



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

HELOISA HEIDTMAN DA SILVA COELHO

**UTILIZAÇÃO DA CASCA DE ARROZ COMO ADSORVENTE PARA CORANTES,
FÁRMACOS, METAIS E ÓLEOS: REVISÃO E ASPECTOS RECENTES**

Tucuruí – PA

2021

HELOISA HEIDTMAN DA SILVA COELHO

**UTILIZAÇÃO DA CASCA DE ARROZ COMO ADSORVENTE PARA CORANTES,
FÁRMACOS, METAIS E ÓLEOS: REVISÃO E ASPECTOS RECENTES**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado como requisito necessário parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí.

Orientadora:

Profa. Dra. Karyme do S. de S. Vilhena

Tucuruí – PA

2021

Heidtman, Heloisa.

UTILIZAÇÃO DA CASCA DE ARROZ COMO
ADSORVENTE PARA CORANTES, FÁRMACOS, METAIS E ÓLEOS:
REVISÃO E ASPECTOS RECENTES / Heloisa Heidtman da Silva Coelho.
— 2021.

77 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Karyme do Socorro de Souza Vilhena

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do
Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia Sanitária e
Ambiental, Tucuruí, 2021.

1. Adsorção, Casca de Arroz, Corantes, Fármacos, Metais, Óleos. I. Título.

CDD 628.52

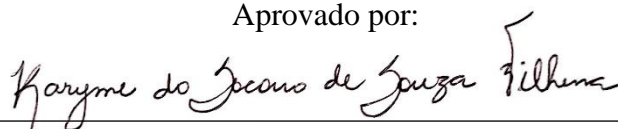
HELOISA HEIDTMAN DA SILVA COELHO

**UTILIZAÇÃO DA CASCA DE ARROZ COMO ADSORVENTE PARA CORANTES,
FÁRMACOS, METAIS E ÓLEOS: REVISÃO E ASPECTOS RECENTES**

Trabalho de conclusão de curso,
apresentado como requisito necessário
parcial para obtenção de grau de Bacharel
em Engenharia Sanitária e Ambiental pela
Universidade Federal do Pará, Campus
Universitário de Tucuruí.

Tucuruí, 30 de Setembro de 2021

Aprovado por:



Dra. Karyme do Socorro de Souza Vilhena (UFPA)

(Orientadora)



MSc. Davi Edson Sales e Souza (UFPA)

(Examinador Interno)



Dra. Tatiani Luz Silva (UNIFESSPA)

(Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus, que não me deixou desamparada em nenhuma parte do caminho, que me deu apoio e consolo em todos os momentos difíceis.

Aos meus pais, Helen e José, que se esforçaram muito para que eu tivesse a chance de estudar. Às minhas irmãs, Andressa e Vanessa, pelo apoio que sempre me deram. Aos meus avós, Maria e Adalton, e a minha prima Juliana.

Agradeço a todos os profissionais da educação que tiveram influência na minha jornada de aprendizado: Desde a professora da alfabetização que me ensinou a ler e a escrever até os que me acompanharam na faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Em especial, ao professor Davi Sales por todo o suporte desde o momento em que entrei na graduação, a professora Vanessa Conceição dos Santos pelos auxílios e a professora Karyme Vilhena pela orientação.

Ao Clube da Lolozinha – Cyda, Débora, Isa, Isabel, Itallo, Kalyne, Marcos, Mireli, Mônica, Roseane, Sara e Sue –, que me ajudaram durante o meu Ensino Médio e permaneceram na minha vida mesmo seguindo caminhos tão diferentes.

Às minhas amigas Ana, Dáleth, Janaina, Lara, Mariane e Marina, que nunca deixaram que a distância as impedisse de me dar suporte em todos os momentos que precisei.

Aos meus amigos de Tucuruí – Charles, Gabi, Higor (Cristal), Jaque, Maria, Maycon e Valdney –, que foram minha companhia e meu apoio ao longo dos anos.

À minha família de coração e de espírito – Agnes, Lucas, Luciana e Viviane –, que me deram um lar mesmo tão longe de casa, que me salvaram e nunca permitiram que eu ficasse sozinha.

“Someday when you get where you are going, you will look around and you will know that it was you and the people who love you that put you there and that will be the greatest feeling in the world.”

(Taylor Swift)

RESUMO

Um dos principais problemas relacionados a água é a contaminação, que pode alterar as suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Pode-se citar como contaminantes os corantes, metais, fármacos e óleos em suas diversas variações. Os tratamentos convencionais de efluentes são caros e por isso que cada vez mais buscam-se meios alternativos de tratamento, como a utilização da casca de arroz como adsorvente. Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma revisão bibliográfica descritiva de pesquisas realizadas com casca de arroz como material adsorvente nos quatro contaminantes. Para isso, a metodologia se dividiu em três etapas principais: definição do objeto de estudo, pesquisa aprofundada sobre o objeto de estudo e análises dos resultados. A partir das informações pôde-se perceber que a casca de arroz pode passar por tratamento físicos, químicos e biológicos. Esses tratamentos podem melhorar significativamente a capacidade e eficiência de remoção de contaminantes. Em alguns casos, a adsorção aumentou de 24,55% para 93,51% após a modificação da casca. Parâmetros como pH, tempo de contato, temperatura, quantidade inicial do adsorvato estão diretamente relacionados ao processo adsorptivo, podendo melhorar ou piorar os resultados. Em determinada pesquisa, a eficiência de remoção caiu de 60,93% para 34,40% por conta da concentração inicial de corantes; enquanto em outra, a adsorção aumentou de 80,00% para 90,00% por conta de uma variação no tempo de contato. De acordo com as referências consultadas, o resíduo demonstra resultados relevantes em diferentes tipos de corantes, fármacos, metais e óleos, alcançando resultados satisfatórios e as eficiências de remoção na maioria dos casos. Além disso, é possível fazer a recuperação do adsorvente e do adsorvato através do processo de dessorção. Recomenda-se que sejam feitos mais estudos envolvendo a casca de arroz, para que seja ainda mais entendido suas funcionabilidades e variedades. Pode-se buscar, ainda, outros adsorventes de base naturais para substituí-lo.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, Casca de Arroz, Corantes, Fármacos, Metais, Óleos

ABSTRACT

One of the main problems related to water is contamination, which can change its physical, chemical and biological properties. One can mention as contaminants dyes, metals, drugs and oils in their various variations. Conventional effluent agreements are expensive and that is why alternative means of treatment are increasingly sought, such as the use of rice husk as an adsorbent. This work aimed to develop a descriptive bibliographic review of research carried out with rice husk as an adsorbent material in the four contaminants. For this, the methodology was divided into three main stages: definition of the object of study, in-depth research on the object of study and analysis of the results. Based on the information, it was noticed that rice husks can undergo physical, chemical and biological treatment. These treatments can improve the ability to remove contaminants. In some cases, adsorption increased from 24.55% to 93.51% after shell modification. Parameters such as pH, contact time, temperature, initial amount of adsorbate are directly related to the adsorptive process, which can improve or worsen the results. In one study, the removal efficiency dropped from 60.93% to 34.40% due to the initial dye concentration; while in another, an adsorption increased from 80.00% to 90.00% due to a variation in contact time. According to the consulted references, the residue demonstrates relevant results in different types of dyes, drugs, metals and oils, reaching satisfactory results and as removal efficiencies in most cases. Furthermore, it is possible to recover the adsorbent and the adsorbate through the desorption process. It is recommended that more studies be carried out involving a rice husk, so that its functionalities and varieties are even better understood. One can also look for other natural-based adsorbents to replace it.

KEYWORDS: Adsorption, Rice Husk, Dyes, Drugs, Metals, Oils

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Fluxograma com as etapas envolvidas no processo.....	15
Figura 2 - Formação da Casca de Arroz	20
Figura 3 - Casca de Arroz in natura.....	21
Figura 4 - Composição da Casca de Arroz	21
Figura 5 - Superfície Externa Casca de Arroz.....	22
Figura 6 - Estrutura Química do Azul de Metileno	30
Figura 7 - Estrutura Química do alaranjado de Metila	31
Figura 8 - Estrutura Química do Direct Red 81.....	31
Figura 9 - Estrutura Química do Violeta Cristal.....	32
Figura 10 - Estrutura Química do Vermelho de Remazol	32
Figura 11 - Resultados da eficiência de remoção de alguns artigos selecionados	35
Figura 12 - Casca de arroz transformada em biochar e cinzas	44
Figura 13 - Eficiência na Remoção (Metais).....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Usos da Casca de Arroz	16
Tabela 2 - Quantidade de trabalhos selecionados.....	18
Tabela 3 – Referências bibliográficas utilizadas na avaliação (Corantes)	22
Tabela 4 - Classificações, descrições e aplicações de alguns corantes	29
Tabela 5 - Referências bibliográficas utilizadas na avaliação (Fármacos).....	37
Tabela 6 - Fármacos utilizados nas avaliações.....	48
Tabela 7 - Referências bibliográficas na Avaliação (Metais).....	49
Tabela 8 - Métodos de caracterização utilizados (Metais)	56
Tabela 9 - Referências bibliográficas na Avaliação (Óleos)	58

LISTA DE SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
AF	Ácido fosfórico
AFU	N,N-dimetilformamida e ureia em dimetilformamida
AM	Azul de Metileno
ANA	Agência Nacional das Águas
BET	Método de caixa (Brunauer - Emmett)
CA	Carvão ativado
CCA	Cinzas da casca de arroz
CEF	Cefixima
CF	Ciprofloxacina
DC	Cloridrato de doxiciclina
DOX	Cloridrato de doxiciclina
EDS	raios-X dispersivos de energia
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FRH	Functionalized rice husk (Casca de arroz funcionalizada)
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy, ou Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
ISNN	International Standard Serial Number
MO	Alaranjado de metila
MDPI	Multidisciplinary Digital Publishing Institute
MEV	Microscópio eletrônico de varredura
MXA	Antibiótico amoxicilina
ONU	Organização das Nações Unidas
OTC	Oxitetraciclina
TC	Tetraciclina
TEM	Microscopia eletrônica de transmissão (TEM)
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
XDR	Difração de raios-X
XRF	Fluorescência de raios-X

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivos gerais	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1.	Definição do objeto de estudo.....	15
3.2.	Pesquisa aprofundada sobre o objeto de estudo.....	16
3.3.	Análises dos resultados	19
4	RESULTADOS.....	20
4.1.	Casca de arroz	20
4.2.	Corantes	22
4.3.	Fármacos	37
4.4.	Metais	49
4.5.	Óleos	58
5	CONCLUSÕES	66
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos mais importantes presentes na terra, pois está diretamente ligada à sobrevivência humana de uma maneira geral, sendo um fator crucial quando se tratar de mudanças climáticas, um elo entre sociedade e meio ambiente. É por ser tão importante, por se tratar de dignidade e segurança para as pessoas, que é uma questão de direitos. Todos devem ter acesso a água de uma maneira segura e adequada e o saneamento é o principal caminho para isto (ONU – Organização das Nações Unidas, 2020).

Um dos principais problemas quando se trata de qualidade da água está relacionado com a contaminação. Existem diversos tipos de contaminantes, naturais ou antrópicos, que podem alterar as suas características físicas, químicas e biológicas, além de trazer consequências para saúde humana e do ecossistema. Cada contaminante age de maneira diferente, causando também consequências distintas. Portanto, deve ser trabalhado com cuidado para diminuir seus impactos (ANA – Agência Nacional das Águas, 2013).

Dentre os muitos contaminantes que podem ser citados temos os corantes, metais, fármacos e óleos em suas diversas variações. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2019), o Brasil é um dos maiores produtores do setor têxtil do mundo. As indústrias têxteis e seus efluentes também contribuem em grande escala para a degradação ambiental, principalmente por conta dos corantes, que podem oferecer graves riscos à saúde (ALMEIDA, DILARRI e CORSO, 2016; QUEIROZ e STEFANELLI, 2011; SANTANA et al, 2016).

Além dos corantes, certos metais provenientes de processos industriais também apresentam respostas nocivas ao homem, sendo causadores de inúmeras intoxicações agudas e crônicas, além de desenvolverem doenças. No meio ambiente, a presença e os efeitos adversos podem gerar desequilíbrio ambiental. Assim como os fármacos, que são substâncias químicas presentes em medicamentos, cosméticos e outros produtos e podem causar diversos efeitos negativos, tendo potencial para atuar sobre diversos organismos vivos e minerais, tornando-os muito prejudiciais ao ecossistema (SOUZA, 2017; SILVA et al., 2018; GAVIÃO et al., 2016).

Os óleos possuem baixa solubilidade em água, o que constitui como um fator negativo quando se trata da sua degradação em unidades de tratamento de despejos. Quando presente em mananciais utilizados para abastecimento público, causam problemas no tratamento de água. Aos serem descartados em águas residuárias ou efluentes tratados, podem formar filmes sobre a superfície hídrica e se depositarem-se nas margens, causando consequências ambientais (ZOCCOLA, 2016).

Desse modo, tem-se estudado e pesquisado diversas formas para o tratamento desses contaminantes, a fim de diminuir ao máximo os impactos causados. Contudo, a maioria dos processos convencionais são caros e buscam-se cada vez mais métodos alternativos de tratamento que sejam eficazes (KARTHIKEYANA et al, 2017; PIRES, 2020).

Dentre os métodos empregados, os adsorventes de baixo custo tem se mostrado uma excelente alternativa para o tratamento de efluentes. Diversos tipos de resíduos podem ser utilizados como adsorventes como, por exemplo, casca de banana, casca de arroz, caroço de umbu, casca de nozes, bagaço de cana-de-açúcar, entre outros (PENHA et al, 2016; LIEW et al., 2018; COSTA, FURMANSKI e DOMINGUINI, 2015; BRITO et al., 2015; TEIXEIRA e NEVES, 2018).

No caso da casca de arroz, suas aplicações envolvem, por exemplo, o tratamento de efluentes contendo corantes têxteis orgânicos como o azul de metileno e amarelo crepúsculo; além de íons como Cu^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} e Zn^{2+} (SILVA e SANTOS, 2019; CASTRO, 2019; SOUZA, 2019; MIMURA et al., 2010).

Além das vantagens adsorptivas, a utilização desta matéria-prima é uma alternativa para minimizar os impactos causados pela geração de resíduos agrícolas, visto que é grande a sua produção no mundo e que é preciso encontrar uma destinação final ou fazer um aproveitamento, pois é um material de decomposição lenta na natureza, levando cerca de 5 anos até desaparecer totalmente (FONSECA, FONSECA e PEREIRA, 2016; USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, 2020; RODRIGUES, 2008; ZUCCO, 2008).

Além disso, com o intuito de melhorar ainda mais a capacidade da casca de arroz como adsorvente, têm-se feito alterações no próprio resíduo. O mais comum quando se trata de fazer o melhoramento da casca de arroz é a utilização de processos físicos, geralmente fazendo o uso de beneficiamento térmicos para a produção da sílica; e químicos, utilizando agentes ativadores como, por exemplo, hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de sódio (NaOH), cloreto de zinco (ZnCl_2), ácido clorídrico (HCl), ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido fosfórico (H_3PO_4). (PERES, 2018; VAN et al, 2019; PENHA et al, 2016; COSTA, FURMANSKI e DOMINGUINI, 2015).

Desse modo, o presente trabalho buscou realizar uma revisão bibliográfica da utilização da casca de arroz como material adsorvente com diferentes tipos de adsorvato – considerando como contaminantes os corantes, fármacos, metais e óleos diversos –, em suas condições naturais ou com alterações físicas e químicas em sua estrutura, a fim de analisar, através da literatura, se o material é uma alternativa realmente viável e eficaz para adsorção. Foi utilizado o método de Revisão Bibliográfica Descritiva e buscou-se entender algumas etapas dos processos adsorptivos mais empregados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Desenvolver uma revisão bibliográfica descritiva destacando o potencial adsorvente da casca de arroz, natural e modificada, como biossorvente.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar o levantamento bibliográfico em bases de dados e revistas de periódicos indexados;
- Identificar as principais aplicações da casca de arroz *in natura* e modificada como adsorvente;
- Avaliar o potencial de adsorção da casca de arroz e seus derivados para corantes, fármacos, óleos e metais;
- Caracterizar as modificações químicas, físicas e biológicas que mais favorecem os processos de adsorção;
- Entender o funcionamento de alguns métodos utilizados nas pesquisas de adsorção aplicando casca de arroz.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O levantamento bibliográfico foi realizado através de metodologia descritiva e se dividiu em três etapas principais:

Figura 1 - Fluxograma com as etapas envolvidas no processo

Processos envolvidos:	Passos individuais envolvidos:		Quantidade de artigos:
Definição do objeto de estudo:	Pesquisa inicial e geral sobre os usos da casca de arroz.	⇒ Seleção dos resultados mais significativos como objeto de estudo.	56
Pesquisa aprofundada sobre o objeto de estudo:	Definição de sites, palavras-chaves e período de publicação.	⇒ Seleção dos resultados mais significativos para avaliá-los individualmente.	32
Análises dos resultados:	Artigos divididos em tópicos e pontos.	⇒ Avaliação e comparação dos resultados.	70

Fonte: Própria Autora, 2021.

3.1. Definição do objeto de estudo

Com o intuito de encontrar aplicações para a casca de arroz e descobrir os benefícios de uma utilização alternativa para esse resíduo, iniciou-se uma pesquisa na literatura científica, com diversos trabalhos já realizados, para encontrar os diferentes métodos e tecnologias as quais já foram empregadas para o tratamento da casca.

No momento inicial, a pesquisa não adotou muitos critérios rígidos, pois o objetivo era encontrar o máximo de usos possíveis para casca de arroz e seus derivados, independentemente da aplicação ou do tempo que o estudo havia sido feito.

Assim, utilizando como ferramenta o “Google” e, principalmente, “Google Acadêmico”, a busca concentrou-se em palavras-chave como “Casca de arroz” e “Casca de arroz aplicabilidade”.

Uma quantidade significativa, com mais de 100 trabalhos, foi encontrada durante a pesquisa. Com temas diversos, dos resultados obtidos filtrou-se as informações obtidas

considerando os mais recorrentes e relevantes, o que totalizou em 56 artigos analisados, conforme mostrado na Tabela 1:

Tabela 1 - Usos da Casca de Arroz

Método:	Foco:	Quantidade:
	Argamassas	
Adição:	Concretos	16
	Pavimentos	
	Corantes	
Adsorção:	Metais	25
	Óleos	
	Fármacos	
	Aplicação no Solo	
Adução:	Composição de substratos	5
	Fertilizantes	
Alimentação:	Produção de alimentos para animais	4
Biomassa:	Geração de energia	6
Total:		56

Fonte: Própria Autora, 2020

Embora todos os pontos analisados sejam de extrema relevância, a fim de fazer uma análise mais aprofundada, optou-se por focar em um tema principal. Os critérios utilizados giraram em torno de: 1) Aplicabilidade do resíduo em pesquisas envolvendo contaminações das águas, como já citado anteriormente no trabalho. 2) Maior recorrência nas pesquisas.

Desse modo, o objeto de estudo selecionado foi: aplicação da casca de arroz sendo para adsorção de corantes, fármacos, óleos e metais.

3.2. Pesquisa aprofundada sobre o objeto de estudo

Com o intuito de definir quais trabalhos, de fato, seriam utilizados, foram adotados alguns critérios: portais utilizados, palavras-chaves e período, que tiveram como objetivo facilitar o processo de busca, além de também ajudar a selecionar os estudos e pesquisas voltadas a aplicação da casca de arroz como adsorvente com o máximo de confiabilidade possível, conforme descrito abaixo:

3.2.1 Palavras-chaves utilizadas

Com o objetivo de simplificar ainda mais as buscas, selecionou-se três idiomas diferentes – português, inglês e espanhol. A partir da seleção dos idiomas, buscaram-se algumas palavras-chaves para serem utilizadas durante o processo de pesquisa:

- Casca de arroz + adsorção;
- Casca de arroz + corantes + adsorção;
- Casca de arroz + fármacos + adsorção;
- Casca de arroz + metais + adsorção;
- Casca de arroz + óleos + adsorção;
- Cascarilla de arroz + adsorción;
- Rice rusk + adsorption;
- Rice rusk + antibiotic + adsorption;
- Rice rusk + dye + adsorption;
- Rice rusk + metal + adsorption;
- Rice rusk + oil + adsorption;
- Rice rusk + pharmaceutically + adsorption.

3.2.2 Portais utilizados

Optou-se por acessar durante o levantamento nas principais bases de dados e revistas indexadas do meio acadêmico que tivessem uma grande quantidade de trabalhos relacionados à diversos campos de estudo. Após a utilização das palavras-chaves (3.2.1., pág. 18), selecionaram-se os trabalhos apenas de sites e revistas que possuíssem registro ISSN (International Standard Serial Number). Além disso, no caso das revistas, que possuíssem avaliação como qualis e/ou fator de impacto.

Ao todo, utilizaram-se 16 sites para a seleção das pesquisas, sendo:

3.2.2.1 Revistas:

- Brazilian Journal of Development;
- Environmental Science: Water Research & Technology;
- International Journal of Mechanical and Production;
- Journal of Chemical Technology & Biotechnology;
- Journal of Pharmaceutical Research International;

- Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais;
- Revista Virtual de Química;
- The Journal of Engineering and Exact Sciences.

3.2.2.2 Base de dados:

- African Journals Online;
- Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI);
- Periódicos Capes;
- Scielo;
- Science direct;
- Scopus;
- Springer;
- Taylor and Francis.

3.2.3. Período utilizado

Com o intuito de selecionar trabalhos mais recentes, optou-se por delimitar o intervalo de tempo das publicações. Desse modo, os artigos analisados tiveram publicações datadas entre os anos de 2014 e 2020. Ou seja, a pesquisa se concentrou em 7 anos de estudo.

