



Universidade Federal Rural de Pernambuco

Campus Recife

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Tratamento de efluente têxtil por adsorção com carvão de resíduo
de madeira obtido em gaseificador

Luiz Martins Pereira Neto

Recife

2021

LUIZ MARTINS PEREIRA NETO

TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL POR ADSORÇÃO COM CARVÃO DE
RESÍDUO DE MADEIRA OBTIDO EM GASEIFICADOR

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como requisito parcial à obtenção
do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Engenharia Ambiental

Linha de pesquisa: Controle e Remediação da Poluição

Orientadores: Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto

Co-Orientador: Prof. Dr. Maurício A. da Motta Sobrinho

Recife

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L953t Pereira Neto, Luiz Martins
 Tratamento de efluente têxtil por adsorção com carvão de resíduo de madeira obtido em gaseificador / Luiz Martins
Pereira Neto. - 2021.
88 f. : il.
- Orientador: Fernando Cartaxo Rolim Neto.
 Coorientador: Mauricio Alves da Motta Sobrinho.
 Inclui referências e anexo(s).
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2021.
1. Adsorção. 2. Corantes. 3. Efluentes Industriais. 4. Gaseificador. 5. Reuso. I. Neto, Fernando Cartaxo Rolim, orient. II. Sobrinho, Mauricio Alves da Motta, coorient. III. Título

LUIZ MARTINS PEREIRA NETO

TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL POR ADSORÇÃO COM CARVÃO DE
RESÍDUO DE MADEIRA OBTIDO EM GASEIFICADOR

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, defendida e aprovada em 28 de janeiro de 2021 pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto (UFRPE)
Orientador

Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho (UFPE)
Co-Orientador

Prof^a. Dr^a. Andréa Baltar Barros (UNINASSAU)
Avaliador Externo

Prof. Dr. Jorge Vinícius Fernandes Lima Cavalcanti (UFPE)
Avaliador Externo

RESUMO

O crescimento populacional sustentável tem como desafios o controle ambiental das imensas quantidades de resíduos gerados todos os dias e a utilização de recurso para produção de insumos. Entre todos os recursos pode-se afirmar que os hídricos são os mais utilizados, aparecendo nas totalidades dos processos produtivos. No Agreste de Pernambuco, localiza-se um dos maiores polos têxteis do Brasil. Apesar do impacto positivo gerado por esse polo, um impacto negativo no setor ambiental deve ser considerado, já que, graças a essa contribuição, a bacia hidrográfica que abastece esta região é uma das mais contaminadas. O presente trabalho teve como objetivo evidenciar a utilização de resíduos de madeira para produção de carvão, por meio de um gaseificador energético, para uso posterior em tratamento de efluentes de uma lavanderia têxtil. O carvão produzido foi caracterizado (BET, MEV, TGA, DTG, FT-IR, DRX e PCZ) assim como o efluente da lavanderia (pH; Cor; Condutividade; Turbidez, Sólidos Totais, DQO, DBO). Foi realizado planejamento fatorial 2² com a finalidade de escolher o melhor carvão, comparando-o com um carvão comercial, por meio de estudos cinéticos e de equilíbrio. O material CA pode ser dito como o melhor carvão, pois no seu processo de produção o gaseificador tem a capacidade de gerar maior quantidade de energia e sua estrutura se mostra mais uniformizada. Apesar de sua área superficial ser menor que a do material CB, o diâmetro dos poros é maior, o que pode gerar uma compensação. Os estudos cinéticos indicaram um tempo de 90 minutos para se atingir o equilíbrio. Os resultados foram bastante promissores para os carvões de resíduo, tendo porcentagem de remoção acima de 96%, similar à do carvão comercial, apresentando também elevada capacidade adsortiva.

Palavra chaves: Adsorção; Corantes; Efluentes Industriais; Gaseificador; Reuso.

