitosan-Coated Bentonite for Tartrazine Adsorption from Aqueous Solutions. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 206, n. 1–4, p. 225–236, fev. 2010.

WANKAT, P.C., **Rate-Controlled Separations**. London: Blackie Academic & Professional, 1994.

Weber Jr., W.J., Morris, J.C., 1963. **Kinetics of adsorption on carbon from solution**. J. Sanit. Eng. Div. Proc. Am. Soc. Civil Eng. 89, 31.

XU, M.; WU, C.; LI, Y.; ZHOU, Y.; XUE, H.; YU, Y. Coagulation Behavior and Floc Properties of Dosing Different Alkaline Neutralizers into the Fenton Oxidation Effluent. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 229, n. 12, p. 382, dez. 2018.

YADAV, B. R.; GARG, A. Hetero-catalytic hydrothermal oxidation of simulated pulping effluent: Effect of operating parameters and catalyst stability. **Chemosphere**, v. 191, p. 128–135, jan. 2018.

ZHANG, L.; SELLAOUI, L.; FRANCO, D.; DOTTO, G. L.; BAJAHZAR, A.; BELMABROUK, H.; BONILLA-PETRICIOLET, A.; OLIVEIRA, M. L. S.; LI, Z. Adsorption of dyes brilliant blue, sunset yellow and tartrazine from aqueous solution on chitosan: Analytical interpretation via multilayer statistical physics model. **Chemical Engineering Journal**, v. 382, p. 122952, fev. 2020.

ZINICOVSCAIA, I.; YUSHIN, N.; SHVETSOVA, M.; FRONTASYEVA, M. Zinc removal from model solution and wastewater by *Arthrospira (Spirulina) Platensis* biomass. **International Journal of Phytoremediation**, v. 20, n. 9, p. 901–908, 29 jul. 2018.

ZHOU, W.; APKARIAN, R. P.; WANG, Z. L.; JOY, D. **Fundamentals of Scanning Electron Microscopy**. p. 40, [s.d.]. Disponível em: [http://home.ufam.edu.br/berti/nanomateriais/aulas%20pptx%20e%20livros/livro/Scanning%20Microscopy%20for%20Nanotechnology/Fundamentals%20of%20Scanning%20Electron%20Microscopy%20\(SEM\).pdf](http://home.ufam.edu.br/berti/nanomateriais/aulas%20pptx%20e%20livros/livro/Scanning%20Microscopy%20for%20Nanotechnology/Fundamentals%20of%20Scanning%20Electron%20Microscopy%20(SEM).pdf) Acesso em 30 de novembro de 2020.

ANEXOS

Anexo A – REGULAMENTO TÉCNICO QUE APROVA O USO DE ADITIVOS ALIMENTARES, ESTABELECENDO SUAS FUNÇÕES E SEUS LIMITES MÁXIMOS PARA A CATEGORIA DE ALIMENTOS 13 - MOLHOS E CONDIMENTOS

Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/1999/anexo/anexo_res0382_05_08_1999.pdf