3.2.4. Seleção dos trabalhos existentes na literatura

Por fim, utilizando as bases de dados e revistas especificadas, palavras-chaves e definido o período, foram selecionadas as pesquisas. Ao todo, chegou-se a um total de 32 trabalhos selecionados para o estudo de revisão bibliográfica, com cada tema possuindo 8 pesquisas, conforme mostrado na Tabela 2:

Tabela 2 - Quantidade de trabalhos selecionados

Tipo:	Quantidade:
Corantes	8
Fármacos	8
Óleos	8
Metais	8
Total:	32

Fonte: Própria Autora, 2020.

3.3. Análises dos resultados

Inicialmente, para uma melhor compreensão dos resultados, dividiu-se cada um dos pontos em diferentes tópicos:

Tópico 1: Corantes;

Tópico 2: Fármacos;

Tópico 3: Metais;

Tópico 4: Óleos.

Os tópicos foram então divididos em dois tipos de avaliação:

1) Avaliação individual: Cada artigo foi descrito separadamente, mas de maneiras semelhantes, seguindo os critérios, mostrados abaixo, definidos pela própria autora:

Ponto 1: Objetivo;

Ponto 2: Metodologia;

Ponto 3: Resultados;

Ponto 4: Definir, a partir do artigo analisado, se os resultados foram satisfatórios em termos da adsorção do contaminante testado.

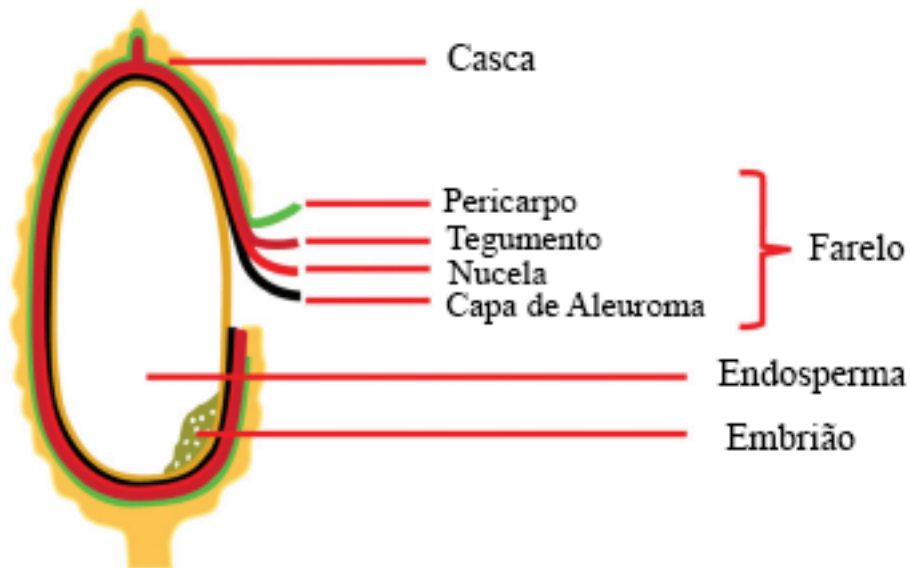
2) Avaliação geral: Neste ponto, todos os artigos presentes na “Avaliação Individual” foram analisados de uma maneira abrangente, discutindo as informações apresentadas, além de também relacionar com outros trabalhos presentes na literatura.

4 RESULTADOS

4.1. Casca de arroz

As partes que compõem o grão de arroz são: casca, farelo e grão. Os grãos, geralmente usados para fins comerciais, representam a maior parte da sua estrutura. O farelo corresponde a cerca de 8,00% e a casca de arroz representa 23,00% da massa do total do grão, sendo este o maior volume entre os subprodutos gerados no processo de beneficiamento do arroz (SOUSA, 2019). Conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Formação da Casca de Arroz



Fonte: Adaptado de PARK, LEE e CHOI (2017).

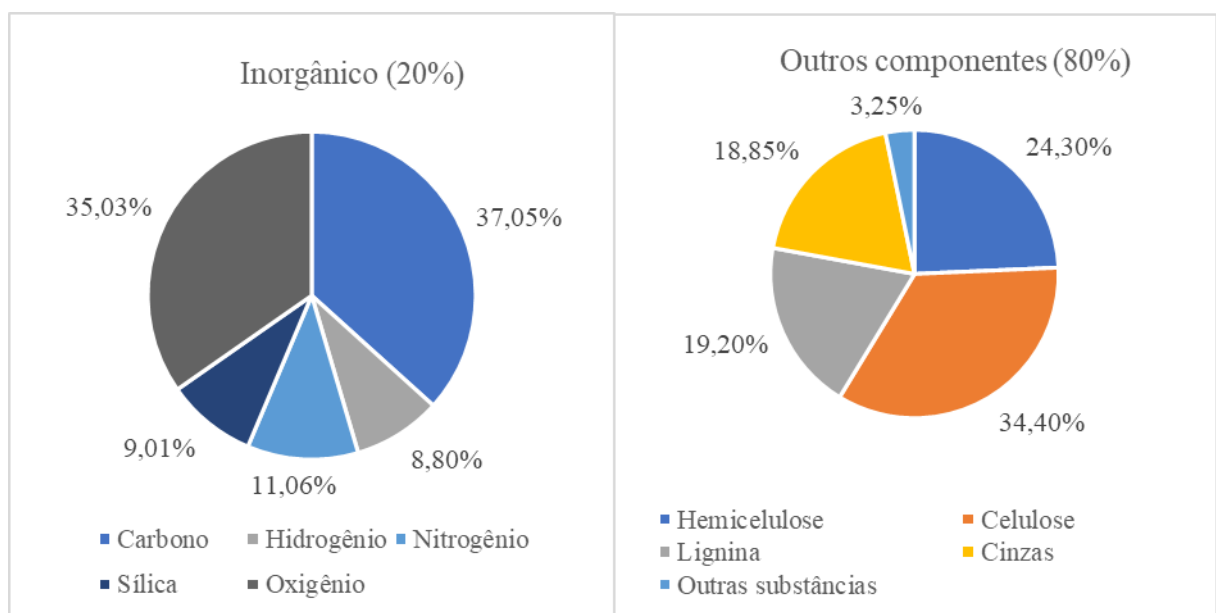
Além disso, casca de arroz, mostrada *in natura* na Figura 3 a seguir, é uma mistura complexa de alto teor orgânico, associado a diversos componentes inorgânico como silicatos, óxidos e outros, podendo apresentar em sua composição elementos tóxicos (LOPES et al., 2017).

Figura 3 - Casca de Arroz *in natura*

Fonte: Própria autora, 2019.

A composição da casca de arroz, segundo Soltani et al. (2015) pode ser observada na Figura 4, onde tem-se em destaque as duas partes principais, que são: a parte inorgânica correspondente a 20,00% e os outros 80,00% formados por outros componentes orgânicos.

Figura 4 - Composição da Casca de Arroz

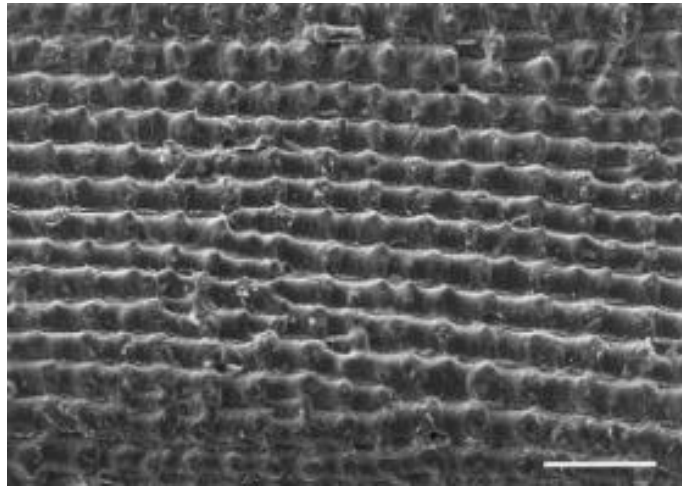


Fonte: Adaptado de SOLTANI et al. (2015)

Park et al. (2003) detectaram que os principais componentes da casca de arroz são a lema e palea, que se interligam fortemente, e tem como função proteger o grão contra danos causados por fungos, inseto e danos mecânicos, mantendo a integridade e qualidade fisiológica. Existem algumas mudanças significativa entre essas duas características, mas as morfologias de superfície são semelhantes. Alguns pontos importantes sobre essas morfologias podem ter

vistas na Figura 5, disponibilizada pelos autores, que utilizou Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para visualizar a superfície da casca:

Figura 5 - Superfície Externa Casca de Arroz



Fonte: PARK et al. (2003)

Na Figura 5 (PARK et al. 2003) é possível observar que a estrutura é altamente estriada e as estruturas estriadas possuem um perfil linear. As células epidérmicas são organizadas em cristas e sulcos lineares. A superfície externa possui, ainda, papilas e cabelos de tamanho variados. Além disso, através desses estudos, conseguiram comprovar a existência de alguns componentes já citados anteriormente, como a alta presença de sílica na casca de arroz.

4.2. Corantes

Na Tabela 3 estão relacionadas as referências bibliográficas analisadas para aplicação da casca de arroz como adsorvente de corantes orgânicos.

Tabela 3 – Referências bibliográficas utilizadas na avaliação (Corantes)

Título	Fonte:	Referência:
Bio–nanosilica obtained from rice husk using ultrasound and its potential for dye removal	Science direct	PERES et al. (2018)
Continuous Adsorption of a Cationic Dye on Surface Modified Rice Husk: Statistical Optimization and Dynamic Models	Taylor & Francis Group	FRANCO, TANABE e DOTTO (2017)

Estudo experimental do uso da casca de arroz na adsorção de azul de metileno	Brazilian Journal of Development	SILVA e SANTOS (2019)
Evaluation of rice husk ash in adsorption of Remazol Red dye from aqueous media	Springer	COSTA e PARANHOS (2019)
Functionalization of Rice Husks with Ortho Phosphoric Acid Enhanced Adsorptive Capacity for Anionic Dye Removal	Springer	AZEEZ et al. (2020)
Methylene Blue Adsorption on Chitosan-g-Poly(Acrylic Acid)/Rice Husk Ash Superabsorbent Composite: Kinetics, Equilibrium, and Thermodynamics	Springer	VAZ et al. (2017)
Sustainable hybrid silica extracted from rice husk with polyvinyl alcohol and nicotinic acid as multi adsorbent for textile wastewater treatment	Springer	HASANIN (2020)
The optimization study of direct red 81 and methylene blue adsorption on NaOH-modified rice husk	Taylor & Francis Group	ASHRAFI, KAMANI e MAHVI (2014)

Fonte: Própria Autora, 2021.

4.2.1. Avaliação individual

4.2.1.1. PERES et al. (2018)

A fim de buscar alternativas para a utilização da casca de arroz, Peres et al. (2018) optaram por produzir bio-nanosílica a partir deste resíduo e testá-la para a adsorção do corante violeta cristal. Para efeito de comparação, utilizaram a nanosílica padrão ($nSiO_2$) e caracterizaram ambas as amostras, realizando ensaios experimentais de adsorção, cinética, isotermas e cálculos termodinâmicos.

UM- $nSiO_2$ (nanosílica modificada por ultrassom) apresentou um volume total de poros, diâmetro médio dos poros, porosidades, densidade e pureza de sólidos maiores que $nSiO_2$, assim como uma área de superfície 30,00% vezes maior. Assim, Peres et al. (2018) definiram que a UM- $nSiO_2$ apresentou características melhores para fins de adsorção, ou seja, é mais eficaz que o processo convencional utilizando a sílica padrão, tendo um potencial de adsorção 15,00% maior que a $nSiO_2$, atingindo um percentual de remoção de 98,00%.

Desse modo, Peres et al. (2018) conseguiram comprovar que $UM-nSiO_2$ é um adsorvente interessante para remover o corante violeta cristal de soluções aquosas, tendo como vantagens apresentar um caráter intrínseco característicos da sílica, cinética de adsorção rápida, alta capacidade de adsorção e alta eficiência. Os parâmetros demonstraram que a adsorção foi espontânea, favorável e endotérmica.

4.2.1.2. FRANCO, TANABE e DOTTO (2017)

Franco, Tanabe e Dotto (2017) buscaram verificar a adsorção contínua do corante azul de metileno utilizando a casca de arroz modificada, que passou pelo processo de lavagem e secagem antes de ser modificada através de processo de extração assistida por ultrassom, dióxido de carbono supercrítico (sCO_2) e NaOH.

Para o processo de caracterização das amostras, Franco, Tanabe e Dotto (2017) utilizaram MEV e espectroscopia infravermelho. Os experimentos foram realizados em escala de laboratório em triplicata e tiveram avaliações divididas em dois tipos: diferentes taxas de fluxo e concentrações iniciais de azul de metileno.

Franco, Tanabe e Dotto (2017) realizaram a otimização de modelos estatísticos, a utilização de fórmulas matemáticas e modelos dinâmicos para a comparação dos resultados, que foram os de The Bed Depth Service Time (BDST), Thomas e Yoon–Nelson. Além de buscarem a porcentagem de remoção.

Franco, Tanabe e Dotto (2017) constataram que todas as modificações que realizaram na casca de arroz trouxeram benefícios para a adsorção. De acordo com os modelos dinâmicos utilizados, os valores teóricos e experimentais estavam de acordo. Assim, a pesquisa, que buscou fazer diversas alterações na estrutura da casca, provou que não apenas é viável utilizar a casca de arroz para a adsorção de azul de metileno como também as suas alterações podem trazer diversos benefícios nos processos adsortivos. No melhor cenário, a porcentagem de remoção foi de 70,01%.

4.2.1.3. SILVA e SANTOS (2019)

Buscando encontrar alternativas mais inovadoras para a remoção de corantes, Silva e Santos (2019) fizeram diversos ensaios com o intuito de avaliar se a casca de arroz seria adequada para o processo de adsorção. A casca de arroz passou pelo processo de lavagem e secagem, em temperatura ambiente e estufa. Para os ensaios adsortivos, três variáveis foram analisadas: concentração de azul de metileno, pH e quantidade do adsorvente. Assim,

conseguiram medir a eficiência e a quantidade de corante adsorvido. Para os dados experimentais, analisaram os resultados aplicando os modelos teóricos de isoterma de Langmuir e de Freundlich, assim como ensaios de cinética.

Silva e Santos (2019) determinaram que a quantidade de biomassa (adsorvente), quando comparada às outras variáveis, possuiu uma maior influência no processo de adsorção, pois segundo o autor, a biomassa disponibilizou maior quantidade de sítio de adsorção e, quanto maior a quantidade de biomassa, mais eficiente se tornava o processo. Concentração e pH também apresentaram influência, mas seus valores para os efeitos foram muito mais baixos. Entre os modelos comparados para as isotermas de equilíbrios, o de Langmuir foi considerado o melhor, pois se encaixava mais nas condições estudadas e apresentadas.

Após todos os ensaios, Silva e Santos (2019) concluíram que a casca de arroz é muito eficiente na remoção de azul de metileno, possuindo boa capacidade de adsorver o corante, chegando até a uma eficiência de 79,40%.

4.2.1.4. COSTA e PARANHOS (2019)

Costa e Paranhos (2019) buscaram utilizar as da casca de arroz para adsorção de corante em meio aquoso, utilizando o Remazol Vermelho para ensaios. O resíduo adsorvente passou pelo tratamento térmico, a fim de ser transformado em cinzas. Fizeram-se os testes em duplicata para analisar a influência do pH, concentrações iniciais de corante, quantidade de adsorvente e tempo de contato, utilizando os modelos de Freundlich e Langmuir para validação dos dados. Ao fim do processo de adsorção e de todos os ensaios envolvidos, as cinzas da casca de arroz passaram pelo processo de regeneração para ser reutilizada.

Na avaliação dos parâmetros utilizados, Costa e Paranhos (2019) definiram que o pH, concentração inicial de corantes, quantidade de solvente e tempo de contato influenciaram diretamente no processo adsorativo. Ao tentarem fazer a regeneração e reutilização do resíduo, notaram que a eficiência de remoção diminuiu ligeiramente com o aumento no número de ciclos, caindo de 90,03% para 68,07% após 3 ciclos de reuso.

Costa e Paranhos (2019) comprovaram que as cinzas derivadas da casca de arroz são eficientes para a remoção do corante Remazol Vermelho das águas residuais através do processo de adsorção, podendo chegar até a 90,00% de remoção. Sendo possível, ainda, fazer a reutilização do material adsorventes, mas sempre se atentando a diminuição da eficiência.

4.2.1.5. AZEEZ et al. (2020)

Azeez et al. (2020) buscaram fazer estudos de adsorção, utilizando o alaranjado de metila como material a ser adsorvido e como adsorvente utilizaram a Casca de Arroz (CA) e a Functionalized Rice Husk (FRH), ou casca de arroz funcionalizada. No caso do estudo em questão, FRH refere-se a casca de arroz modificada com ácido fosfórico. O resíduo *in natura* passou pelo processo de lavagem e secagem em estufa para, então, ser transformada em pó. Parte do material obtido foi ativado com H_3PO_4 .

Azeez et al. (2020) caracterizaram o material através de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), MEV e raios-X dispersivos de energia (EDS) e os ensaios como ponto de carga zero, isotermas, cinéticas de adsorção e com variação na dosagem do adsorvente foram realizados em escala de lote.

Para a análise e validação dos resultados obtidos, Azeez et al. (2020) utilizaram os seguintes modelos de isotermas: Langmuir; Freundlich; Temkin, Temkin e Pyzhev; e Dubinin-Radushkevich. Para os dados de cinética foram aplicados os seguintes modelos: Pseudo-primeira ordem; Pseudo-segunda ordem; Elovich; Difusão intrapartícula; Difusão de filme (modelo Boyd) e o modelo termodinâmico.

Azeez et al. (2020), após os ensaios de caracterização, constataram que a modificação da casca de arroz com ácido fosfórico ajudou a melhorar a adsorção, se comparado à casca de arroz *in natura*. O pH, tempo de contato, temperatura também demonstraram influência no processo adsorvivo. E quanto aos modelos de isotermas aplicados, para o material designado como CA se encaixou mais no modelo sugerido por Langmuir enquanto o FRH foi melhor representado pelo modelo de Freundlich. Para os ensaios de cinética, o de pseudo-segunda ordem foi o que melhor se encaixou em ambos os adsorventes.

Azeez et al. (2020) mostraram que a casca de arroz pode ser usada como adsorvente, podendo ainda suas modificações aumentarem seu potencial adsorvivo. No melhor cenário ajustado, a porcentagem de remoção chegou até a 99,00%.

4.2.1.6. VAZ et al. (2017)

Para tentar encontrar um adsorvente com um grande potencial de remover o corante azul de metileno de meios aquosos, Vaz et al. (2017) usaram em seus ensaios um composto chamado de superabsorvente, que utiliza poli-g-quitosana junto com as cinzas da casca de arroz. Para os ensaios de caracterização, utilizaram a técnica de FTIR. Nos ensaios de adsorção, foi utilizado o corante azul de metileno em tempos pré-estabelecidos, assim como definidas condições

distintas de análises. Desenvolveram, também, experimentos de dessorção onde a reutilização das amostras adsorventes foi investigada por cinco ciclos consecutivos de adsorção/dessorção. Para a avaliação do processo cinético, foram utilizados os modelos de pseudo-segunda e pseudo-primeira ordem. Modelos de isothermas de Langmuir, Freundlich e Temkin foram ajustados para a adsorção de equilíbrio.

Após o processo de caracterização, Vaz et al. (2017) concluíram que a junção das cinzas da casca de arroz com o outro composto, feito com a poli-g-quitosana (ácido acrílico), causou mudanças benéficas e significativas. Para os ensaios de adsorção de corantes, investigaram o tempo de contato na adsorção do azul de metileno. Nos modelos cinéticos utilizados, ambos foram satisfatórios. Para as isothermas, o que mais se encaixou aos dados experimentais foi o de Langmuir. Na etapa de dessorção, mostraram que a reutilização é viável em até cinco ciclos. Além disso, o corante adsorvido foi quase totalmente recuperado após cada adsorção/dessorção.

O composto utilizado por Vaz et al. (2017) se mostrou um poderoso dispositivo a ser empregado na remoção do azul de metileno nas águas residuárias, chegando a uma eficiência de remoção de mais de 90,00%.

4.2.1.7. HASANIN (2020)

Hasanin (2020) buscou a produção de um novo material, feito a partir da casca de arroz modificada – extração da sílica da casca e trabalhá-la com álcool polivinílico e ácido nicotínico –, para testar a capacidade desse como adsorvente para azul de metileno (AM) e o alaranjado de metila (MO). Nos processos iniciais, foi extraída a sílica porosa e então caracterizada por FTIR e MEV. Os ensaios de adsorção analisaram fatores como pH, tempo e concentração de corantes. Os estudos cinéticos se deram através dos modelos pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. Para os dados de equilíbrio, utilizaram os modelos de Langmuir e Freundlich.

Hasanin (2020) descobriu, através da caracterização e dos ensaios, que o material produzido para os ensaios apresentava características que contribuíam para a adsorção como a sílica ser um material poroso, o álcool polivinílico é um polímero conectivo utilizado em remoção de corantes e o ácido nicotínico possui diversos grupos de funções desempenham papel importante remoção de corantes. Logo, os três materiais combinados também mantiveram características adsorptivas.

Segundo Hasanin (2020), os estudos envolvendo os modelos de cinética, mostrou que o MO é melhor encaixado nos modelos de pseudo-primeira ordem e o AM de pseudo-segunda ordem. Os resultados demonstraram que o material híbrido se encaixa nesses modelos e prova

que ele pode ser utilizado para diferentes tipos de corantes. Dentre os dois modelos utilizados para equilíbrio, o que melhor se encaixou foi o de Langmuir.