ABSTRACT

The challenges of sustainable population growth are the environmental control of the immense amounts of waste generated every day and the use of resources for the production of inputs. Among all the resources, it can be said that water is the most used, appearing in the totalities of production processes. In the Agreste region of the state of Pernambuco, one of the largest textile hubs in Brazil is located. Despite the positive impact generated by this pole, a negative impact on the environmental sector must be considered, since, due to this contribution, the hydrographic basin that supplies this region is one of the most contaminated. The present work aimed to show the use of wood residues for the production of charcoal, by means of an energy gasifier, for later use in the treatment of effluents from a textile laundry. The charcoal produced was characterized (BET, MEV, TGA, DTG, FT-IR, DRX and PCZ) as well as the laundry effluent (pH; Color; Conductivity; Turbidity, Total Solids, COD, DBO). 2² factorial planning was carried out in order to choose the best coal, comparing it with commercial coal, through kinetic and equilibrium studies. The CA material can be said to be the best coal, because in its production process the gasifier has the capacity to generate a greater amount of energy and its structure is more uniform. Although its surface area is smaller than that of the CB material, the pore diameter is larger, which can generate compensation. Kinetic studies indicated a time of 90 minutes to reach equilibrium. The results were very promising for waste coals, with removal percentage above 96%, similar to that of commercial coal, also showing high adsorptive capacity.

Key-Words: Industrial effluents; Reuse; Aerator; Adsorption; Dyes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formas de Isotermas de Adsorção.....	28
Figura 2 – Representação gráfica das isotermas de adsorção e dessorção gás/líquido.....	29
Figura 3 - Estrutura química do Azul de metileno.....	32
Figura 4 - Gaseificador A instalado no Laboratório de Inovação da UFPB.....	34
Figura 5 - Fluxograma gaseificador A.....	35
Figura 6 - Gaseificador B.....	35
Figura 7 - Fluxograma gaseificador B.....	36
Figura 8 - Esquematização do processo de geração dos Biocarvões.....	36
Figura 9 - Isotermas de adsorção e dessorção dos carvões A, B e C, respectivamente.....	44
Figura 10 - Espectros FTIR dos carvões CA, CB e CC.....	45
Figura 11 - Difractogramas de Raios-X para as amostras de carvão A, B e C, respectivamente.....	46
Figura 12 - Curva de TGA e DTG para os carvões A, B e C.....	48
Figura 13 - Ponto de carga zero dos adsorventes.....	49
Figura 14 - Gráfico de estudo de massa para o material CA.....	51
Figura 15 - Gráfico de estudo de massa para o material CB.....	51
Figura 16 - Gráfico de estudo de massa para o material CC.....	51
Figura 17 - Gráfico de Pareto para o planejamento dos adsorventes CA, CB e CC.....	54
Figura 18 - Gráfico quadrado do adsorvente CB.....	55
Figura 19 - Gráfico de superfície de resposta do material CB.....	56
Figura 20 - Modelagem de Pseudo Primeira ordem (PFO) e Pseudo segunda ordem (PSO) respectivamente para o CA.....	57
Figura 21 - Modelagem de Pseudo Primeira ordem (PFO) e Pseudo segunda ordem (PSO) respectivamente para o CB.....	57
Figura 22 - Modelagem de Pseudo Primeira ordem (PFO) e Pseudo segunda ordem (PSO) respectivamente para o CD.....	57
Figura 23 - Isotermas de Adsorção dos materiais CA, CB e CD respectivamente.....	59
Figura 25 - Gráfico de Índice de Germinação e índice de crescimento relativo.....	63
Figura 26 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do corante Azul de Metileno NEON. Parte 1/4.....	77
Figura 27 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do corante Azul de Metileno NEON. Parte 2/4.....	78
Figura 28 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do corante Azul de Metileno NEON. Parte 3/4.....	79
Figura 29 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do corante Azul de Metileno NEON. Parte 4/4.....	80
Figura 30 - Ficha de Especificações Técnicas do Produto Azul de Metileno NEON.....	81
Figura 31 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial (CD). Parte 1/6.....	82
Figura 32 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial (CD). Parte 2/6.....	82
Figura 33 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial (CD). Parte 3/6.....	84
Figura 34 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial (CD). Parte 4/6.....	85
Figura 35 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial (CD). Parte 5/6.....	86