4.2.1.8. ASHRAFI, KAMANI e MAHVI (2014)

Ashrafi, Kamani e Mahvi (2014) buscaram obter condições ideais de adsorção para os corantes direct red 81 e azul de metileno em solução aquosa utilizando a casca de arroz. O resíduo adsorvente passou por um processo de lavagem e secagem antes de ser ativado com solução de hidróxido de sódio (NaOH). Os ensaios adsortivos buscaram avaliar os efeitos de pH, concentrações de corantes e doses de adsorvente.

Para garantir a confiabilidade dos métodos empregados, Ashrafi, Kamani e Mahvi (2014) fizeram o uso de modelos estatísticos, a fim de demonstrar que os dados eram confiáveis e alcançaram um total de 95,00% de confiança na remoção dos dois corantes, sendo que os valores experimentais foram muito semelhantes ao que fora previsto no estudo. As três variáveis estudadas se mostravam significativas.

Nas condições ideais – utilizando os melhores valores de pH, concentração inicial de corante e a dosagem de adsorvente –, Ashrafi, Kamani e Mahvi (2014) obtiveram, no caso do direct red 81, até 54,04% na eficiência de remoção. Enquanto os ajustes necessários dos mesmos parâmetros para o caso do azul de metileno geraram uma eficiência de remoção de até 97,66%. Portanto, os pesquisadores comprovaram que a casca de arroz modificada pode ser excelente para o tratamento de azul de metileno, mas pode não ser um adsorvente muito bom para o direct red 81.

4.2.2. Avaliação geral

Segundo Guaratini e Zanoni (2000), os corantes podem ser divididos e classificados de acordo com duas estruturas químicas. Na Tabela 4 a seguir, estão algumas classificações de corantes, além de observar breves características e ainda conhecer suas principais aplicações:

Tabela 4 - Classificações, descrições e aplicações de alguns corantes

Classificação	Descrição	Aplicações
À cuba	Baseada nos índigos, tioindigóides e antraquinóides. Praticamente insolúveis em água, mas podem se tornar solúveis durante o processo de tintura.	Fibras naturais e artificiais.
Ácidos	Corresponde a um grande grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos. É solúvel em água.	Alimentos, couro, fibras naturais e sintéticas, lã e papel.
Azóicos	Alimentos, couro, fibras naturais e sintéticas, lã e papel.	Fibras naturais e sintéticas.
Branqueadores	Apresentam grupos carboxílicos, azometino (-N=CH-) ou etilênicos (-CH=CH-).	Detergentes, fibras naturais, fibras artificiais, fibras sintéticas, óleos, plásticos, sabões, tintas e papel.
Diretos	Compostos solúveis em água capazes de tingir fibras de celulose através de interações de Van der Waals.	Couro, fibras naturais e artificiais, e papel.
Dispersivos	Insolúveis em águas, possuem agentes dispersantes com longas cadeias que normalmente estabilizam a suspensão do corante facilitando o contato entre o corante e as fibras hidrofóbicas.	Fibras naturais e sintéticas.
Enxofre	Após a aplicação se caracterizam por compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos (- Sn-), os quais são altamente insolúveis em água.	Fibras naturais.
Pré-metalizados	Possuem a presença de um grupo hidroxila ou carboxila na posição <i>ortho</i> em relação ao cromóforo azo, permitindo a formação de complexos com íons metálicos.	Tintas, plásticos, couros e papel.
Reativos	Contém um grupo de eletrofílico (reativo) capaz de formar ligação covalente com alguns grupos (hidroxila, das fibras celulósicas, amino, hidroxila e tíois das fibras protéicas, e amino das poliamidas).	Couro, fibras naturais e artificiais, e papel.
Solventes	Insolúveis em água, geralmente apolares ou pouco polares.	Ceras, cosméticos, gasolina, madeira, plásticos, solventes orgânicos, vernizes e tintas.

Fontes: GUARATINI E ZANONI, 2000; ROYER, 2008; ALI, 2017; FABRICIO, 2017.

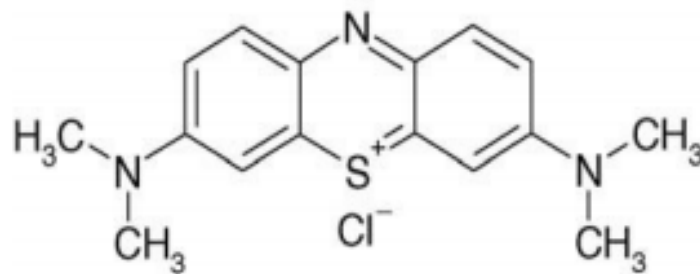
Há outras duas importantes definições, não citadas diretamente na Tabela 4, que são: corantes catiônicos e corantes aniônicos. Essas subcategorias abrangem as classificações já citadas anteriormente. Um corante aniônico pode ser ácido, direto ou reativo. Os corantes catiônicos são de caráter básico (BRITO, 2019).

Além disso, há uma outra nomeação para os corantes, essa se tratando de uma definição de acordo com sua estrutura química em seis diferentes classes: azo, antraquinonas, sulfurosos,

índigoides, trifenilmetanos e triftalocianinas. Estima-se que cerca de 60,00% dos corantes utilizados nas indústrias têxteis são do tipo azo (CATANHO, MALPASS e MATHEO, 2006; CADORIN, 2009)

O corante mais recorrente nas pesquisas analisadas é o azul de metileno (Figura 6)– presentes nos artigos de Silva e Santos (2019); Vaz et al. (2017); Ashrafi, Kamani e Mahvi (2014); Franco, Tanabe e Dotto (2017); e Hasanin (2020).

Figura 6 - Estrutura Química do Azul de Metileno



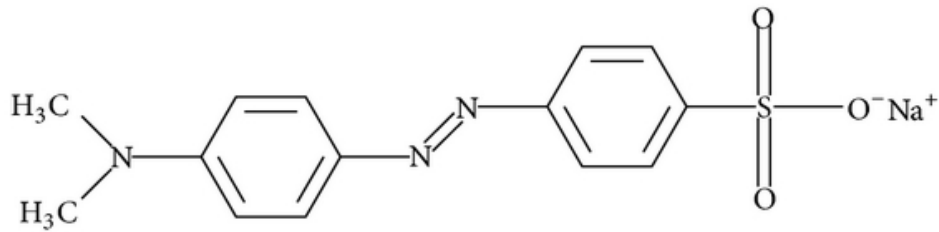
Fonte: BRUNO, 2008.

É um corante catiônico muito empregado na indústria têxtil e se o efluente não é tratado pode trazer diversas consequências negativas, afetando não somente a transparência das águas como também limitando a passagem de radiação solar, diminuindo a atividade fotossintética natural (OLIVEIRA, F. M., 2016).

Por conta de sua aplicação extensiva nas indústrias – podendo ser empregado em tingimento de algodão, lã e papel, tinturas temporárias para cabelos – e do seu efeito tóxico causado sobre a biota aquática é fundamental realizar o tratamento do efluente antes do lançamento nos corpos receptores. Além disso, possui como característica uma forte adsorção em suportes sólidos e frequentemente serve como composto modelo para ensaios de remoção de corantes e de contaminantes orgânicos a partir de soluções aquosas (OLIVEIRA, F.M., 2016; OLIVEIRA, SILVA e VIANA, 2013).

Na Figura 7 a seguir, é possível ver a estrutura química do segundo mais recorrente é o alaranjado de metila – presente nos artigos Hasanin (2020) e Azeez et al. (2020).

Figura 7 - Estrutura Química do alaranjado de Metila

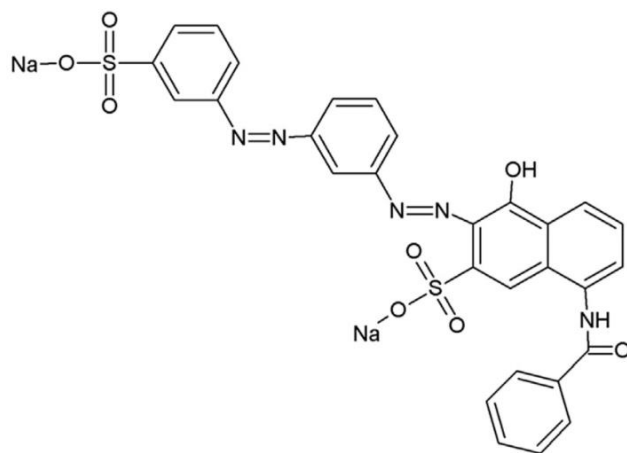


Fonte: SZETO et al., 2014.

O alaranjado de metila difere-se do azul de metileno não apenas em sua tonalidade, mas também em suas características, sendo o corante alaranjado de metila classificado como um azo aniônico (SOARES, BERGMANN e ALVES, 2014; BRUNO, SANTOS e MELGAR, 2017). Isso demonstra por que Hasanin (2020), mesmo aplicando o mesmo processo para a adsorção de azul de metileno e alaranjado de metila em seus ensaios, obteve resultados diferentes para os corantes, devido um ser catiônico e outro aniônico.

Algo semelhante aconteceu em Ashrafi, Kamani e Mahvi (2014), que realizaram ensaios com direct red 81 (Figura 8), um corante aniônico do tipo azo (KHAN, DAHIYA e KHAN, 2016), e os comparou com azul de metileno.

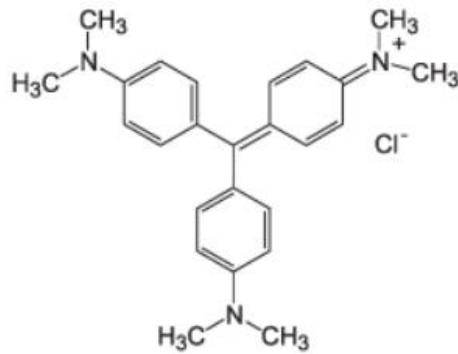
Figura 8 - Estrutura Química do Direct Red 81



Fonte: KHAMPARIA e JASPAL, 2016.

Embora tenham passado por procedimentos iguais, tiveram uma eficiência de remoção muito discrepantes, com o azul de metileno chegando até a 97,66%, já o direct red 81 se limitou em 54,04% (ASHRAFI, KAMANI e MAHVI, 2014).

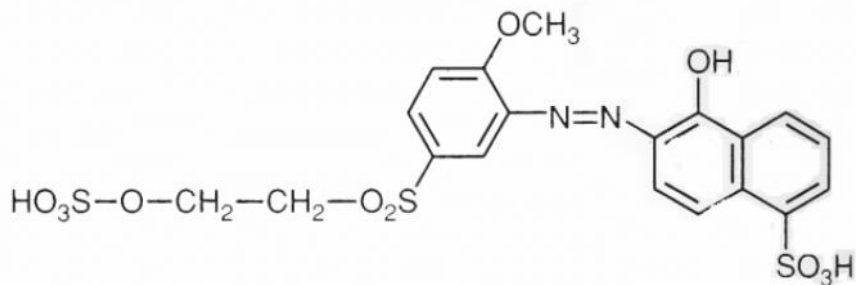
Figura 9 - Estrutura Química do Violeta Cristal



Fonte: SANTOS et al., 2005.

O violeta cristal (Figura 9), presente na pesquisa de Peres et al. (2018), também pode ser caracterizado como um corante catiônico (MORI e CASSELLA, 2009), diferente do vermelho de remazol (Figura 10) – utilizado por Costa e Paranhos (2019) – que é um corante aniônico reativo (MAGDALENA, 2010).

Figura 10 - Estrutura Química do Vermelho de Remazol



Fonte: ARA et al., 2013.

Ambos os corantes, violeta cristal e vermelho de remazol, embora apresentando estruturas químicas diferentes, obtiveram resultados satisfatórios, com o primeiro chegando a 90,00% de eficiência na remoção e o segundo a 98,00%.

Contudo, é preciso lembrar que Peres et al. (2018) e Costa e Paranhos (2019) fizeram procedimentos diferentes na casca de arroz, o primeiro produzindo uma bio-nanosílica e no segundo a casca de arroz passou apenas pelo tratamento térmico.

A modificação na casca de arroz é um processo comum, que já foi realizado por alguns pesquisadores, essas mudanças acontecem como uma forma de tentar aprimorar as

características pré-existent, a fim de melhorar ainda mais a eficiência do resíduo. Há diversos tratamentos como físicos, químicos ou físico-químicos (CASTRO, 2019; SOUZA, 2019; CRUZ et al., 2019; SHABAN et al., 2017).

Dos artigos analisados, apenas Silva e Santos (2019) não fizeram nenhuma modificação no adsorvente e utilizou *in natura*. A casca de arroz apresentada pelos autores passou apenas por um processo de lavagem e secagem que não alterou sua estrutura física ou química.

As pesquisas de Peres et al. (2018) e Hasanin (2020) focaram na extração da biossílica e sílica porosa, respectivamente. A sílica é a forma mais comum do silício e é encontrada em diversos materiais presentes na natureza, podendo ser em forma cristalina ou amorfa. Possui uma grande variedade de aplicações por conta da sua fácil moagem e alta reatividade, sendo a adsorção uma delas. E a casca de arroz é rica em sílica (SOUZA, 2017; SIMUNDI, 2017).

Ainda segundo Simundi (2017) a extração da sílica pode ser feita de diversas formas, mas o mais comum é feito utilizando um meio alcalino para ajudar a isolar a sílica e logo após calcinar em altas temperaturas até que o material orgânico seja convertido em CO₂. Ou seja, faz a utilização de um produto químico e depois um tratamento térmico para que a casca de arroz seja modificada e a sílica extraída. Contudo, há casos em que o tratamento prévio ocorre através de um meio ácido, geralmente quando se busca uma alta pureza da sílica.

Nas pesquisas de Ashrafi, Kamani e Mahvi (2014); Costa e Paranhos (2019); Franco, Tanabe e Dotto (2017); e Azeez et al. (2020) o material estudado (casca de arroz) passou por algum tipo de processo de ativação, física e/ou química. A ativação física consiste em expor a matéria-prima à altas temperaturas, enquanto na química ocorre através da aplicação de um elemento ativador de origem química como, por exemplo, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, cloreto de zinco, hidróxido de sódio, entre outros, antes ou depois da pirolise (SOUZA, 2019).

Vaz et al. (2017), embora tenha exposto a casca de arroz à altas temperaturas e utilizado produtos químicos, a principal característica do experimento foi misturar a casca de arroz com um hidrogel, originando um novo composto.

A casca de arroz e o corante – adsorvente e adsorvato, respectivamente –, de todas as pesquisas analisadas, passaram pelos experimentos adsorptivos. A adsorção é uma operação de transferência de massa, onde é avaliada a habilidade de certos sólidos em concentrar em sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos (NASCIMENTO et al., 2014). Desse modo, espera-se que o adsorvente retenha o máximo possível de adsorvato presente na solução.

Os experimentos adsortivos podem ocorrer de formas variadas, mas há alguns parâmetros que podem influenciar diretamente no processo como, por exemplo, área superficial, temperatura, pH, propriedades do adsorvente e propriedades do adsorbato (NASCIMENTO et al., 2014; SOUZA, 2019).

Alguns dos artigos selecionados avaliaram diretamente a interferência desses parâmetros – foi o caso de Silva e Santos (2019) e Ashrafi, Kamani e Mahvi (2014) – que avaliaram a influência do pH, da concentração inicial do adsorbato e da quantidade de adsorvente presente no experimento. Enquanto Costa e Paranhos (2019); Franco, Tanabe e Dotto (2017); e Hasanin (2020) optaram por focar em analisar a concentração inicial do adsorbato. Os artigos Peres et al. (2018) e Azeez et al. (2020) fizeram experimentos que se relacionavam com as propriedades do adsorvente.

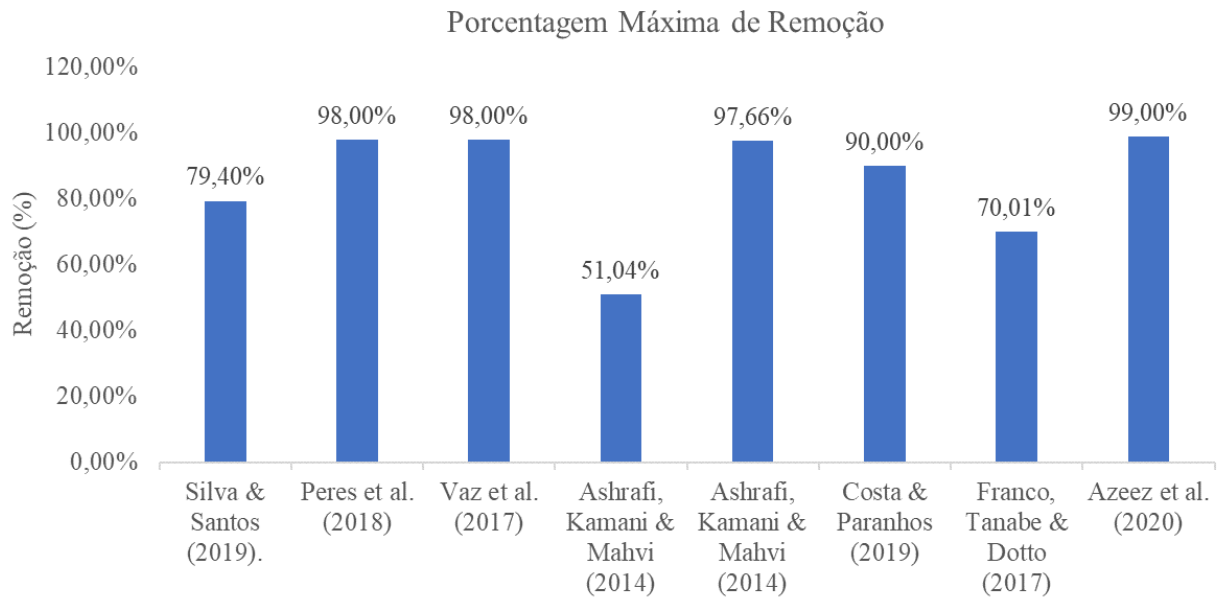
Outro ponto importante e que foi recorrente em alguns dos estudos analisados – Silva e Santos (2019); Peres et al. (2018).; Vaz et al. (2017); Hasanin (2020); e Azeez et al. (2020) – são as isotermas e cinéticas de adsorção. As isotermas são modelos matemáticos usados para descrever os dados de equilíbrio (SOUZA, 2019).

Segundo Souza (2019) e Nascimento et al. (2014), o equilíbrio de adsorção é geralmente um requisito essencial para se obter informações relevantes sobre projetos e análise de um processo adsortivo, trata-se de uma relação entre o adsorvente e o adsorbato. Quando os dois entram em contato, as moléculas ou íons fluem do meio aquoso para a superfície do adsorvente até que a concentração de soluto na fase líquida se mantenha constante. Ao acontecer, é dito que o sistema atingiu o equilíbrio. As isotermas servem para ler e compreender os dados e valores desse processo, além de correlacionar dados teóricos com dados experimentais.

A cinética de adsorção também é um ponto muito importante e fundamental para os estudos adsortivos. Corresponde a taxa de remoção do adsorbato em relação ao tempo, ou seja, a velocidade de adsorção das moléculas do adsorbato pelo adsorvente. Essa velocidade vai variar de acordo com as propriedades físico-químicas do adsorbato, da solução e do adsorvente. É por conta dessas influências que, muitas vezes, fazem-se ajustes de pH, temperatura, concentração (SOUZA, 2019; NASCIMENTO et al., 2020), como já discutido anteriormente neste tópico, onde vários dos artigos selecionados preocuparam-se em fazer ajustes para melhorar o processo de adsorção.

Após passar pelas etapas de adsorção, as pesquisas destacadas nas referências citadas buscaram chegar à uma eficiência de remoção dos corantes, como mostrado na Figura 11 a seguir:

Figura 11 - Resultados da eficiência de remoção de alguns artigos selecionados



Fonte: Própria autora, 2021.

A quantidade removida geralmente é determinada através de equações matemáticas, que correlacionam os valores de antes e depois dos ensaios de adsorção (CRUZ et al., 2019). Dos artigos analisados, apenas Hasanin (2020) não apresentou os valores em porcentagem, então não foi possível encaixá-lo no Gráfico.

Ainda sobre o gráfico da Figura 11, é possível perceber que o menor valor está concentrado em um dos corantes do estudo de Ashrafi, Kamani e Mahvi (2014). Trata-se do corante direct red 81 que, segundo o próprio autor, não foi considerado uma alternativa muito satisfatória por ter alcançado uma eficiência de remoção muito baixa. Recomenda-se, então, que se busque outras formas de tratamento. Hossein e Behzad (2012) utilizaram pedra-pomes como adsorvente alternativo e obtiveram resultados semelhantes, com a eficiência de remoção deste corante se limitando a 53,36%.

Em contrapartida, Khan, Dahiya e Ali (2012) desenvolveram ensaios utilizando serragem de bambu tratada com ácido cítrico como resíduo alternativo para tratar o direct red 81 e obtiveram resultados muito satisfatórios com o melhor cenário chegando à 92,00% de eficiência na remoção.

O uso do resíduo tratado para adsorção do corante violeta cristal – presente no estudo de Peres et al. (2018) – atingiu um potencial de remoção de 98,00%, uma eficiência quase total. Resultados igualmente satisfatórios foram encontrados em estudos realizados por Chakraborty,

Chowdhury e Saha (2011), que utilizaram casca de arroz modificada por NaOH, chegando em até 98,17% de remoção.

O mesmo aconteceu na pesquisa realizada por Saeed, Sharif e Iqbal (2010), que utilizaram casca de toranja como adsorvente e conseguiram chegar à uma eficiência de 98,25% na remoção do corante violeta cristal.

Costa e Paranhos (2019), que fizeram a utilização da casca de arroz frente ao corante vermelho de remazol, atingiram a capacidade de remoção de 90,00%. Esse resultado é muito melhor do que o encontrado por Mustapha et al. (2021), que fez a utilização da casca de coco como resíduo alternativo, porém só conseguiu chegar ao potencial de adsorção máxima de 75,00%. Sendo, contudo, resultados inferiores aos encontrado por Magdalena et al. (2009), que utilizou cinzas de carvão e conseguiu uma eficiência de 95,00%.

O potencial da casca de arroz frente ao corante alaranjado de metila – Azeez et al. (2020) – atingiu o potencial de adsorção de quase 100,00% de eficiência na remoção (99,00%). Esse valor é maior que o encontrado por Zayed et al. (2018), que utilizou argilas egípcias como material adsorvente e chegou a uma adsorção máxima de aproximadamente 96,00% para o mesmo corante.

Frente ao corante mais recorrente, azul de metileno, o resíduo demonstrou uma alteração nos resultados, sendo a maior capacidade de adsorção destacada na pesquisa de Vaz et al. (2017) com 98,00% e a menor em Franco, Tanabe e Dotto (2017) com 70,01%. Essa diferença de valores nos ensaios, utilizando os mesmos corantes, pode estar relacionada aos diferentes tratamentos e métodos aplicados à casca de arroz e nos ensaios de adsorção, já que cada autor usou uma forma diferente de realizar os procedimentos experimentais, como já exposto anteriormente.

Em outra pesquisa, ainda utilizando a casca de arroz, Silva e Santos (2019) também utilizaram a casca *in natura* e chegaram a uma eficiência de 79,40%, maior do que aquela encontrada em Franco, Tanabe e Dotto (2017), menor que os valores das pesquisas de Vaz et al. (2017) e Ashrafi, Kamani e Mahvi (2014), porém exatamente igual ao encontrado por Santos e Silva (2019).

Comparando com outros resíduos naturais, Faccioni e Rosa (2020) desenvolveram ensaios com a casca da castanha do Pará *in natura* para adsorção de azul de metileno, nos melhores cenários, o resíduo alcançou uma eficiência de quase 100,00%, chegando a 99,20%, maiores que todos os valores alcançados com a casca de arroz.

Barroso, Lopes e Cunha (2019) utilizaram a casca de pequi para adsorver o corante azul de metileno. Em seu melhor cenário, alcançou 73,18% de remoção, valor melhor que Franco,

Tanabe e Dotto (2017), mas inferiores aqueles observados nas pesquisas de Silva e Santos (2019), Vaz et al. (2017) e Ashrafi, Kamani e Mahvi (2014). Utilizando casca de pinhão, Romão e Viana (2018) chegaram a uma remoção de aproximadamente 96,00% para a remoção do mesmo corante.

4.3. Fármacos

Na Tabela 5 estão relacionadas as referências bibliográficas analisadas para aplicação da casca de arroz como adsorvente de contaminantes do tipo fármacos.

Tabela 5 - Referências bibliográficas utilizadas na avaliação (Fármacos)

Título	Fonte:	Referência:
Adsorption Behavior and Mechanism of Oxytetracycline on Rice Husk Ash: Kinetics, Equilibrium, and Thermodynamics of the Process	Springer	ANDRADE et al. (2020)
Adsorption characteristics of beta-lactam cefixime onto nanosilica fabricated from rice HUSK with surface modification by polyelectrolyte	Science direct	PHAM et al. (2020)
Adsorption of Polyelectrolyte onto Nanosilica Synthesized from Rice Husk: Characteristics, Mechanisms, and Application for Antibiotic Removal	MDPI	PHAM et al. (2018)
Adsorption Properties of Thermally Treated Rice Husk for Removal of Sulfamethazine Antibiotic from Pharmaceutical Wastewater	Journal of Pharmaceutical Research International	BALARAK et al. (2020)
Comparative study of rice husk biochars for aqueous antibiotics removal	Journal of Chemical Technology & Biotechnology	ZENG et al. (2018)
Insight into the adsorption of doxycycline hydrochloride on diferente thermally treated hierarchical CoFe ₂ O ₄ /bio-silica nanocomposite	Science direct	OLUSEGUN e MOHALLEM (2019)
Response surface methodology approach for optimization of ciprofloxacin adsorption using activated carbon derived from the residue of desilicated rice husk	Science direct	ZHANG et al. (2017)
Tetracycline adsorption onto rice husk ash, an agricultural waste: Its kinetic and thermodynamic studies	Science direct	CHEN et al. (2016)

Fonte: Própria Autora, 2021.

4.3.1. Avaliação individual

4.3.1.1. ANDRADE et al. (2020)

Andrade et al. (2020) buscaram entender o mecanismo de adsorção do antibiótico oxitetraciclina (OTC), com estudos de cinética e termodinâmica, utilizando a cinza da casca de arroz (CCA). A caracterização do resíduo foi determinada através de MEV e buscaram avaliar diferentes critérios, tais como: efeitos do tempo de contato, dosagem do adsorvente, pH de solução inicial, concentração inicial e temperatura, todos em batelada e em triplicata. Para validação dos dados de cinética e equilíbrio, utilizaram um software Statistica 10.0 que faziam ajustes dos modelos.

Através do processo de caracterização, Andrade et al. (2020) perceberam que a dosagem do adsorvente, pH, tempo de contato e a temperatura se mostravam como fatores influentes no processo adsorptivo. Após os ensaios, os pesquisadores conseguiram comprovar que, ajustando alguns fatores, a adsorção de oxitetraciclina utilizando as cinzas da casca de arroz é possível e viável.

4.3.1.2. PHAM et al. (2020)

Os pesquisadores investigaram a adsorção de cefixima (CEF), que é um antibiótico da classe dos beta-lactâmicos indicado para tratamento de doenças infecciosas dos ouvidos, garganta, bronquite e sinusite, utilizando a nanosílica derivada da casca de arroz. Além disso, trabalharam a nanosílica com cloreto de poli-dialil-dimetilamônio (PDADMAC), a fim de tentar melhorar seu potencial adsorptivo. Pham et al. (2020) caracterizaram o resíduo adsorvente por difração de raios-X (XRD), FTIR e MEV. Além de utilizar também espectroscopia por fluorescência de raios-X (XRF), microscopia eletrônica de transmissão (TEM) e Brunauer - Emmett - Método de caixa (BET).

Pham et al. (2020) realizaram os experimentos em batelada e em triplicata, e investigaram os efeitos de tempo de contato, dosagem de adsorvente, pH e força iônica, assim como ensaios de cinética e isotermas – utilizando os modelos pseudo-primeira, pseudo-segunda ordem e a equação isotérmica geral. Assim como procedimentos que visavam a dessorção e regeneração da matéria utilizada, para observar a viabilidade da reutilização do resíduo adsorvente.

Segundo Pham et al. (2020), a caracterização do material demonstrou que as mudanças foram úteis para melhorar o grau adsorptivo e isto se provou nos ensaios onde, após a

modificação da nanossílica com PDADMAC, a remoção do fármaco aumentou de 24,55% para 93,51%. Efeitos como tempo de contato, pH, dosagem do adsorvente e força iônica se mostraram influentes no processo. A restauração do resíduo foi considerada possível, indicando que havia remoção mesmo após 4 ciclos de adsorção. O pseudo-segunda ordem foi o modelo de cinética de adsorção que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Nas condições ideais, Pham et al. (2020) conseguiram comprovar que a nanossílica, produzida a partir da casca de arroz, é eficaz na remoção de cefixima sendo possível, inclusive, a reutilização do resíduo.

4.3.1.3. PHAM et al. (2018)

A nanossílica, derivada da casca de arroz, foi modificada com PDADMAC e então aplicou-se para a adsorção do antibiótico amoxicilina (MXA). Para a caracterização do material Pham et al. (2018) utilizaram tecnologias como XRD, FTIR, MEV, espectroscopia de fluorescência, TEM e BET. Os ensaios de adsorção foram realizados em triplicata e em batelada e procuraram investigar a eficiência de remoção do MXA com e sem a modificação por PDADMAC na sílica, além de procurar entender os efeitos de tempo de contato, pH e dosagem dos adsorventes. Os modelos isotérmicos foram ajustados com o auxílio do software *Origin Professional 8 Edition*.

Segundo Pham et al. (2018), o efeito do tempo de contato, pH, dosagem do adsorvente e força iônica se mostraram influentes em seus estudos. E constataram que a remoção de MXA aumenta de 19,10% para 92,30% com a nanossílica modificada por PDADMAC, sendo assim o adsorvente modificado considerado melhor que a nanossílica comum. Comprovando, assim, que o material produzido para os estudos é uma saída viável para a adsorção, por ter um resíduo barato e pelos resultados encontrados, além de ser possível ainda melhorar o processo de adsorção com modificações em sua estrutura.

4.3.1.4. BALARAK et al. (2020)

A pesquisa buscou estudar a eficácia da casca de arroz tratada termicamente (TTRH) para a adsorção de sulfametazina, um agente antimicrobiano indicada no tratamento de infecções bacterianas que causam bronquite e infecções do trato urinário. O resíduo adsorvente passou pelo processo de moagem, lavagem e secagem em forno. Balarak et al. (2020) desenvolveram os ensaios adsorção em escala de lote e, através deles, buscaram entender os efeitos de temperatura, quantidade de adsorvente e tempo de contato. Os dados foram

analisados utilizando os modelos de isotermas de equilíbrio de Langmuir, Freundlich e Dubinin–Radushkevich.

Balarak et al. (2020) perceberam que temperatura, tempo de contato e quantidade de adsorvente se mostraram influentes no processo adsorptivo. Tanto o modelo de Langmuir quanto o de Freundlich se mostraram favoráveis para os dados de isotermas de adsorção. Por fim, os pesquisadores concluíram que a casca de arroz tratada tem um enorme potencial para a remoção de sulfametazina de soluções aquosas.

4.3.1.5. ZENG et al. (2017)

Zeng et al. (2017) utilizaram em sua pesquisa o biochar, derivado da casca de arroz, como possível adsorvente de três antibióticos distintos – tetraciclina (TC), cloridrato de doxiciclina (DC) e ciprofloxacina (CF) –, a fim de analisar a viabilidade de utilização desse resíduo para a adsorção. Após a produção do resíduo, realizaram a caracterização do material através de analisador elementar, FTIR, MEV, Micromeritics TriStar II 3020 e medidor de potencial zeta.

Os ensaios foram desenvolvidos em duplicata, onde Zeng et al. (2017) buscaram analisar a influência da dosagem do adsorvente, do pH e concentração inicial do antibiótico. Além de estudar a cinética – utilizando os modelos pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem – e o isotermas de adsorção – modelos de Langmuir e Freundlich.

Segundo os pesquisadores (ZENG et al.,2017) o tratamento térmico, responsável por transformar a casca de arroz em biochar contribuiu para o aumento da área superficial, comprovaram por meio da caracterização que o resíduo seria viável para a adsorção. Observaram ainda que a dosagem do adsorvente e o pH influenciavam diretamente no processo adsorptivo. Quanto aos estudos de cinética, o modelo que melhor descreveu o processo de adsorção foi o pseudo-segunda ordem, pois se ajustou melhor aos dados experimentais. Em relação aos dados de equilíbrio, o modelo de isotermas mais adequado foi o de Langmuir.

Zeng et al. (2017) conseguiram comprovar que o biochar, derivado da casca de arroz, é eficiente para a remoção desses três antibióticos diferentes. Além disso, fazendo ajustes nos processos, os resultados mostraram-se muito satisfatórios, sendo as capacidades máximas de adsorção 80,9mg/g, 85,2mg/g e 36,1 mg/g para TC, DC e CF, respectivamente.

4.3.1.6. OLUSEGUN e MOHALLEM (2019)

Olusegun e Mohallem (2019) investigaram a remoção de cloridrato de doxiciclina (DOX), através do processo de adsorção, utilizando material produzido a partir casca de arroz e o caracterizaram por XRD, MEV e FTIR. Para os ensaios de adsorção, feitos em duplicatas, os experimentos se realizaram em escala de lote e avaliaram como possíveis influências as seguintes variáveis: pH da solução, dosagem do adsorvente, tempo de adsorção e temperatura da solução. Os efeitos da força iônica e do fosfato também foram investigados. Para a validação dos resultados, utilizaram modelos cinéticos, como pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e de ordem geral, para a avaliação dos resultados. Os modelos de Langmuir e Freundlich foram utilizados para as isotermas de adsorção. Por fim, os autores também estudaram o processo de dessorção do adsorvente.

Segundo Olusegun e Mohallem (2019), o pH, tempo de contato e temperatura se mostraram influentes na adsorção, ao contrário da dosagem do adsorvente, força iônica e do fosfato que pouco interferiram no processo. O modelo que melhor se ajustou aos resultados foram o de pseudo-segunda ordem. Em relação às isotermas, o que melhor se ajustou foi o de Langmuir. Nos processos de dessorção, observaram que a reutilização dos compósitos produzidos a partir da casca de arroz possui uma redução de qualidade notável após 5 ciclos.

Olusegun e Mohallem (2019) procuraram elaborar um novo nanocompósito, derivado da casca de arroz, que se mostrou muito eficaz na remoção do antibiótico cloridrato de doxiciclina, e pode ser usado por mais de um ciclo adsorativo.

4.3.1.7. ZHANG et al. (2017)

A presente pesquisa de Zhang et al. (2017) buscou investigar a remoção do antibiótico ciprofloxacina (CPX) através da adsorção, utilizando como adsorvente o carvão ativado derivado da casca de arroz dessilicada. A caracterização do resíduo adsorvente foi feita através de um analisador de superfície e método de disco de brometo de potássio. Para a avaliação dos experimentos de adsorção, foram utilizados os seguintes critérios: tempo de contato, dosagem do adsorvente, concentração de CPX e pH.

Zhang et al. (2017) utilizaram para a técnica de planejamento experimental com modelo de superfície de resposta, além de usar softwares para analisar as respostas dos ensaios de adsorção. Quanto aos modelos isotérmicos de adsorção, foram escolhidos para análises os de Langmuir, Freundlich, Koble-Corrigan e Temkin. Para os de cinética, foram utilizados os

pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem, modelo de Elovich e modelo de difusão intrapartícula.

Nos resultados, Zhang et al. (2017) constataram que o tempo de contato, dosagem do adsorvente, concentração de CPX e pH se mostraram influentes no processo adsorptivo. O modelo de isotermas que mais se assemelhou aos resultados experimentais foi o de Langmuir. Quanto aos de cinética, os autores perceberam que pseudo-primeira ordem e de Elovich não conseguiram descrever a adsorção de CPX de maneira adequada, sendo o modelo pseudo-segunda ordem o que melhor se adequou aos dados.

Zhang et al. (2017) conseguiram comprovar que a adsorção utilizando carvão ativado, derivado da casca de arroz, é muito promissora e com grandes chances de dar certo. Além disso, ajustando-se as melhores condições, os resultados podem ser ainda mais satisfatórios.

4.3.1.8. CHEN et al. (2016)

Os pesquisadores buscaram avaliar a cinza da casca de arroz como novo adsorvente e compreender seu mecanismo de adsorção no tratamento de tetraciclina (TC), antibiótico utilizado no tratamento de infecções provocadas por micro-organismos. Os ensaios adsorptivos foram realizados em triplicata e procuraram avaliar as influências da concentração inicial do adsorvato, temperatura, pH e força iônica. Para a caracterização, Chen et al. (2016) utilizaram varredura ultravioleta e difratograma de raios X. A capacidade de adsorção foi determinada aplicando-se equações matemáticas delineadas pelos pesquisadores. Além dos modelos de Langmuir, Freundlich e Radushkevich para analisar o comportamento isotérmico. Para analisar a cinética de adsorção vários modelos foram utilizados, como o pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e Weber-Morris.

Chen et al. (2016) perceberam que o tempo de contato, concentração inicial do adsorvente, pH, força iônica e temperatura se mostraram influentes no processo adsorptivo. Dos modelos utilizados, o que descreveu os dados obtidos no processo foi o de Langmuir. Para os ensaios de cinética, o modelo que melhor se adequou aos dados experimentais foi o de pseudo-segunda ordem. Por fim, os pesquisadores conseguiram comprovar que as cinzas da casca de arroz são uma boa alternativa com potencial adsorptivo frente ao antibiótico tetraciclina em soluções aquosas residuais e que a capacidade de adsorção pode ser melhorada significativamente ajustando-se as condições experimentais, chegando a uma capacidade máxima de até 8,37mg/g, melhor que outros trabalhos presentes na literatura.

4.3.2. Avaliação geral

No tópico anterior falou-se um pouco sobre as influências das alterações físicas e químicas na casca de arroz, assim como do potencial de adsorção desse resíduo frente diferentes tipos de fármacos encontrados regularmente em águas residuais.

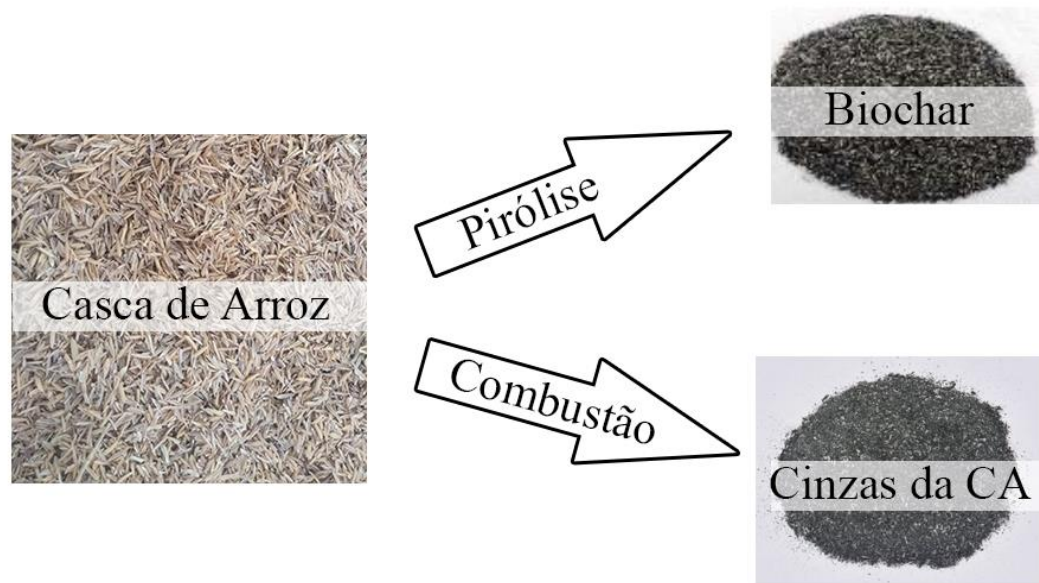
A começar pelo conceito “biochar”, apresentado Zeng et al. (2017). O biochar é um material carbonáceo poroso produzido durante a decomposição termoquímica da matéria prima de biomassa com pouco ou nenhum oxigênio. A matéria-prima de biomassa pode ser qualquer resíduo orgânico como resíduos de colheitas e florestas, aparas de madeiras, algas, lodo de esgoto, adubos, entre outros (XIANG et al., 2020).

Ainda segundo Xiang et al. (2020), o processo de produção da biomassa inicia com um pré-tratamento físico, químico ou biológico, e então o biochar é produzido através de pirólise, processos hidrotérmicos, carbonização, gaseificação ou microondas. Por fim, passa por métodos físicos ou químicos no seu pós-tratamento, dando origem ao biochar, podendo ainda serem conhecidos como biocarvão ou carvão vegetal. O biochar é muito útil para o processo de adsorção, podendo melhorar o funcionamento do resíduo, como mostrado por Zeng et al. (2017).

Diretamente ligado a este conceito, estão as CCA, presentes nos artigos Andrade et al. (2020), Olusegun e Mohallem (2019) e Chen et al. (2016). CCA é gerada através da queima da casca de arroz e, por serem composta de sílica, apresentam potencial para serem utilizadas como matéria-prima na elaboração de diversos materiais, de diferentes seguimentos industriais. É obtida através de um processo físico, podendo ser amorfas ou cristalinas, e o que irá definir essa característica é a temperatura e o tempo da queima. Se o tempo for pequeno e a temperatura baixa, é comum que a sílica seja amorfa (KIELING et al., 2020).

Na Figura 12 a seguir, é possível observar – de uma maneira simplificada – a diferença na preparação de biochar e das cinzas da casca de arroz e como um mesmo material pode originar resíduos diferentes:

Figura 12 - Casca de arroz transformada em biochar e cinzas



Fonte: Adaptado de JATAV et al., 2016; LEKSUNGNOEN et al., 2019; STEIN e SCHEMMEL, 2020.

A pesquisa de Zhang et al. (2017) faz utilização do carvão ativado que historicamente é produzido por meio de um processo que consiste na desidratação da matéria-prima e carbonização, seguido por ativação (MARCKMANN et al., 2015). O carvão ativado é ainda o adsorvente mais utilizado, sendo muito eficaz para o processo adsorptivo por apresentar alta área superficial e porosidade (PEREIRA e PIMENTEL, 2020).

Pham et al. (2020) e Pham et al. (2018) apresentam a nanossílica da casca de arroz. Trata-se de um material produzido a partir da sílica, tendo partículas menores e geralmente com um maior grau de pureza. Os nanocompositos, citados por Olusegun e Mohallem (2019), comumente tratam da aplicação das nanopartículas da sílica com algum outro composto (MOOSA e SADDAM, 2017).

Balarak et al. (2020) optaram por moer a casca de arroz. Esse processo consiste em fazer uma diminuição do tamanho das partículas, o que afeta diretamente na área superficial disponível o que favorece o processo de adsorção, pois permite que o adsorvato tenha uma maior afinidade de interação com o adsorvente (ZAPARTE, 2020; SANTOS et al., 2017).