Figura 36 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial
(CD). Parte 6/6.87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Planejamento fatorial 2^2 para otimização do processo adsorativo.	39
Tabela 2 - Resultados da análise microporosimétrica dos carvões estudados	43
Tabela 3 - Valores de % de remoção e capacidade adsorativa para ponto ótimo de massa.	52
Tabela 4 - Valores de % de remoção e capacidade adsorativa para biocarvão de endocarpo de açai oriundo de gaseificador	52
Tabela 5 - Resultados de eficiência média de remoção do primeiro planejamento fatorial 2^2 e seus respectivos desvios padrões.....	53
Tabela 6 - Resultados de capacidade adsorativa média do primeiro planejamento fatorial 2^2 e seus respectivos desvios padrões.....	53
Tabela 7 - Resultados do segundo planejamento fatorial 2^2 e seus respectivos desvios padrões 53	
Tabela 8 - Resultados de capacidade adsorativa do segundo planejamento fatorial 2^2 e seus respectivos desvios padrões.....	54
Tabela 9 – Parâmetros modelos de Pseudo Primeira e Pseudo Segunda Ordem.....	58
Tabela 10 – Parâmetros dos modelos de isothermas de adsorção.	60
Tabela 11 - Comparação de Capacidade Máxima de Adsorção.....	60
Tabela 12– Resultados do tratamento do efluente têxtil real após coagulação com os dois carvões (CA e CB) e o carvão comercial (CD) e comparação com a legislação.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de corantes e suas susceptibilidades e função do tingimento	27
Quadro 2 - Parâmetros e métodos das análises de caracterização do efluente	33
Quadro 3 - Microscopia eletrônica de varredura dos materiais CA, CB e CC em diferentes graus de ampliação	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APL	Arranjo Produtivo Local
BET	isortermas Brunauer, Emmett e Taller
CA	Carvão A (obtido do gaseificador grande)
CB	Carvão B (obtido do gaseificador pequeno)
CC	Carvão C (passagem pelos dois gaseificadores)
CD	Carvão Comercial
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
DRX	Difrações de Raios-X
DTG	Termogravimetria derivada
ETE	Estações de Tratamento de Esgotos
FT-IR	Espectroscopia infravermelho com transformada de Fourier
GA	Gaseificador A (grande porte)
GB	Gaseificador B (pequeno porte)
IUPAC	União Internacional de Química Pura Aplicada
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PCZ	Ponto de Carga Zero
pH	Potencial Hidrogeniônico
rpm	Rotação por minuto
TGA	Análise termogravimétrica

LISTA DE SÍMBOLOS

$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
C_0	Concentração inicial do adsorvato
C_e	Concentração de equilíbrio do adsorvato
C_f	Concentração final do adsorvato
g	Gramas
K	Kelvin
k_1	Constante da taxa de adsorção de Pseudo-primeira ordem
k_2	Constante da taxa de adsorção de Pseudo-segunda ordem
K_F	Constante de Freundlich
K_L	Constante de Langmuir
K_{LF}	Constante de equilíbrio de adsorção Langmuir-Freundlich
kW	Quilowatt
L_c	Dimensão média estatística de bilhões de cristalitos na amostra
m ou M	massa de adsorvente
mg	Miligrama
mm	Milímetro
mL	Mililitro
n	Constante que representa a heterogeneidade do adsorvente
nm	Nanômetro
N_2	Nitrogênio
P	Pressão
P_0	Pressão Inicial
q_{e1}	Capacidade de adsorção no equilíbrio de Pseudo-primeira ordem
q_{e2}	Capacidade de adsorção no equilíbrio de Pseudo-segunda ordem
$q_{m\acute{a}x}$	Concentração máxima do adsorvato
q_t	Quantidade adsorvida
R	Constante dos gases
R^2	Coefficiente de determinação
$US\$$	Dólares
$R\$$	Reais
t	Tempo