A caracterização da casca de arroz e de seus derivados foi um processo citado por quase todos os pesquisadores analisados (ANDRADE et al., 2020; PHAM et al., 2020; ZHANG et al., 2017; OLUSEGUN e MOHALLEM, 2019; CHEN et al., 2016; PHAM et al., 2018; e ZENG et al., 2017). Dentre os mais comuns e recorrentes estão o uso de MEV (ANDRADE et al., 2020; PHAM et al., 2020; OLUSEGUN e MOHALLEM, 2019; PHAM et al., 2018; e ZENG et al., 2017), difração de raios-X (PHAM et al., 2020; OLUSEGUN e MOHALLEM, 2019;

CHEN et al., 2016; e PHAM et al., 2018), FTIR (PHAM et al., 2020; OLUSEGUN e MOHALLEM, 2019; PHAM et al., 2018; e ZENG et al., 2017), espectroscopia de fluorescência de raios-X (PHAM et al., 2020; e PHAM et al., 2018), microscopia eletrônica de transmissão (PHAM et al., 2020; e PHAM et al., 2018), Brunauer - Emmett - Método de caixa (PHAM et al., 2020; e PHAM et al., 2018), analisador de superfície (ZHANG et al., 2017; e ZENG et al., 2017), método de disco de brometo de potássio (ZHANG et al., 2017), varredura ultravioleta (CHEN et al., 2016).

A caracterização, como o próprio nome já sugere, são métodos utilizados para caracterizar um material, conhecendo a fundo suas estruturas e processos, verificando as suas fases presentes e suas distribuições no final do produto, antes e depois de serem modificados por algum ensaio (OVIEDO et al., 2020).

Para os ensaios adsorptivos, é possível notar que a maioria dos autores usaram modelos de isotérmicas e cinéticas semelhantes aos descrito na seção **4.2.** (pág. 24). Os modelos de isotermas, por exemplo, estiveram presente em diversas pesquisas (ANDRADE et al., 2020; ZHANG et al., 2017; OLUSEGUN e MOHALLEM, 2019; BALARAK et al., 2020; CHEN et al., 2016; e ZENG et al., 2017). Os modelos de cinética se mostraram presentes nas pesquisas de Zhang et al., 2017; Olusegun e Mohallem, 2019; Chen et al., 2016; e Zeng et al. 2017.

Os pesquisadores também variaram alguns parâmetros já descritos na seção **4.2.** (pág. 24) como área superficial, temperatura, pH, propriedades do adsorvente e propriedades do adsorvato.

Os efeitos dos diferentes tempos foram investigados pelos artigos Andrade et al. (2020); Pham et al. (2020); Zhang et al. (2017); Olusegun e Mohallem (2019); Balarak et al. (2020); Chen et al. (2016); e Pham et al. (2018). O tempo de contato é um fator muito importante porque indica o comportamento cinético da adsorção para um determinado adsorvente em uma concentração inicial de adsorvato (NASCIMENTO et al., 2014).

Em Andrade et al. (2020) a concentração de OTC diminui significativamente nos primeiros 150 minutos, seguindo então por uma diminuição gradual até atingir o equilíbrio em 420 minutos para concentrações iniciais elevadas de adsorbato e 360 minutos para concentrações mais baixas, o que demonstra que, quanto maior for a concentração, mais tempo será necessário para a adsorção entrar em equilíbrio. Algo semelhante ocorreu no estudo de Sun et al. (2012), que fez estudos sobre a adsorção de OTC por linter de algodão, e constatou-se que quanto maior fosse a concentração inicial do adsorvato, maior era também o tempo necessário para atingir o equilíbrio.

Pham et al. (2020) e Pham et al. (2018) utilizaram o mesmo resíduo para a adsorção PDADMAC. Contudo, alternaram o antibiótico, sendo CEF e a MXA, respectivamente. As mudanças no adsorbato também refletiram no tempo de contato, onde no caso da CEF foi necessário 90 minutos para atingir o equilíbrio enquanto a MXA precisou de 180 para o mesmo processo.

Balarak (2020) também constatou uma mudança do tempo de contato de acordo com a alteração da concentração do adsorbato, onde quanto mais aumentava as concentrações iniciais de sulfametazina, mais tempo era necessário para chegar ao equilíbrio da adsorção.

O efeito do pH foi investigado pelos artigos Andrade et al. (2020); Pham et al. (2020); Zhang et al. (2017); Olusegun e Mohallem (2019); Chen et al. (2016); Pham et al. (2018); e Zeng et al. (2017). O pH é outro ponto importante, pois pode afetar a adsorção na medida em que determina o grau de distribuição das espécies químicas, a intensidade desse efeito pode variar de acordo com o adsorvente (NASCIMENTO et al., 2014).

Olusegun e Mohallem (2019) constataram que a capacidade de adsorção melhorava ou piorava de acordo com as alterações no pH. Sendo maiores em pH 2 e 4, mantendo o equilíbrio até o pH 8 e começando a diminuir em pH 10. Os melhores valores de pH ocorrem por conta de uma relação entre o adsorvente e o adsorbato. O adsorvente possui carga negativa, enquanto o DOX possui sua composição na forma catiônica, o que faz com que seja adsorvido na superfície negativa por meio da atração eletrostática. Mecanismo eletrostático que não ocorre na faixa de pH 4-9. E começa a ter um ligeira repulsão entre a carga negativa do adsorvente e os sítios aniônicos a partir do pH 10.

O oposto ocorre Chen et al. (2016), onde o pH ácido não favorece o processo adsorativo. O adsorvente utilizado possui cargas superficiais positivas, enquanto o TC possui caráter catiônico, isso faz com que ocorra uma repulsão eletrostática, o que dificulta o processo de TC ser adsorativo. Em contrapartida, a medida que o pH aumenta, a quantidade de espécies catiônicas de TC diminui, além de também fazer corrosão na superfície do resíduo, que podem aumentar significativamente a capacidade de adsorção.

Nascimento et al. (2014) afirmam que experimentos de dosagens do adsorvente tem como objetivo verificar se, com o aumento da dosagem do adsorvente, é possível remover o adsorbato para níveis aceitáveis de concentração. Esse efeito foi investigado pelos pesquisadores Andrade et al. (2020); Pham et al. (2020); Zhang et al. (2017); Olusegun e Mohallem (2019); Balarak et al. (2020); Chen et al. (2016); Pham et al. (2018); e Zeng et al. (2017), mostrando-se um parâmetro muito importante.

Andrade et al. (2020) estudou os efeitos da concentração inicial do adsorvente variando as doses de CCA entre 0,6g a 3,0g. Os pesquisadores constataram uma relação direta entre a dosagem do adsorvente com a remoção de TC quando, ao aumentar a dosagem do adsorvente, o percentual de remoção também aumentou. O que pode ser atribuído aos sítios de adsorção devido ao aumento de massa e, conseqüentemente, a área de superfície do adsorvente.

Efeito semelhante foi encontrado em Zeng et al. (2017) – que variou a dosagem do adsorvente em 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,2 e 1,6 g/L –, que observou que a adsorção dos três antibióticos estudados também melhorava com o aumento da dosagem até 1,2g/L, alcançando o equilíbrio com aumentos posteriores. Os pesquisadores constataram que, em doses mais baixas, ocorreu uma saturação dos locais de adsorção, o que limitou o processo. Pham et al. (2020) variaram as dosagens do adsorvente entre 1 a 10mg/mL e notaram um aumento adsortivo com o aumento da dosagem, o que atribuíram a área de superfície e a carga líquida.

A concentração inicial do adsorvato serve para compreender o tempo de serviço da coluna, pois quanto maior for a concentração inicial, mais rapidamente a coluna será saturada e menor será o tempo de serviço da mesma. Os autores dos artigos Andrade et al. (2020); Zhang et al. (2017); e Zeng et al. (2017) investigaram esse efeito.

Andrade et al. (2020) variaram a concentração inicial do adsorvato entre 20 até 160mg. L⁻¹ e perceberam que ocorreu uma mudança no processo a medida que se alteravam as concentrações, sendo o melhor cenários quantidades mais elevadas. Isso pode ocorrer porque uma concentração maior de adsorvato na solução facilita uma maior força motriz de transferência de massa, permitindo que as moléculas passem facilmente da fase aquosa para a superfície do adsorvente, o que aumenta a adsorção. Efeito semelhante ocorreu em Zeng et al. (2017), onde foi possível notar que a capacidade adsortiva diminuía a medida a concentração inicial era reduzida.

A temperatura foi investigada pelos artigos de Andrade et al. (2020); Olusegun e Mohallem (2019); Balarak et al. (2020); e Chen et al. (2016), e é um fator importante, pois afeta, principalmente, a velocidade de adsorção, podendo ocasionar aumento de energia cinética e na mobilidade das espécies do adsorvato (NASCIMENTO et al., 2014).

Balarak et al. (2020) fizeram experimentos em diferentes temperaturas (10°C, 25°C, 40°C e 55°C) e notaram que o aumento da temperatura aumentou também a capacidade de adsorção. Isso ocorre porque temperaturas mais elevadas aumenta a taxa de reação e diminui a densidade das partículas, que formam lacunas e diminui o tempo de equilíbrio.

O mesmo ocorreu na pesquisa feita por Chen et al. (2016), que variou a temperatura em 283K, 298K e 313K, encontrando a melhor adsorção em 313k, o que também pode ser

explicado pelo fortalecimento das forças adsorptivas entre sítios ativos do adsorvente e as espécies do adsorvato. Uma temperatura elevada não apenas acelera a difusão de moléculas do adsorvato (TC) como também reduz as forças de retardo que atuam sobre TC, o que fornece mais locais de adsorção ativados disponíveis no adsorvente.

Outro parâmetro que se fez presente em alguns artigos (PHAM et al., 2020; e CHEN et al., 2016) é considerado muito importante é a força iônica. Um experimento que varia a força iônica trata-se de adição de sais que podem ocasionar uma atração eletrostática entre o adsorvente e o sal. Caso essa interação seja forte, o aumento dessa força poderá diminuir a adsorção. Caso a interação seja fraca, o processo de capacidade de adsorção pode ser aumentado (CASTRO, 2018).

Chen et al. (2016) constataram em sua pesquisa que o aumento da força iônica diminui a capacidade de adsorção de TC, especialmente em valores muito baixos de pH. O efeito se torna ainda mais evidente em condições alcalinas. O que sugere que a presença de íons Na^+ pode competir com as moléculas do adsorvato pelos sítios do adsorvente.

Em Pham et al. (2020) verificou-se que a interação eletrostática entre a superfície do adsorvente e as moléculas do adsorvato são influenciadas pela força iônica. Os pesquisadores variaram a força iônica entre 0 a 100 mM KCl e notaram que em baixa força iônica, o efeito é pouco significativo, porém a remoção começa a diminuir a medida que a força aumenta, pois o aumento do sal, a interação eletrostática é filtrada, o que prejudica o processo.

Os fármacos utilizados nos ensaios foram diversos, conforme mostrados na Tabela 6:

Tabela 6 - Fármacos utilizados nas avaliações

Fármaco:	Artigo:	Fármaco:	Artigo:
Amoxicilina	PHAM et al. (2018).	Oxitetraciclina	ANDRADE et al. (2020).
Cefixima	PHAM et al. (2020).	Sulfametazina	BALARAK et al. (2020).
Ciprofloxacina	ZHANG et al. (2017); e ZENG et al. (2017).		
Cloridrato de doxiciclina	OLUSEGUN e MOHALLEM (2019); e ZENG et al. (2017).	Tetraciclina	CHEN et al. (2016); e ZENG et al. (2017).

Fonte: Própria autora, 2020.

Todos os autores conseguiram resultados favoráveis nos experimentos realizados e, como a maioria utilizou um adsorvato diferente, isso sugere que a casca de arroz e suas derivações são viáveis para tratar fármacos distintos.

4.4. Metais

Na Tabela 7 estão relacionadas as referências bibliográficas analisadas para aplicação da casca de arroz como adsorvente de contaminantes do tipo metais.

Tabela 7 - Referências bibliográficas na Avaliação (Metais)

Nome:	Fonte:	Referência:
Casca de Arroz Quimicamente Tratada como Adsorvente de Baixo Custo para a Remoção de Íons Metálicos (Co ²⁺ and Ni ²⁺)	Revista Virtual de Química	PENHA et al. (2016)
Cinética de adsorção dos íons de Cu ²⁺ na cinza da casca de arroz para tratamento de efluentes industriais da indústria de petróleo	The Journal of Engineering and Exact Sciences	PEREIRA (2019)
Enhanced adsorption for Pb(II) and Cd(II) of magnetic rice husk biochar by KMnO ₄ modification	Springer	SUN et al. (2019).
Experimental data on adsorption of Cr (VI) from aqueous solution using nanosized cellulose fibers obtained from rice husk	Science direct	POURFADAKARI et al. (2017)
Heavy metal remediation from automobile effluent by thermally treated montmorillonite-rice husk composite	Taylor & Francis Group	AKPOMIE et al. (2018)
Investigation of simultaneous adsorption properties of Cd, Cu, Pb and Zn by pristine rice husks using ICP-AES and LA-ICP-MS analysis	Science direct	ALEXANDER et al. (2017)
Rice Husk Based Nanocellulose Scaffold for Highly Efficient Removal of Heavy Metal Ions from Contaminated Water	Environmental Science: Water Research & Technology	ZHAN et al. (2020)
Uso da cinza da casca de arroz na adsorção de cromo	Periódicos Capes	FONSECA et al. (2016)

Fonte: Própria Autora, 2021.

4.4.1. Avaliação individual

4.4.1.1. PENHA et al. (2016)

O presente estudo se dispôs a avaliar a eficiência da casca de arroz para o tratamento de dois metais-traço, Co²⁺ e Ni²⁺, através do processo de adsorção. O resíduo adsorvente passou por lavagem, secagem e trituração. Penha et al. (2016), então, caracterizaram o material utilizando-se análises físico-químicas (umidade, cinzas, fibras, proteínas, amido, lipídios e

carboidratos), espectroscopia na região do infravermelho (IV), MEV, ressonância magnética nuclear (RMN), difração de Raios-X (DRX), análise termogravimétrica (TGA) e análise elementar. A casca de arroz também passou por um processo de ativação com soluções de ácido fosfórico (AF), N,N-dimetilformamida e ureia em dimetilformamida (AFU), gerando assim três amostras para os ensaios: AF, AFU e a casca de arroz *in natura* (IN).

Penha et al. (2016) realizaram os ensaios em batelada e triplicata, procurando investigar os efeitos de tempo de contato e pH para a realização dos ensaios. Para análises dos estudos de cinética foram utilizados os modelos de pseudo-primeira ordem, segunda ordem e de Avrami. Para as isotermas, foram utilizados Freundlich, Langmuir, Sips e Toth.

Os pesquisadores Penha et al. (2016) constataram, através do processo de caracterização, que a casca de arroz é viável para o processo de adsorção e que as alterações feitas no resíduo podem melhorar ainda mais o processo. Para os estudos cinéticos, embora tenham dado resultados próximos, o modelo que melhor se adequou foi o de Avrami. O modelo de isotermas de adsorção com melhor ajuste foi o de Sips. Para os estudos de adsorção, foi mostrado que o processo foi melhorado de acordo com as alterações em alguns parâmetros descritos anteriormente, como pH e tempo de contato, mostrando influência destes nos ensaios.

Penha et al. (2016) conseguiram comprovar que a casca de arroz não apenas é muito útil para o processo de adsorção, mas que seu desempenho pode ser melhorado significativamente e que pode ser um adsorvente alternativo muito útil. O Co^{2+} teve capacidades máximas de adsorção de 0,10 mmol.g⁻¹ IN, 0,80 mmol.g⁻¹ AF e 1,60 mmol.g⁻¹ AFU. Já o Ni^{2+} foi de 0,08 mmol.g⁻¹ IN, 0,55 mmol.g⁻¹ AFU e 0,75 mmol.g⁻¹ AF.

4.4.1.2. PEREIRA (2019)

O pesquisador procurou avaliar a adsorção de íons de Cu^{2+} utilizando a CCA como adsorvente. Para isso, a casca de arroz passou pelo processo de calcinação para gerar suas cinzas. Pereira (2019) realizou os ensaios em batelada, procurando entender as influências do tempo, fatores externos como ar atmosférico, luz, umidade e temperatura na solução, a fim de quais fatores mais influenciavam na eficiência do processo de remoção. Para os dados de cinética, utilizaram os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.

Pereira (2019) percebeu que não houve influência significativa de fatores externos e que a eficiência de adsorção, no melhor cenário ajustado, chegou à 93,45% e a cinética de adsorção se deu nos primeiros 5 minutos. Quanto aos modelos cinéticos, observou-se que os dois estudados foram capazes de descrever o processo. Desse modo, o pesquisador conseguiu

comprovar que a cinza da casca de arroz é eficiente para tratar os íons de Cu^{2+} em soluções aquosas, além de possuir uma rápida cinética de adsorção.

4.4.1.3. SUN et al. (2019)

A pesquisa buscou desenvolver um biochar magnético, derivado da casca de arroz e tratado quimicamente com $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ e KMnO_4 , para a adsorção de Chumbo II ($\text{Pb}(\text{II})$) e Cádmio II ($\text{Cd}(\text{II})$), além de passar pelo tratamento térmico. O processo de caracterização do material se deu por espectrômetro de fotoelétrons de raios-X, espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado, MEV, espectroscopia de energia dispersiva de raios-X e FTIR. Para a cinética de adsorção, foram usados os modelos pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem e para isotermas de equilíbrio, os modelos de Langmuir e Freundlich foram estudados.

Sun et al. (2019) comprovaram, através da caracterização, que as mudanças físicas e térmicas realizadas na casca de arroz beneficiaram o processo adsorptivo, o que pôde ser atribuído ao sucesso da carga de óxidos de manganês e ao aumento de grupos funcionais de oxigênio. Quanto as isotermas de adsorção de $\text{Pb}(\text{II})$ e $\text{Cd}(\text{II})$, o modelo que melhor se encaixou foi o de Langmuir. Enquanto nos dados de cinética, o modelo que melhor se ajustou foi o pseudo-segunda ordem. Por fim, os pesquisadores constataram que o biochar modificado criado pelos pesquisadores, derivados da cascada de arroz, possui um grande potencial em adsorver metais-traço, podendo até ser potencializado por alguns outros tratamentos químicos.

4.4.1.4. POURFADAKARI et al. (2017)

A pesquisa procurou investigar a eficiência da celulose nanométrica, obtida através da casca de arroz, para a adsorção do $\text{Cr}(\text{VI})$. O resíduo adsorvente foi lavado, secado, esmagado e transformado em material celuloso. Pourfadakari et al. (2017) procuraram investigar a influência do pH, tempo de reação, concentração inicial de $\text{Cr}(\text{VI})$, dosagem do adsorvente no processo de adsorção. Para análise dos resultados, utilizaram equações para determinar a capacidade de adsorção e a eficiência na remoção. Além disso, fizeram a utilização dos modelos cinéticos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem. Para os estudos isotérmicos de equilíbrio, usaram os modelos de Langmuir, Ferundlich, Temkin e Dubinin.

Pourfadakari et al. (2017) constataram a influência do pH e do tempo de contato. Esses fatores ajustados permitiram atingir um potencial de remoção de 92,99%. Os melhores modelos para definir o processo de adsorção foram o de Langmuir para os estudos de equilíbrio, e o

pseudo-primeira ordem para os estudos de cinética. Desse modo, os autores concluíram que a aplicação do método é recomendável para a remoção de Cr (VI) de soluções aquosas.

4.4.1.5. AKPOMIE et al. (2018)

O estudo propôs fazer uma combinação de montmorilonita calcinada com a casca de arroz para a remoção de metais-traço de efluentes automotivos, utilizando o processo de adsorção. O resíduo adsorvente passou por um processo de lavagem, secagem e pulverização, para então se adicionar diferentes quantidades de montmorilonita (UM). Após a preparação, os pesquisadores caracterizaram o resíduo através FTIR e difração de raios-X.

Akpomie et al. (2018) realizaram os experimentos com efluente automotivo em escala de lote (percebendo a presença de Zn, Cu, Mn, Cd, Pb, Ni) e estudaram a influência de fatores como pH, dosagem do adsorvente, tamanho da partícula, tempo de contato e temperatura. A modelagem isotérmica dos dados de adsorção de equilíbrio foi realizada por Langmuir, Freundlich, Tempkin e Dubinin; e a modelagem cinética foi feita pela aplicação da forma linear de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. Os modelos de difusão intrapartícula e difusão de filme líquido serviram para obter informações sobre os mecanismos de difusão.

Akpomie et al. (2018) perceberam através dos ensaios a influência do pH (variando entre 2-8), dosagem do adsorvente (0,1-0,5g), tamanho da partícula (100-500 μ m), tempo de contato (10-300 min) e temperatura (300-323k) para o processo adsorvente, sendo as melhores condições: pH 6,5, dosagem de adsorvente 0,1 g, tamanho de partícula 100 μ m, tempo de contato 180 min e as temperaturas sendo mais elevadas. Dentre os modelos isotermos testados o de Langmuir não se encaixou para o processo, sendo o de Freundlich o que melhor se encaixou aos estudos feitos. Quanto aos modelos cinéticos, o que melhor se encaixou para a maioria dos íons testados foi o pseudo-segunda ordem. Dentre os modelos de difusão, o que melhor se encaixou para descrever o processo foi o de filme líquido.

A adição da casca de arroz a montmorilonita foi vantajosa para os estudos de Akpomie et al. (2018), se mostrando eficiente para o processo de adsorção. A mistura promovida pelos pesquisadores, CM-RHC, mostrou-se eficiente para a remoção de metais-traços presentes efluentes automotivos, em altas e baixas concentrações, sendo que os metais-traços retirados foram, do maior para o menor: Zn > Cu > Mn > Cd > Pb > Ni.

4.4.1.6. ALEXANDER et al. (2017)

O estudo buscou determinar a capacidade da casca de arroz para a adsorção simultânea de Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn), utilizando os métodos de espectrometria de massa com plasma acoplado por ablação a laser (LA-ICP-MS) e espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES). O resíduo adsorvente passou por lavagem e moagem. A casca de arroz pura e a tratada com metais foram estudadas, procurando avaliar diferentes quantidades do adsorvente, diferentes concentrações iniciais de metal, diferentes temperaturas e pH. Para investigação dos processos, os pesquisadores utilizaram espectroscopia FTIR e utilizaram os modelos de Langmuir e Freundlich.

Alexander et al. (2017), através do processo de caracterização, determinaram que o adsorvente preparado possuía características que podem beneficiar o processo adsorvente, como a determinação de grupos funcionais para a adsorção de metais-traço na biomatriz da casca de arroz, além de ser um material rico em sílica. Além disso, fatores como pH, diferentes concentrações iniciais de metal e diferentes temperaturas se mostraram influentes. Os gráficos do modelo isotérmico mostraram que o modelo de isoterma de Freundlich se aplica para a adsorção de íons de Cd, Cu e Pb, enquanto a adsorção de íons Zn é melhor descrito com o modelo Langmuir.

Os experimentos realizados por Alexander et al. (2017) mostraram que a casca de arroz possui resultados significativos para a adsorção de Cd, Cu, Pb e Zn, sendo um adsorvente muito viável para o processo, foi possível adsorver 70,00% de íons Cu e Zn, 90,00% de Cd e Pb. Mesmo passando por processos semelhantes, os resultados demonstraram divergências, isso ocorreu porque, segundo o autor, os metais possuem comportamento diferente. Por exemplo, Zn e Cu se mostraram processos endotérmicos, enquanto Cd e Pb diminuíram a capacidade a medida que a temperatura aumentava.

4.4.1.7. ZHAN et al. (2020)

O presente estudo buscou aplicar a utilização de compostos advindos da casca de arroz como adsorvente para o tratamento e remoção dos metais chumbo (II), ou Pb (II), e lantânio (III), ou La (III). O resíduo adsorvente foi lavado e transformado em nanofibras de carboxilcelulose (RHCNF), houve ainda a síntese de nanopartículas magnéticas – que utilizou $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Os dois então foram unidos, transformando-se em nanocelulose magnética.

Para os ensaios de adsorção, Zhan et al. (2020) utilizaram o resíduo em três modificações diferentes: RHCNF em suspensão, RHCNF liofilizado e RHCNF com nanopartículas magnéticas, a fim de fornecer efeito de comparação de qual método seria mais eficaz. Para o processo de caracterização, utilizaram um analisador Zetaprobe, FTIR, XRD, análise Termogravimétrica (TGA), microscopia Eletrônica de Transmissão (TEM), MEV, Microscopia Força Atômica (AFM) e teste de adsorção Estática. Além disso, utilizaram o modelo Langmuir para os dados isotérmicos de equilíbrio.

Durante o processo de caracterização, Zhan et al. (2020) constataram que o RHCNF possui propriedades que auxiliam no processo de adsorção, como possuir partículas de alta cristalinidade, uma grande quantidade de grupos carboxila e grande área de superfície com grande potencial como um agente de adsorção eficaz para remover contaminantes catiônicos. Além disso, a incorporação entre o RHCNF com as nanopartículas magnéticas foi bem-sucedida. Todos os três sistemas de adsorção apresentaram bom desempenho na remoção dos metais, embora o RHCNF em suspensão tenha sido maior, como chegar a uma capacidade de remoção de 100,3mg/g em alguns metais enquanto outros resíduos apresentaram valores inferiores.

Os resultados encontrados pelos pesquisadores foram satisfatórios, onde o composto utilizado, derivado da casca de arroz, apresentou uma elevada capacidade de adsorção, sendo de 193,2 mg/g para Pb (II) e 100,7 mg/g para La (III).

4.4.1.8. FONSECA et al. (2016)

O presente estudo propôs analisar a eficiência das cinzas, provenientes da casca de arroz, na adsorção do cromo hexavalente (Cr VI) em soluções aquosas, além de analisar alguns parâmetros envolvidos no processo. A casca de arroz passou por um processo de preparação para se tornar cinzas. Fonseca et al. (2016) procuraram ainda investigar a influência de concentração inicial da solução padrão, pH e tempo de contato nos estudos de adsorção e como cada um deles irá se comportar no processo.

Fonseca et al. (2016) constataram uma enorme influência do pH no processo adsorptivo. Assim como a concentração da solução padrão e o tempo de contato, podendo chegar à uma remoção máxima de até 78,00%, sendo considerada determinante para o processo. Desse modo, os autores concluíram que a cinza da casca de arroz é viável para o tratamento do metal cromo hexavalente e que diversos parâmetros podem ser utilizados para melhorar o processo de adsorção.

4.4.2. Avaliação geral

O processo de lavagem da casca de arroz foi citado nos trabalhos de Akpomie et al. (2018), Penha et al. (2016), Pourfadakari et al. (2017), Zhan et al. (2020) e Sun et al. (2019). A lavagem do resíduo tem como objetivo a remoção de impurezas ou quantidade de algum outro contaminante, a fim de que se torne o mais límpido possível, enquanto o processo de secagem, seja de maneira natural ou através de algum aparelho, tem por objetivo a remoção da umidade do resíduo (MIMURA et al., 2010; GUIMARÃES et al., 2014).

Os procedimentos realizados na casca de arroz já foram citados e explicados em tópicos anteriores, os mais utilizados são: pulverização, trituração, moagem ou esmagamento (AKPOMIE et al., 2018; PENHA et al., 2016; POURFADAKARI et al., 2017; e ALEXANDER et al., 2017), tais processos visam aumentar a área superficial; transformada em cinzas, biochar ou nanopartículas (FONSECA et al., 2016; ZHAN et al., 2020; PEREIRA, 2019; e SUN et al., 2019), esses processos se encaixam nas transformações físicas ou químicas.

Para a caracterização, o artigo que mais se diferiu foi o de Penha et al. (2016), onde os pesquisadores buscaram fazer caracterizações físico-químicas (umidade, cinzas, fibras, proteínas, amido, lipídios e carboidratos).

A umidade geralmente representa a água contida no material e corresponde a perda de peso sofrida pelo produto em condições nas quais a água ou outras substâncias voláteis são removida; As cinzas tratam-se de uma parcela do resíduo obtido por aquecimentos e pode, em alguns casos, servir para representar as substâncias inorgânicas presentes no material; as fibras são extrações do resíduo orgânico, sendo componentes das paredes celulares vegetais; Os lipídios são compostos orgânicos altamente energéticos, substâncias insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos (ZENEON, PASCUET e TIGLEA, 2008).

As proteínas constituem um dos componentes mais importantes do aspecto nutricional; os carboidratos, ou glicídios, são hidratos de carbono e podem-se possuir os mais variados tipos de substância; o amido pode auxiliar na retenção de água de uma amostra (ZENEON, PASCUET e TIGLEA, 2008).

Os pesquisadores (PENHA et al., 2016) fizeram esse processo de caracterização a fim de compreender alguns elementos da casca de arroz e como isso iria influenciar no processo de adsorção, além de avaliar como ocorreria as mudanças após o processo de ativação.

Há outros processos que também são usados para caracterização e são muito recorrentes em estudos de adsorção. A Tabela 8 a seguir relaciona esses processos, breves características e quais artigos da classe de metais se encontram:

Tabela 8 - Métodos de caracterização utilizados (Metais)

Método	Artigo	Breve descrição	Referência
Ressonância Magnética Nuclear	PENHA et al. (2016)	Análises de composição e estruturas de materiais, tanto sólidos quanto líquidos.	(DIEGUEZ et al., 2018)
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	PENHA et al. (2016); ZHAN et al. (2020); e SUN et al. (2019).	Produz imagens em alta resolução da superfície de uma amostra, o que possibilita conhecer e comparar estruturas dos adsorventes.	(GOMES et al., 2020, p. 119 e 122)
Microscopia Eletrônica de Transmissão	ZHAN et al. (2020)	Permite a definição de imagens intracelulares, o que permite estudos e aspectos gerais de algumas estruturas.	(PERGO, BRITTA e GALLETTI, 2019)
Microscopia Atômica Forçada	ZHAN et al. (2020)	Capaz de mostrar morfológica tridimensional de inúmeros tecidos, identificar características de profundidade e volume celular.	(BARBOSA et al., 2019)
Fotoelétrons de raios-X	SUN et al. (2019).	Técnica analítica para obter respostas científicas sobre uma estrutura a partir da interação de fótons e a matéria	(NASCIMENTO-DIAS e ANJOS, 2021)
Espectroscopia de energia dispersiva de raios-X	SUN et al. (2019).	Técnica analítica instrumental, multielementar e simultânea, baseada na medição das intensidades de raio-x.	(ISHIDA, 2018)
Espectrofotometria de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	AKPOMIE et al. (2018); ZHAN et al. (2020); ALEXANDER et al. (2017); e SUN et al. (2019).	Método confiável para analisar a estrutura de uma substância, grupos funcionais e composição química.	(HOU, CHEN e XIAO, 2018)
Difração de Raios-X	AKPOMIE et al. (2018); PENHA et al. (2016); e ZHAN et al. (2020)	Pode trazer resultado como identificação de fases, pureza da amostra e, em alguns casos, até sua morfologia.	(HOLDER e SCHAAK, 2019)
Análise Termogravimétrica	PENHA et al. (2016); e ZHAN et al. (2020)	Determinar a cinética, parâmetros de materiais orgânicos ou outros processos termoquímicos.	(MISHRA e MOHANTY, 2018)

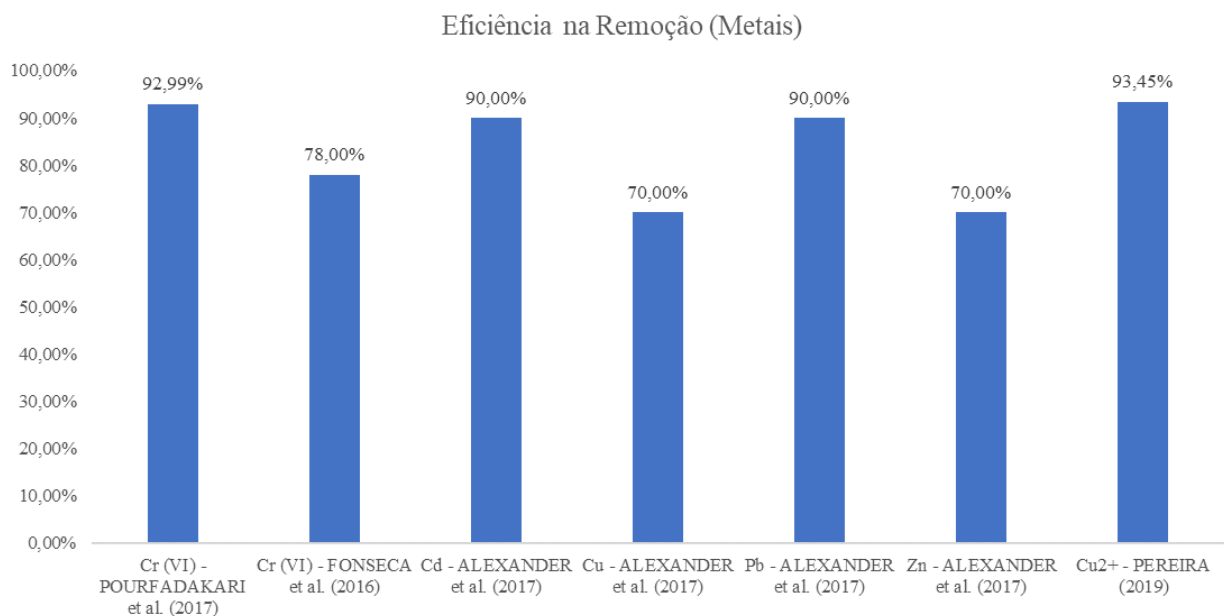
Fonte: Própria autora, 2020.

Na Tabela 8 é possível notar a variedade de métodos utilizados para a caracterização e como cada um pode ser útil para analisar a fundo o material empregado, além de conhecer seu comportamento.

Durante os ensaios adsorptivos, os pesquisadores também analisaram a influência de alguns parâmetros, como aconteceram nos pontos 4.2. (pág. 24) e 4.3. (pág. 38). Além disso, alguns artigos utilizaram os modelos isotérmicos (AKPOMIE et al., 2018; PENHA et al., 2016; POURFADAKARI et al., 2017; ZHAN et al., 2020; ALEXANDER et al., 2017; e SUN et al., 2019) e cinéticos (AKPOMIE et al., 2018; PENHA et al., 2016; POURFADAKARI et al., 2017; PEREIRA, 2019; e SUN et al., 2019) para análises e validação dos dados.

No Gráfico da Figura 13 é possível observar a eficiência na remoção de alguns dos artigos analisados:

Figura 13 - Eficiência na Remoção (Metais)



Fonte: Própria Autora, 2020.

Os menores valores de adsorção foram observados para os íons Cu^{2+} e Zn^{2+} (ALEXANDER et al., 2017) que tiveram 70,00% de remoção nos ensaios. O valor de Cu é semelhante ao encontrado por He et al. (2017) que alcançou 76,60% de eficiência na remoção utilizando polímeros de β -ciclodextrina para os processos adsorptivos. O potencial de adsorção do íon Zn^{2+} , contudo, é consideravelmente menor que os valores de adsorção encontrados por González-Costa et al. (2017), que chegaram a quase 90,00%, em estudos de adsorção com diferentes componentes no solo.

Para o íon Cr (VI) têm valores foram divergentes. Os estudos desenvolvidos por Pourfadakari et al. (2017) demonstraram maior porcentagem de adsorção chegando a 92,99%, Fonseca et al. (2016), em seus estudos, atingiu a capacidade de 78,00%. Enquanto Oliveira, H.

A. L. (2016), no melhor cenário analisado, utilizando nanoadsorventes magnéticos chegaram a uma adsorção de praticamente 100%.

Para os íons Cd e Pb foram alcançados potenciais de adsorção chegando a uma remoção de 90,00% em Alexander et al. (2017). He et al. (2017) também estudaram a adsorção desses dois metais, chegando a uma remoção menor para ambos com Cd chegando a 69,90% e Pb 83,30%.

O Cu²⁺ chegou a uma eficiência de 93,45% no processo de adsorção estudado por Pereira (2019). Mendonça et al. (2017) fizeram estudos de adsorção do mesmo metal utilizando dois tipos diferentes de lodos, os provenientes de um reator anaeróbio horizontal (RAH) e outro reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB). Os resultados alcançados pelos ensaios com RAH *in natura* foram menores e alcançaram apenas 65,00% de remoção, a remoção aumentou para 90,50% quando o RAH foi seco a 50°C. Enquanto no UASB seco a 50°C, a remoção do metal Cu²⁺ alcançou 88,00%, que é inferior, mas muito mais próximo ao encontrado por Pereira (2019).

Os artigos Akpomie et al. (2018), Penha et al. (2016), Zhan et al. (2020) e Sun et al. (2019) não disponibilizaram a eficiência da remoção em porcentagem. Contudo, afirmaram possuir resultados satisfatórios.

Os trabalhos analisados mostraram resultados satisfatórios em sua grande maioria, o que comprova a eficiência da casca de arroz e de seus derivados no tratamento de diferentes metais. Além disso, pôde-se observar uma presença grande de tratamento físicos e químicos ao decorrer dos trabalhos e que eles contribuem para o aumento da capacidade adsortiva.

4.5. Óleos

Na Tabela 9 estão relacionadas as referências bibliográficas analisadas para aplicação da casca de arroz como adsorvente de contaminantes do tipo óleos.

Tabela 9 - Referências bibliográficas na Avaliação (Óleos)

Nome:	Fonte:	Referência:
Adsorção de óleos lubrificantes em casca de arroz	Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais	HOSS et al. (2018)
Comparative Analysis of Removal of Crude Oil and Some Refined Petroleum Products From The Environment Using Rice Husk: Adsorption Isotherm and Kinetic Studies	African Journals Online	KELLE (2018)

Enhanced Removal of Oil Droplets from Oil-in-Water Emulsions Using Polyethylenimine-Modified Rice Husk	Springer	LIN e CHEN (2015)
Kinetic and equilibrium studies of hydrophilic and hydrophobic rice husk cellulosic fibers used as oil spill sorbents	Science direct	WANG et al. (2015)
Removal of oil droplets from water using carbonized rice husk: enhancement by surface modification using polyethylenimine	Springer	LIN et al. (2015)
Removal of Oil from Water by Column Adsorption Method Using Microwave Incinerated Rice Husk Ash (MIRHA)	Springer	FAIZAL, KUTTY e EZECHI (2015)
Synthesis Of Modified Nanocarbon Materials And Determination Of Their Adsorption Capacity	International Journal of Mechanical and Production	NYSSANBAYEVA et al. (2020)
Use of rice husk in waste cooking oil pretreatment	Taylor & Francis Group	SCHNEIDER et al. (2019)

Fonte: Própria Autora, 2021.

4.5.1. Avaliação individual

4.5.1.1. HOSS et al. (2018)

O objetivo do trabalho foi utilizar a casca de arroz *in natura* para tratar óleo lubrificante de base mineral através do processo de adsorção. Hoss et al. (2018) realizaram os experimentos adsorptivos em bateladas e triplicata e em agitação constante, e caracterizaram o material através de alguns parâmetros adotados pelos pesquisadores, tais como: umidade, teor de óleos e graxas, densidade aparente e porosidade.

Hoss et al. (2018) comprovaram que é possível fazer a utilização da casca de arroz para adsorver óleo. A eficiência de remoção variou entre 36% e 94%, sendo o tempo um fator importante para a adsorção, onde o tempo de reação acontece já nos minutos iniciais, chegando a 90,00% de remoção em 30 minutos e 94,00% em 4h. O pH foi mantido neutro e a temperatura em 20°C.

4.5.1.2. KELLE (2018)

O presente estudo buscou desenvolver uma análise comparativa entre a eficiência da casca de arroz como adsorvente comparando com o método de tapete de adsorvente sintético (processo convencional usado para o tratamento de derramamento de óleos). O resíduo adsorvente passou por lavagem, moagem e secagem, então foi moída em liquidificador. Kelle (2018) realizou os experimentos adsorptivos em triplicata, utilizando nos ensaios óleo cru, diesel

e sorbetos de querosene. Além de estudar diferentes tempos de contato e a recuperação do óleo. Para a verificação do processo de adsorção, usaram-se os modelos isotérmicos de Langmuir, Freundlich, Elovich, Temkin e Dubinin-Radushkevich. Para os estudos cinéticos, utilizaram-se pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem, difusão intrapartícula e cinética de difusão de filme líquido.

Segundo Kelle (2018), para descrever o processo de adsorção, o modelo que melhor se encaixou foi o de Langmuir em ambos os adsorventes. Para os ensaios cinéticos, o que melhor se encaixou foi o de difusão intrapartícula e o modelo de difusão de filme líquido. Além disso, o método de tapete de adsorvente sintético apresentou um desempenho melhor que a casca de arroz; adsorvendo mais, entrando em equilíbrio mais rápido e sendo possível recuperar mais óleo. Contudo, a casca de arroz, mesmo apresentando um desempenho inferior, pode ser uma alternativa viável e satisfatória.

4.5.1.3. LIN e CHEN (2015)

O estudo buscou utilizar a casca de arroz como adsorvente, modificando sua estrutura com polietilenimina, a fim de tratar gotículas de óleo em meio aquoso. O resíduo adsorvente passou por lavagem, secagem, moagem e peneiramento. A caracterização foi feita através de SEM de emissão de campo, análise espectroscópica de infravermelho (IR), Sorptômetro BET, analisador termogravimétrico. Lin e Chen (2015) realizaram os experimentos em escala de lote e analisaram tempo de mistura, temperatura, concentração inicial, tamanho das partículas da casca de arroz, sal e surfactantes. Além de testes para tentar a reutilização do adsorvente. Os dados cinéticos foram trabalhos com os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. Para os isotermos de equilíbrio, os de Langmuir e Freundlich.

Lin e Chen (2015) constataram que as alterações feitas na casca de arroz beneficiaram o processo de adsorção, onde as gotículas de óleos foram removidas da água. Temperatura, tamanho das partículas, pH, sal e surfactantes, se mostraram parâmetros influentes no processo de adsorção. Além disso, a reutilização do adsorvente se mostrou possível. Quanto aos modelos empregados, no caso da cinética, o que melhor se ajustou aos dados foi o pseudo-segunda ordem. Já nas isotermas, ambos os modelos – de Langmuir e Freundlich – mostraram-se aptos para modelar os dados.

4.5.1.4. WANG et al. (2015)

A casca de arroz passou por tratamentos químicos e biológicos para tratar quantidades de óleos em meio aquoso. Wang et al. (2015) utilizaram amostras distintas, na primeira, *in natura*; a segunda, a casca de arroz passou por lavagem, secagem e extração, e só então passou pelo tratamento químico; na terceira, a casca de arroz pré-tratada quimicamente foi acetilada; na quarta, foi tratada com fungos de podridão branca.

Wang et al. (2015) caracterizaram as amostras feita através de FTIR, análise térmica (TG / DTA) e analisador termogravimétrico. A adsorção/dessorção pelo BET também foi analisada. Para as isotermas cinéticas, utilizaram-se os modelos pseudo-primeira, pseudo-segunda ordem e modelo de difusão intrapartícula. Quanto as isotermas de equilíbrío, foram utilizados os modelos Langmuir, Freundlich, Langmuir-Freundlich e Redlich-Peterson.

Segundo Wang et al. (2015), das diferentes modificações no adsorvente testadas, a que apresentou um melhor desempenho nos ensaios de adsorção com óleos foi o casca de arroz pré-tratada química acetilada. Além disso, nos estudos realizados, comprovou-se que a capacidade de adsorção pode chegar em até 70,00%. Dos modelos cinéticos, o que mais se encaixou aos experimentos foi o pseudo-segunda ordem. Quanto as isotermas, o que melhor se ajustou aos dados foi o modelo de Freundlich, seguido de perto pelo de Langmuir-Freundlich.

Wang et al. (2015), analisaram diferentes cenários para o tratamento de óleo utilizando alguns derivados da casca de arroz e conseguiram comprovar que os resultados encontrados foram satisfatórios para o processo de adsorção.

4.5.1.5. LIN et al. (2015)

O trabalho buscou fazer a utilização da casca de arroz carbonizada (CRH) tratada com polietilenimina (PEI-CRH) para adsorver gotículas de óleo de soja presentes na água. O resíduo adsorvente passou pelo processo de carbonização, lavagem, secagem e peneiramento. Para o processo de caracterização, Lin et al. (2015) utilizaram SEM de Emissão de Campo, espectroscópica de absorção de infravermelho, Sorptometer (medição da área de superfície), zetasizer (potencial zeta) e analisador termogravimétrico.

Nos ensaios, Lin et al. (2015) analisaram efeitos de sal e surfactantes (NaCl e CTAB, respectivamente), além dos efeitos de pH, temperatura e do tamanho das partículas. A possibilidade de reciclar o PEI-CRH também foi investigada. Para os dados cinéticos, utilizaram os modelos pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. Para as isotermas de equilíbrío, foram utilizados Langmuir e Freundlich.

Lin et al. (2015) constaram que PEI-CRH se mostrou eficiente na separação de óleo da água. O efeito do tamanho das partículas, temperatura, sais e surfactantes e pH se mostraram parâmetros influentes nos ensaios. A recuperação e reutilização do material também se mostrou viável, podendo ser utilizado várias vezes sem diminuir consideravelmente sua eficiência de remoção, mantendo até 92,00% de eficiência após 5 ciclos. Tanto o modelo de pseudo-primeira quanto o de pseudo-segunda ordem se mostraram satisfatórios e se ajustaram aos dados experimentais. Quanto aos modelos isotérmicos, o que melhor se ajustou aos dados foi o de Langmuir.

4.5.1.6. FAIZAL, KUTTY e EZECHI (2015)

O estudo analisou a casca de arroz, incinerada por microondas, como um adsorvente para o tratamento de águas residuais oleosas geradas em uma indústria de petróleo e gás, em ensaios de coluna. O resíduo adsorvente passou por peneiramento, incineração em diferentes temperaturas e moagem. Nos ensaios adsorptivos, os pesquisadores analisaram diferentes temperaturas, tamanhos de partículas e concentração inicial do adsorvente (FAIZAL, KUTTY e EZECHI, 2015).

Segundo Faizal, Kutty e Ezechi (2015) temperatura, concentração inicial do adsorvente e tamanho das partículas apresentaram influências no processo adsorptivo. Após os ensaios, os pesquisadores conseguiram comprovar que a casca de arroz incinerada em microondas é eficaz para a remoção de óleo da água.

4.5.1.7. NYSSANBAYEVA et al. (2020)

A presente pesquisa buscou utilizar, separadamente, a casca de arroz carbonizada e a grafite expandida termicamente como adsorventes para o tratamento de óleos, além de comparar os resultados entre as duas amostras (NYSSANBAYEVA et al., 2020)

Nyssanbayeva et al. (2020) determinaram que o tratamento térmico em ambas as amostras interferiu em suas estruturas, aumentando sua capacidade de adsorção. Os resultados mostraram que a capacidade de adsorção da grafite expandida e da casca de arroz são semelhantes, ambas apresentaram resultados parecidos nos ensaios e igualmente satisfatórios.

4.5.1.8. SCHNEIDER et al. (2019)

O presente estudo buscou avaliar a adsorção da casca de arroz para o tratamento de óleo de cozinha, observando a capacidade de remoção de ácidos graxos dessas soluções, além de utilizar o carvão ativado comum para comparar os resultados. O resíduo adsorvente foi lavado, secado em estufa, moído e peneirado. Para o processo de caracterização, foi realizada análise textural dos materiais, análise de SEM e XRD. Schneider et al. (2019) desenvolveram os ensaios de adsorção em diferentes intervalos de tempo, além de analisar alguns parâmetros como temperatura, agitação, massa adsorvente em diferentes níveis.

Segundo Schneider et al. (2019), dos parâmetros analisados, apenas a temperatura apresentou influência significativa. Comparando os dois adsorventes utilizados no processo, comprovou-se que, embora diferentes, ambos apresentam resultados muito equivalentes. Com a casca de arroz apresentando até um tempo inferior de equilíbrio que o carvão ativado convencional. Por fim, os pesquisadores constaram que a casca de arroz se mostrou um adsorvente eficiente em remover a acidez de óleos de cozinha, podendo até ser uma alternativa melhor que o carvão ativado convencional.

4.5.2. Avaliação geral

Os tratamentos empregados na casca de arroz na maioria dos trabalhos não divergiram dos processos físicos ou químicos apresentados nas seções **4.2.** (pág. 24), **4.3.** (pág. 38) e **4.4.** (pág. 50). A maior mudança ocorreu em Wang et al. (2015) que utilizou um tratamento biológico na casca de arroz.

O pré-tratamento biológico em um resíduo é considerado uma forma mais ecológica de tratamento, podendo servir como uma alternativa a tratamentos convencionais, pois realiza as alterações sem possuir altos gastos energéticos e por não fazer a utilização de produtos químicos, o que acaba diminuindo a geração de compostos tóxicos. Além disso, atua em condições semelhantes às ambientais, especialmente quanto a temperatura e a pressão. Dentro deste contexto de tratamento e degradação biológica, estão os fungos de podridão branca (MACHADO e FERAZ, 2017; MATEI, 2018; PIRES, 2015).

Os processos de caracterização também seguiram caminhos parecidos com os mostrados anteriormente nas seções **4.2.** (pág. 24), **4.3.** (pág. 38) e **4.4.** (pág. 50) e tiveram os mesmos intuitos, que é de conhecer mais a fundo as características da casca de arroz e seus funcionamentos.

Para os ensaios adsorptivos, ocorreram variações de alguns parâmetros, tais como pH (LIN et al., 2015), tempo de contato (FAIZAL, KUTTY e EZECHI, 2015; KELLE, 2018; e LIN e CHEN, 2015), temperatura (LIN et al., 2015; LIN e CHEN, 2015; e SCHNEIDER et al., 2019), tamanho das partículas (LIN et al., 2015; LIN e CHEN, 2015; e SCHNEIDER et al., 2019), sais e surfactantes (LIN et al., 2015; e LIN e CHEN, 2015), também já debatidos previamente nas seções **4.2.** (pág. 24), **4.3.** (pág. 38) e **4.4.** (pág. 50).

Hoss et al. (2018) desenvolveu seus experimentos através de ensaio em “batelada” enquanto Faizal, Kutty e Ezechi (2015) fizeram ensaios em “coluna”. Os dois constituem métodos diferentes para a realização de ensaios de adsorção. Os sistemas em bateladas são considerados mais simples e recomendados para pequenos volumes de efluentes, já os de colunas são recomendados quando se utiliza grandes volumes e pouco tempo de contato. Os ensaios podem, ainda, ser realizados através de um agitador magnético, um método muito comum para os ensaios adsorptivos (NASCIMENTO et al., 2020), que foi citado diretamente nos artigos Hoss et al. (2018) e Schneider et al. (2019).

Alguns autores optaram por fazer mais de um ensaio de adsorção, como foi visto nos artigos Kelle (2018) e Hoss et al. (2018). Chamados de “ensaios em triplicata”, trata-se da repetição do ensaio em três vezes distintas. Este método é recomendável, pois faz uma relação direta entre a precisão e o trabalho, geralmente o valor utilizado é dado pela média da triplicata. É considerado um método mais preciso que a duplicata, experimento realizado apenas duas vezes (PASSARI et al., 2010).

Quanto aos modelos cinéticos: O pseudo-primeira e segunda ordem são os mais recorrentes e foram usados nos artigos Lin et al. (2015), Wang et al. (2015), Kelle (2018) e Lin e Chen (2015); seguido pelo modelo de difusão intrapartícula, observado nos artigos Wang et al. (2015) e Kelle (2018); e a cinética de filme líquido aparece em Kelle (2018).

Dos isoterms, os mais frequentes são os de Langmuir e Freundlich, observados nos estudos desenvolvidos por Lin et al. (2015), Wang et al. (2015), Kelle (2018) e Lin e Chen (2015); no estudo de Wang et al. (2015) faz-se ainda uma relação entre os dois modelos e utiliza-se também o de Redlich-Peterson; e Kelle (2018) usa ainda os modelos de Elovich, Temkin e Dubinin-Radushkevich.

Os adsorvatos utilizados variaram entre os trabalhos. Os trabalhos de Lin et al. (2015) e Lin e Chen (2015), por exemplo, focaram seus estudos em adsorver gotículas de óleo, assim como os Wang et al. (2015) e Nyssanbayeva et al. (2020) que também fizeram a utilização de óleo em meio aquoso. Diferentemente da pesquisa de Faizal, Kutty e Ezechi (2015), que buscou tratar águas residuais oleosas geradas das indústrias de petróleo e gás; de Kelle (2018), cujo seu

adsorvato vinha de derramamentos de óleos; de Hoss et al. (2018), óleos lubrificantes de base mineral; e, principalmente, de Schneider et al. (2019), que seu intuito foi usar a adsorção pra tratar o óleo de cozinha. Essa diversidade existente no adsorvato mostra que a casca de arroz, no tratamento de óleos, pode ser usada para diferentes amostras.

Além disso, alguns pesquisadores, não apenas aplicados a óleos (LIN et al., 2015; LIN e CHEN, 2015; e HOSS et al., 2018), mas também de corantes e fármacos buscaram fazer a recuperação do adsorvato através do processo de dessorção. A dessorção é considerado o oposto da adsorção e pode ser descrita como a liberação de um material ou substância de uma interface entre superfície sólida. Tem como principal objetivo analisar a possibilidade de reutilizar um resíduo, aumentando sua utilidade como adsorvente, assim como a liberação do adsorvato, também como utilidade para reutilização (NOVO, BERTOLINO e SIMÕES, 2017).

5 CONCLUSÕES

Mediante a revisão bibliográfica apresentada, foi possível concluir que a casca de arroz é uma alternativa benéfica para o processo de adsorção. Primeiro, por conta do seu grau ecológico e econômico, já que é um resíduo de baixo custo e que naturalmente seria descartado na natureza. E segundo, por alcançar graus satisfatórios nos ensaios de adsorção – em maior ou menor escala – de corantes, fármacos, metais e óleos.

O grau adsorvivo pode ainda ser melhorado através de procedimento físicos, químicos e biológicos, aumentando ainda mais a eficiência do processo, sendo considerado uma alternativa tão boa quanto os processos convencionais. Além de ser possível melhorar a eficácia no tratamento através de alguns parâmetros como pH, temperatura, tempo de contato, dosagem do adsorvato, concentração inicial de adsorvente, entre outros.

Para os resultados e discussões, cerca de 100 trabalhos foram analisados, que serviram para comprovar a eficácia do processo, gerando resultados satisfatórios para a adsorção e havendo ainda a possibilidade de fazer a recuperação e retirada do adsorvato e reutilização do adsorvente.

Recomenda-se que sejam feitos ainda mais estudos envolvendo a casca de arroz para trabalhos futuro, a fim de descobrir outras funcionabilidades e tratar outros tipos de efluentes, pois este tema ainda não está esgotado na literatura e outros trabalhos podem ser realizados. Além disso, pode-se buscar outros adsorventes de base naturais para misturar com a casca ou substituí-la, visto que outros resíduos presentes na natureza também podem apresentar características úteis para adsorção.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abit – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. Perfil do Setor, 2019. Disponível em <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em 15 de Janeiro de 2020.

Agência Nacional das Águas, ANA. Cuidando das Águas: Soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. 2ª edição. Brasília – DF, 2013.

AKPOMIE, K. G.; DAWODU, F. A.; EZE, S. I.; ASEGBELOYIN, J. N.; ANI, J. U. Heavy metal remediation from automobile effluent by thermally treated montmorillonite-rice husk composite. *Transactions of the Royal Society of South Africa*. V. 73, n. 3, p. 254-263. 2018.

ALEXANDER, D.; ELLERBY, R.; HERNANDEZ, A.; WU, F.; AMARASIRIWARDENA, D. Investigation of simultaneous adsorption properties of Cd, Cu, Pb and Zn by pristine rice husks using ICP-AES and LA-ICP-MS analysis. *Microchemical Journal*. V. 135, p. 129-139. 2017.

ALI, H. M. A. M. S. O uso de poli(cloreto de vinila) quimicamente modificado para a adsorção de corantes básicos. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Química), Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG, p. 111, 2017.

ALMEIDA, E. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes. Projeto Qualidade da Água, Boletim das Águas - Ministério Público Federal, Brasília/DF, p. 1 - 18, 23 nov. 2016.

ANDRADE, C. A.; ZAMBRANO-INTRIAGO, L. A.; OLIVEIRA, N. S.; VIEIRA, J. S.; QUIROZ-FERNÁNDEZ, L. S.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. M. Adsorption behavior and mechanism of oxytetracycline on rice husk ash: kinetics, equilibrium, and thermodynamics of the process. *Water, Air, & Soil Pollution*. V. 231, N. 3, p. 1-16. 2020.

ARA, N. J.; HASAN, M. A.; RAHMAN, M. A.; SALAM, M. A.; SALAM, A.; ALAM, A. S. Removal of remazol red from textile waste water using treated sawdust-an effective way of effluent treatment. *Bangladesh Pharmaceutical Journal*, v. 16, n. 1, p. 93-98, 2013.

ASHRAFI, S.D.; KAMANI, H.; MAHVI, A.H. The optimization study of direct red 81 and methylene blue adsorption on NaOH-modified rice husk. *Desalination and Water Treatment*, p. 738-746. 2014.

AZEEZ L; ADEJUMO A. L.; ASAOLU S.S.; ADEOYE M.D.; ADETORO R.O. Functionalization of rice husk with Ortho-phosphoric acid enhanced adsorptive capacity for anionic dye removal. *Chemistry Africa*. V. 3, p. 457-467. 2020.

BALARAK, D.; BANDANI, F.; SHEHU, Z.; AHMED, N. J. Adsorption Properties of Thermally Treated Rice Husk for Removal of Sulfamethazine Antibiotic from Pharmaceutical Wastewater. *Journal of Pharmaceutical Research International*. p. 84-92. 2020.

BARBOSA, Y. G. S; GOMES, W. G. G. M.; RODRIGUES, H. W. S. R. S.; ARGOLO, N. M. A. N. M. Aplicabilidade da estereologia e microscopia de força atômica à pesquisa dermatológica veterinária (revisão de literatura). *Jornal Interdisciplinar de Biociências*. V. 4, N. 1, p. 16-22. 2019.

BARROSO, J. A. D.; LOPES, L. R.; CUNHA, R. N. Estudo da adsorção de azul de metileno utilizando cascas de pequi. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 12, p. 29349-29356. 2019.

BRITO, D. F. Bentonitas modificadas com organocátions, metais de transição e silano aplicadas como adsorventes para corantes aniônicos e como materiais hidrofóbicos. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Química), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB, p. 222, 2019.

BRITO, M. J. P.; BORGES, M.V.; ALVES, M.F.; ALVES, A.N.; SANTOS, M. P. F.; JESUS, F.W. A. Síntese de carvão ativado a partir do caroço do umbu e sua aplicação na adsorção de corantes orgânicos. *Caderno de Ciências Agrárias*. V. 7, N. 2, p. 56–61. 2015.

BRUNO, H. C. O.; SANTOS, F. R.; MELGAR, L. Z. Estudo de adsorção em leito fixo de corantes aniônicos em argila bentonita após tratamentos térmico e ácido. XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. São Carlos – SP, 2017.

BRUNO, M. Utilização de zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão na remoção de corante em água. Tese de Doutorado. Dissertação]. Centro de Química e Meio ambiente, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2008.

CADORIN, B. M. Degradação do corante alaranjado de metila por plasma frio de descarga corona. Relatório de Estágio (Departamento de Química), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 47, 2009.

CASTRO, M. C. Estudo de adsorção de corantes têxteis em resíduos de maracujá. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2018.

CASTRO, V. S. Remoção de corante amarelo crepúsculo utilizando casca de arroz tratada como adsorvente. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Campo Mourão, p. 47. 2019.

CATANHO, M.; MALPASS, G. R. P.; MOTHEO, A. J.; Avaliação dos tratamentos eletroquímico e fotoeletroquímico na degradação de corantes têxteis. *Química Nova*, V. 29, N. 5, p. 983-989. 2006.

CHAKRABORTY, S.; CHOWDHURY, S.; SAHA, P.D. Adsorption of crystal violet from aqueous solution onto NaOH-modified rice husk. *Carbohydr Polym*. V. 86, p. 1533–1541. 2011.

CHEN, Y.; WANG, F.; DUAN, L.; YANG, H.; GAO, J. Tetracycline adsorption onto rice husk ash, an agricultural waste: its kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Molecular Liquids*. V. 222, p. 487-494. 2016.

COSTA J. A. S.; PARANHOS C. M. Evaluation of rice husk ash in adsorption of Remazol Red dye from aqueous media. *SN Appl Sci*, p. 1–8. 2019.

COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, Caracterização e Aplicação de Carvão Ativado de Casca de Nozes para Adsorção de Azul de Metileno. *Revista Virtual Química*. V. 7, N. 4, p. 1272-1285. 2015.

CRUZ, D. C. P.; SEHWARTZ, R. L. C.; LIMA, R. M.; PINA, R.L.; D. R. PINHEIRO. Estudo da cinética de adsorção do corante eosina y em carvão ativado de casca de arroz. Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlandia – MG, 2019.

DIEGUEZ, C. M. T.; MONTANHEIRO, L. V.; CLETO, L. B.; BONFIM, M. J.; DARTORA, C. A. Os fundamentos quânticos da Ressonância Magnética Nuclear. Revista Brasileira de Ensino de Física, V. 40, N. 1. 2018.

FABRICIO, D. S. Tingimento natural aplicado ao segmento casual chic: uma proposta urbana. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

FACCIONI, C.; ROSA, G. S. Adsorção de azul de metileno utilizando casca da castanha do pará como adsorvente. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 11, n. 2. 2020.

FAIZAL, A. M.; KUTTY, S. R. M.; EZECHI, E. H. Removal of Oil from Water by Column Adsorption Method Using Microwave Incinerated Rice Husk Ash (MIRHA). In: InCIEC 2014. Springer, Singapore, p. 963-971. 2015

FONSECA, H. C.; FONSECA, S. C.; PEREIRA, C. A. F. Uso da cinza da casca de arroz na adsorção de cromo hexavalente. Caderno de Ciências Agrárias. V. 8, N. 1, p. 16-21, 2016.

FRANCO, D. S.; TANABE, E. H.; DOTTO, G. L. Continuous adsorption of a cationic dye on surface modified rice husk: statistical optimization and dynamic models. Chemical Engineering Communications. V. 204, N.6, p. 625-634. 2017.

GAVIÃO, L. O.; SILVA, R. F.; SANT'ANNA, A. P.; LIMA, G. B. A. Ordenação de municípios por potencial de contaminação de águas com fármacos oncológicos por composição probabilística de preferências. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, XLVIII, 2016c, Vitória-ES. Anais do XLVIII SBPO. Vitória: SBPO, 2016c, p. 564–575.

GOMES, K. K. P.; SILVA, M. L. P.; MOTA, A. L. N.; SOUZA, C. P.; FILHO, O. C. Síntese e caracterização de aluminofosfato impreganado com molibdênio e zinco visando a dessulfurização por adsorção. Engenharia no Século XXI. 1ª Edição. Belo Horizonte: Poisson, 2020.

GONZÁLEZ-COSTA, J. J.; REIGOSA, M. J.; MATÍAS, J. M.; FERNÁNDEZ-COVELO, E. Analysis of the importance of oxides and clays in Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn adsorption and retention with regression trees. PloS one. V. 12, n. 1, p. 1-25. 2017.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M, V. B. Corantes têxteis. Química Nova [online]. V. 23, N. 1, p. 71-78. 2000.

GUIMARÃES, C. O.; MENDONÇA, G. R.; MALONCY, M. L.; DA SILVA BATISTA, M. Obtenção de bio-óleo a partir da casca de arroz. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 12, n. 2, p. 159-166, 2014.

HASANIN, M.S. Sustainable hybrid silica extracted from rice husk with polyvinyl alcohol and nicotinic acid as multi adsorbent for textile wastewater treatment. Environmental Science and Pollution Research. V. 27, p. 26742-26749. 2020.

HE, J.; LI, Y.; WANG, C.; ZHANG, K.; LIN, D.; KONG, L.; LIU, J. Rapid adsorption of Pb, Cu and Cd from aqueous solutions by β -cyclodextrin polymers. *Applied Surface Science*. V. 426, p. 29-39. 2017.

HOLDER, C. F.; SCHAAK, R. E. Tutorial on powder X-ray diffraction for characterizing nanoscale materials. 2019.

HOSS, L.; LOEBENS, L.; NETO, L. A. B.; QUADRO, M. S.; ANDREAZZA, R.; GADOTTI, G. I. Adsorção de óleos lubrificantes em casca de arroz. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*. V. 9, n. 5, p. 22-28. 2018.

HOSSEIN, M. A.; BEHZAD, H. Removal of Reactive Red 120 and Direct Red 81 dyes from aqueous solutions by Pumice. *Research Journal of Chemistry and Environment*. V. 16, N. 1, p. 62-68. 2012.

HOU, X.; LV, S.; CHEN, Z.; XIAO, F. Applications of Fourier transform infrared spectroscopy technologies on asphalt materials. *Measurement*. V. 121, p. 304-316. 2018.

ISHIDA, L. Y. Caracterização química e análise quantitativa dos oligoelementos em dentes humanos por espectroscopia de fluorescência de raios x por energia dispersa para inferência forense. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

JATAV, H. S.; SINGH, S. K.; SINGH, Y. V.; PAUL, A.; KUMAR, V.; SINGH, P.; JAYANT, H. Effect of biochar on yield and heavy metals uptake in rice grown on soil amended with sewage sludge. *Journal Pure Applications Microbiologic*, v. 10, n. 2, p. 1367-77, 2016.

KARTHIKEYAN, N.; SIVARANJANI, T.; DHANAVEL, S.; GUPTA, V.K.; NARAYANAN, V.; STEPHEN, A. Visible light degradation of textile effluent by electrodeposited multiphase CuInSe₂ semiconductor photocatalysts. *Journal of Molecular Liquids*. V. 227, p. 194–201, 2017.

KELLE, H. I. Comparative analysis of removal of crude oil and some refined petroleum products from the environment using rice husk: Adsorption isotherm and kinetic studies. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*. V. 26, N. 1, p. 1-13. 2018.

KHAMPARIA, S.; JASPAL, D. Adsorptive removal of Direct Red 81 dye from aqueous solution onto *Argemone mexicana*. *Sustainable Environment Research*, 26(3), 117-123. 2016.

KHAN T. A.; DAHIYA S.; KHAN E. A. Removal of Direct red 81 from aqueous solution by adsorption onto magnesium oxidecoated kaolinite: isotherm, dynamics and thermodynamic studies. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. V. 0, N. 0, p. 1-14. 2016.

KHAN, T. A.; DAHIYA, S.; ALI, I. Removal of Direct Red 81 Dye from Aqueous Solution by Native and Citric Acid Modified Bamboo Sawdust - Kinetic Study and Equilibrium Isotherm Analyses. *Gazi University Journal of Science*. V. 25, N. 1, p. 59-87. 2012.

KIELING, A. G.; BREHM, F. A.; KULAKOWSKI, M. P.; MORAES, C. A. M. Influência do Processo de Combustão nas Características das Cinzas de Cascas de Arroz. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. V. 3, N. 3, p. 2106-2116. 2020.

LEKSUNGNOEN, P.; WISAWAPIPAT, W.; KETROT, D.; ARAMRAK, S.; NOOKABKAEW, S.; RANGKADILOK, N.; SATAYAVIVAD, J. Biochar and ash derived from silicon-rich rice husk decrease inorganic arsenic species in rice grain. *Science of The Total Environment*, v. 684, p. 360-370, 2019.

LIEW, R.K.; AZWAR, E.; YEK, P.N.Y.; LIM, X.Y.; CHENG, C.K.; NG, J-H.; JUSOH, A.; LAM, W.H.; IBRAHIM, M.D.; MA, N.L.; LAM, S.S. Microwave pyrolysis with KOH/NaOH mixture activation: A new approach to produce micro-mesoporous activated carbon for textile dye adsorption. *Bioresource Technology*. V. 288, p. 1-10. 2018.

LIN, K. A.; CHEN, S. Enhanced removal of oil droplets from oil-in-water emulsions using polyethylenimine-modified rice husk. *Waste and biomass valorization*. V. 6, n. 4, p. 495-505. 2015.

LIN, K. Y. A.; YANG, H.; PETIT, C.; CHEN, S. Y. Removal of oil droplets from water using carbonized rice husk: enhancement by surface modification using polyethylenimine. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22, n. 11, p. 8316-8328, 2015.

LOPES, E. R.; MEDINA, A. L.; RIBEIRO, A. S.; BRANDALISE, J. N.; NUNES, A. M. Caracterização elementar da casca de arroz e suas cinzas por métodos após decomposição ácida com sistema de refluxo. *Química Nova*, V. 40, N. 9, p. 1009-1017. 2017.

MACHADO, A. S.; FERRAZ, A. Biological pretreatment of sugarcane bagasse with basidiomycetes producing varied patterns of biodegradation. *Bioresource technology*. V. 225, p. 17-22. 2017.

MAGDALENA, C. P. Adsorção de corante reativo Remazol Vermelho RB de solução aquosa usando zeólita de cinzas de carvão e avaliação da toxicidade aguda com *Daphnia similis*. Dissertação de Mestrado - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, p. 151. 2010.

MAGDALENA, C. P.; CUNICO, P.; CARVALHO, T. E.; FUNGARO, D. A. Adsorção de remazol vermelho RB sobre cinzas de carvão: estudos cinéticos e de equilíbrio. *Safety, Health and Environmental World Congress*, p. 1-5. 2009.

MARCKMANN, K.; SILVA, M. I. P.; PETKOWICZ, D.; FICKLER, D.; OLIVEIRA, A. R. M. B. Caracterização de carvão ativado proveniente da cinza da casca do arroz para uso em tratamento de água e efluentes. II Encontro Nacional de Tecnologia Urbana. Passo Fundo – RS, 2015.

MATEI, J. C. Pré-tratamento de resíduos agroindustriais com enzimas ligninolíticas para produção de bioetanol. Dissertação de Mestrado (Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 101. Curitiba, 2018.

MENDONÇA, M. A.; DE OLIVEIRA, R. A.; DUDA, R. M.; FUJITA, A. T.; MILLAN, R. N. Remoção de íons Cu^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} em solução aquosa utilizando lodo biológico de reatores anaeróbios de alta taxa. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*. V. 38, N. 2, p. 17-27. 2017.

MIMURA, A. M. S.; VIEIRA, T. V. A.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. F. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} e Zn^{2+} . *Química Nova*. V. 33, N. 6, p. 1279-1284, 2010.

MISHRA, R. K.; MOHANTY, K. Pyrolysis kinetics and thermal behavior of waste sawdust biomass using thermogravimetric analysis. *Bioresource technology*. V. 251, p. 63-74. 2018.

MOOSA, A.; SADDAM, B. Synthesis and characterization of nanosilica from rice husk with applications to polymer composites. *American Journal of Materials Science*. V. 7, N. 6, p. 223-231. 2017.

MORI, M.; CASSELLA, R. J. Estudo da sorção do corante catiônico violeta cristal por espuma de poliuretano em meio aquoso contendo dodecilsulfato de sódio. *Química Nova*, V. 32, N. 8, p. 2039-2045. 2009.

MUSTAPHA, R.; MOHAMMAD, H. C. H.; MANAS, A.; ALI, A.; HAMZAH, S. Preparation and Characterization of Bio-Adsorbent from Coconut Husk for Remazol Red Dye Removal. *Biointerface Research In Applied Chemistry*. V. 11, N. 3, p. 10006-10015. 2021.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A. de; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. 1ª Edição. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A. de; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. 2ª Edição. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020.

NASCIMENTO-DIAS, B. L. D.; ANJOS, V. D. C. D. Espectroscopia de fotoelétrons por Raios X: Conceitos físicos e os processos experimentais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, V. 43. 2021.

NOVO, B. D. L.; BERTOLINO, L. C.; SIMÕES, K. M. A. Estudo termodinâmico de adsorção e dessorção de chumbo e cádmio em efluentes sintéticos utilizando a palygorskita como adsorvente. XXV Jornada de Iniciação Científica e I Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 2017.

NYSSANBAYEVA, G. R.; KUDAIBERGENOV, K. K.; SEIDILDAYEVA, A. K.; SASSYKOVA, L. R.; TULEPOV, M. I. Synthesis of modified nanocarbon materials and determination of their adsorption capacity. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. V. 10, n. 1, p. 305-314. 2020.

OLIVEIRA, F. M. Resíduos agroindustriais como adsorventes para remoção de azul de metileno em meio aquoso. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Química) – Universidade Federal de Goiás. Catalão, p. 163, 2016.

OLIVEIRA, H. A. L. D. Síntese, caracterização e aplicação de nanoadsorventes magnéticos visando à remoção de Cr (VI) de águas residuais. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) - Universidade de Brasília, p. 72. Planaltina, 2016.

OLIVEIRA, S. P.; SILVA, W. L. L.; VIANA, R. R. Avaliação da capacidade de adsorção do corante azul de metileno em soluções aquosas em caulinita natural e intercalada com acetato de potássio. *Cerâmica*, V. 59, N. 350, p. 338-344. 2013.

OLUSEGUN, Sunday J.; MOHALLEM, Nelcy DS. Insight into the adsorption of doxycycline hydrochloride on different thermally treated hierarchical CoFe₂O₄/bio-silica nanocomposite. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. V. 7, N. 6, p. 103442. 2019.

ONU. United Nations, Estados Unidos, 2020. Disponível em: <<https://www.un.org/en/sections/issues-depth/water/>>. Acesso em 31 de Novembro de 2020.

OVIEDO, V. R.; DRUZIAN, D. M.; MORTARI, S. R.; SAGRILLO, M. R.; VOLKMER, T. M.; BERTUOL, D. A.; RODRIGUES JR, L. F. Synthesis and characterization of SrO-containing bioglass-ceramic from rice husk silicon dioxide. *Cerâmica*. V. 66, N. 380, p. 426-432. 2020.

PARK, B. D.; WI, S. G.; LEE, K. H.; SINGH, A. P.; YOON, T. H.; KIM, Y. S. Characterization of anatomical features and silica distribution in rice husk using microscopic and micro-analytical techniques. *Biomass and Bioenergy*, v. 25, n. 3, p. 319-327. 2003.

Park, H. Y.; Lee, K. W.; Choi, H. D. Rice bran constituents: immunomodulatory and therapeutic activities. *Food & function*, v. 8, n. 3, p. 935-943, 2017.

PASSARI, L. M. Z. G.; SOARES, P. K.; BRUNS, R. E.; SCARMINIO, I. S. Estatística aplicada à química: dez dúvidas comuns. *Química Nova*. V. 34, n. 5, p. 888-892. 2011.

PENHA, R.S.; SANTOS, C.C.; CARDOSO, J.J.F.; SILVA, H.A.S.; SANTANA, S.A.A.; BEZERRA, C.W.B. Casca de Arroz Quimicamente Tratada como Adsorvente de Baixo Custo para a Remoção de Íons Metálicos (Co²⁺ and Ni²⁺). *Revista Virtual Química*. V. 8, N. 3, p. 588-604. 2016.

PEREIRA, F.; PIMENTEL, P. M. Remoção dos íons Cr³⁺ utilizando a cinza da casca de arroz como adsorvente, p. 1-11. 2020.

PEREIRA, K. R. A. Cinética de adsorção dos íons de cu²⁺ na cinza da casca de arroz para tratamento de efluente da industria de petróleo. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*. V. 5, N. 5, p. 0439-0443. 2019.

PERES, E. C. Produção e caracterização de nano sílica modificada obtida da casca de arroz para a utilização como adsorventes de corantes. *Dissertação – Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina – RS, p. 95. 2018.*

PERES, E. C.; FAVARIN, N.; SLAVIERO, J; ALMEIDA, A. R. F.; ENDERS, M. P.; MULLER, E. I.; DOTTO, G. L. Bio–nanosilica obtained from rice husk using ultrasound and its potential for dye removal. *Materials Letters*. V. 231, p. 72-75. 2018

PERGO, E. M.; BRITTA, E. A.; GALLETTI, P. A. Metodologia de microscopia eletrônica de transmissão aplicada ao estudo de raízes de plântulas. *Revista Brasileira Multidisciplinar*. V. 22, N. 1, p. 175-186. 2019.

PHAM, T. D.; BUI, T. T.; NGUYEN, V. T.; BUI, T. K. V.; TRAN, T. T.; PHAN, Q. C.; PHAM, T. D.; HOANG, T. H. Adsorption of polyelectrolyte onto nanosilica synthesized from rice husk: characteristics, mechanisms, and application for antibiotic removal. *Polymers*. V. 10, N. 2, p. 220. 2018.

PHAM, T. D.; BUI, T. T.; TRUONG, T. T. T.; HOANG, T. H.; LE, T. S.; DUONG, V. D.; YAMAGUCHI A.; KOBAYASHI, M.; ADACHI, Y. Adsorption characteristics of beta-lactam cefixime onto nanosilica fabricated from rice HUSK with surface modification by polyelectrolyte. *Journal of Molecular Liquids*, v. 298, p. 111981, 2020.

PIRES, O. A. B. Produção e aplicação de extratos enzimáticos de fungos da podridão branca como pré-tratamento para sacarificação de resíduos agrícolas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Tecnológica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 52. Curitiba, 2015.

PIRES, V. S. Avaliação da remoção da cor do efluente têxtil através do processo de adsorção com carvão ativado proveniente de folhas de Abacateiro (*Persea americana* Mill.). Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, p. 55. 2020.

POURFADAKARI, S.; JORFI, S.; AHMADI, M.; TAKDASTAN, A. Experimental data on adsorption of Cr (VI) from aqueous solution using nanosized cellulose fibers obtained from rice husk. *Data in brief*. V. 15, p. 887-895. 2017.

QUEIROZ, C. F.; STEFANELLI, T. Biodegradação de corantes têxteis por *Anabaena flos-aqual*. *Engenharia Ambiental*, v. 8, n. 1, p. 26-35, 2011.

RODRIGUES, M. S. Caracterização de cinza residual da queima de casca de arroz para a produção de argamassa. Dissertação de Mestrado (Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

ROMÃO, R. K.; VIANA, A. G. Estudo da potencial aplicação da casca do pinhão no processo de adsorção do corante azul de metileno. 2018.

ROYER, B. Remoção de corantes têxteis utilizando casca de semente *Araucaria angustifolia*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, p. 68, 2008.

SAEED A.; SHARIF M., IQBAL M. Application potential of grapefruit peel as dye sorbent: Kinetics, equilibrium and mechanism of crystal violet adsorption. *Journal of Hazardous Materials*. V. 179, p. 564-572. 2010.

SANTANA, M. D. F.; RODRIGUES, L. S. I; AMARAL, T. S.; PINHEIRO, Y. G. Fenoloxidase e biodegradação do corante têxtil azul brilhante de remazol para três espécies de macrofungos coletadas na Amazônia. *SaBios: Revista de Saúde e Biologia*, v. 11, p. 53-60, 2016.

SANTOS, G. D. S.; MARQUES, E. P.; SILVA, H. A. D. S.; BEZERRA, C. W. B.; MARQUES, A. B. Identificação e quantificação do cristal violeta em aguardentes de mandioca (tiquira). *Química Nova*, v. 28, n. 4, p. 583-586, 2005.

SANTOS, J. H. P.; SILVA, M. B. Adsorção do azul de metileno utilizando casca de arroz. Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia – MG, 2019.

SANTOS, L. C.; MUSETTI, H. C.; QUISPE, O. C.; SCIENA, C. R.; MALAFATTI, J. O.; PARIS, E. C. Desenvolvimento de compósitos magnéticos porosos visando aplicações em adsorção. In: Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 9., 2017, São Carlos. Anais... São Carlos: Embrapa Instrumentação, p. 605-608. 2017.

SCHNEIDER, L. T.; BONASSA, G.; ALVES, H. J.; MEIER, T. R. W.; FRIGO, E. P.; TELEKEN, J. G. Use of rice husk in waste cooking oil pretreatment. *Environmental technology*. V. 40, N. 5, p. 594-604. 2019.

SHABAN, M.; ABUKHADRA, M. R.; MOHAMED, A. S.; SHAHIEN, M.G.; IBRAHIM, S. S. Synthesis of mesoporous graphite functionalized by nitrogen for efficient removal of safranin dye utilizing rice husk ash; Equilibrium studies and Response Surface optimization. *J Inorg Organometal Polymers*. (2017).

SILVA, M. B.; SANTOS, J. H. P. Estudo experimental do uso da casca de arroz na adsorção do azul de metileno. *Brazilian Journal of Development*. V. 5, N. 10, p. 19389-19394, 2019.

SILVA, R. F.; MOURA, L. L.; GAVIÃO, L. O.; LIMA, G. B. A.; BIDONE, E. D. Avaliação do Potencial de Contaminação de Águas com Fármacos Oncológicos em Municípios da Região Sul do Brasil. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, Vol. 7, n. 1, p. 275-299, Florianópolis, 2018.

SIMUNDI, F. S. M. Extração de sílica e celulose a partir da casca de arroz. Dissertação de Mestrado (Engenharia e Tecnologias de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porta Alegre – RS, 2017.

SOARES, L. G.; BERGMANN, C. P.; ALVES, A. K. Verificação da fotoatividade de nanofibras de tio₂ observadas através da descoloração do corante alaranjado de metila. 58º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Bento Gonçalves – RS, p. 2706-2717. 2014.

SOLTANI, N.; BAHRAMI, A.; PECH-CANUL, M. I.; GONZÁLEZ, L. A. Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. *Chemical engineering journal*, V. 264, p. 899-935. 2015.

SOUSA, J. V. Industrialização e gestão de resíduos de arroz no Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso (Universidade Federal de Uberlândia). Patos de Minas, 2019.

SOUZA, D. A. Adsorção de cobre em meio aquoso utilizando carvões ativados de casca de arroz. Dissertação de Mestrado (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins. Palmas – TO, p. 62. 2017.

SOUZA, H. F. Uso de carvão ativado proveniente da casca de arroz (*oryza sativa*) para a remoção de azul de metileno. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campinas. Pombal – PB, p. 52. 2019.

STEIN, V.; SCHEMMEL, T. Sustainable Rice Husk Ash-Based High-Temperature Insulating Materials. *Interceram. - Int. Ceram. Rev.* 69, 30–37. 2020.

SUN, C.; CHEN, T.; HUANG, Q.; WANG, J.; LU, S.; YAN, J. Enhanced adsorption for Pb (II) and Cd (II) of magnetic rice husk biochar by KMnO₄ modification. *Environmental Science and Pollution Research*. V. 26, N. 9, p. 8902-8913. 2019.

SUN, Y.; YUE, Q.; GAO, B.; LI, Q.; HUANG, L.; YAO, F.; XU, X. Preparation of activated carbon derived from cotton linter fibers by fused NaOH activation and its application for oxytetracycline (OTC) adsorption. *Journal of colloid and interface science*, v. 368, n. 1, p. 521-527, 2012.

SZETO, W.; KAN, C. W.; YUEN, C. W. M.; CHAN, S. W.; LAM, K. H. EFFECTIVE photodegradation of methyl orange using fluidized bed reactor loaded with cross-linked chitosan embedded nano-CdS photocatalyst. *International Journal of Chemical Engineering*, v. 2014, 2014.

TEXEIRA, C. C.; NEVES, M. T. Análise do melhor método de ativação de carvão ativado de bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de corante têxtil. *Revista Científica Univiçosa*. V. 10, N. 1, p. 262-268. 2018.

United States Department of Agriculture, USDA. World Agricultural Production. Circular Series. Fevereiro de 2020.

VAN, K. L.; THU, T.L.T.; THU, H.N.T.; VAN HOANG, H. Activated Carbon by KOH and NaOH Activation: Preparation and Electrochemical Performance in K₂SO₄ and Na₂SO₄ Electrolytes. *Russian Journal of Electrochemistry*. V. 55, N. 9, p. 900-907. 2019.

VAZ, M.G.; PEREIRA, A.G.B.; FAJARDO, A.R.; AZEVEDO, A.C.N.; RODRIGUES, F.H.A. Methylene Blue Adsorption on Chitosan-g-Poly(Acrylic Acid)/Rice Husk Ash Superabsorbent Composite: Kinetics, Equilibrium, and Thermodynamics. *Water Air Soil Pollut.* V. 228, N. 14. 2017.

WANG, Z.; BARFORD, J. P.; HUI, C. W.; MCKAY, G. Kinetic and equilibrium studies of hydrophilic and hydrophobic rice husk cellulosic fibers used as oil spill sorbents. *Chemical Engineering Journal*. V. 281, p. 961-969. 2015.

XIANG, W.; ZHANG, X.; CHEN, J.; ZOU, W.; HE, F.; HU, X.; TSANG, D. C. W.; OK, Y. S.; GAO, B. Biochar technology in wastewater treatment: A critical review. *Chemosphere*. V. 252, p. 126539. 2020.

ZAPARTE, T. A. Análise global da influência da finura da cinza de casca de arroz como substituição parcial ao cimento Portland nas propriedades da argamassa de revestimento. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2020.

ZAYED, A. M.; WAHED, M. S. M. A.; MOHAMED, E. A.; SILLANPÄÄ, M. Insights on the role of organic matters of some Egyptian clays in methyl orange adsorption: Isotherm and kinetic studies. *Applied Clay Science*. V. 166, p. 49-60. 2018.

ZENEBO, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. Instituto Adolfo Lutz. Edição IV, 1ª Edição Digital. Versão Eletrônica. São Paulo, 2008.

ZENG, Z. W.; TIAN, S. R.; LIU, Y. G.; TAN, X. F.; ZENG, G. M.; JIANG, L. H.; YIN, Z.; LIU, N.; SHAO-BO LIU, S.; LI, J. Comparative study of rice husk biochars for aqueous antibiotics removal. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. V. 93, N. 4, p. 1075-1084. 2018.

ZHAN, C.; SHARMA, P. R.; HE, H.; SHARMA, S. K.; MCCAULEY-PEARL, A.; WANG, R.; HSIAO, B. S. Rice husk based nanocellulose scaffolds for highly efficient removal of heavy metal ions from contaminated water. *Environmental Science: Water Research & Technology*. V. 6, N. 11, p. 3080-3090. 2020.

ZHANG, B.; HAN, X.; GU, P.; FANG, S.; BAI, J. Response surface methodology approach for optimization of ciprofloxacin adsorption using activated carbon derived from the residue of desilicated rice husk. *Journal of Molecular Liquids*, v. 238, p. 316-325. 2017.

ZOCCOLA, M. S. Otimização e avaliação da eficiência do tratamento de efluentes industriais. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo. São José dos Campos – São Paulo, 2016.

ZUCCO, L. L. Avaliação do comportamento físico-químico-mecânico de misturas cimento-cinza-casca de arroz por meio de corpos-de-prova cilíndricos e placas prensadas. Tese de Doutorado (Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.