T Temperatura

V Volume

Letras Gregas:

\AA Angstrom

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. ÁGUA E POLUIÇÃO HÍDRICA	17
2.2. USO DOS RECURSOS HÍDRICOS	19
2.3. LEGISLAÇÃO	21
2.4. SETOR TÊXTIL	22
2.5. CORANTES TÊXTEIS	23
2.6. EFLUENTE TÊXTIL	24
2.7. PROCESSOS DE TRATAMENTO	25
2.7.1. COAGULAÇÃO/ FLOCULAÇÃO.....	26
2.7.2. ADSORÇÃO.....	27
2.7.3. CARVÃO ATIVADO.....	29
2.8. PROCESSOS ADSORTIVOS COM CARVÃO DE RESÍDUOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS	30
3. METODOLOGIA	32
3.1. CORANTE AZUL DE METILENO	32
3.2. COLETA DO EFLUENTE	32
3.3. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE	33
3.4. PRODUÇÃO DO CARVÃO	33
3.5. CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE	37
3.5.1. MICROPOROSIMETRIA (BET).....	37
3.5.2. DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	37
3.5.3. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	37
3.5.4. ANÁLISES TÉRMICAS.....	37
3.5.5. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO.....	38
3.5.6. DETERMINAÇÃO DO PH DO PONTO DE CARGA ZERO.....	38
3.6. ESTUDO DE MASSA	38
3.7. PLANEJAMENTO FATORIAL 2²	38
3.8. CINÉTICA DE ADSORÇÃO	39
3.9. ESTUDO DE EQUILÍBRIO	40
3.10. TOXICIDADE	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE	43
4.1.1. ANÁLISE MICROPOROSIMÉTRICA DOS ADSORVENTES.....	43

4.1.2.	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER.....	44
4.1.3.	DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	45
4.1.4.	MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA – MEV.....	46
4.1.5.	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA	48
4.1.6.	PONTO DE CARGA ZERO	49
4.2.	ENSAIOS DE ADSORÇÃO	50
4.2.1.	ESTUDO DE MASSA	50
4.2.2.	PLANEJAMENTO 2 ²	52
4.2.3.	ESTUDO CINÉTICO DE ADSORÇÃO	56
4.2.4.	ESTUDO DE EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO.....	58
4.2.5.	ENSAIO COM EFLUENTE REAL	61
4.2.6.	TOXICIDADE	62
5.	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.....	64
5.1.	CONCLUSÕES	64
5.2.	PERSPECTIVAS.....	65
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
7.	ANEXOS.....	77

1. INTRODUÇÃO

Entre todos os fatores que contribuíram para o desenvolvimento da humanidade, a água ganha destaque devido à sua condição essencial para a existência humana/animal e aos seus múltiplos usos. Seja de característica potável ou não potável, a sua utilização está presente em vários processos que permitem e sustentam a existência humana.

A água potável é um recurso escasso e apesar dessa problemática não ser novidade, ela vem se agravando ao longo dos últimos anos. Essa situação é gerada pelo crescimento exponencial e desenfreado da população, pelo gerenciamento ineficiente deste recurso e pelos impactos ambientais dos mais diversos tipos causados ao ecossistema.

De forma genérica, o uso das águas é dividido em três categorias: usos agropecuário, industrial e urbano. De forma geral, os países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos têm cerca de 70% de suas águas voltadas para uso agropecuário, 20% para uso industrial e 10% para uso urbano. O uso deste recurso gera um efluente, cujas características dependem diretamente do processo pelo qual a água passou. Em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, como o Brasil, esse consumo é dominado pelo uso agrícola, seguido do industrial e, por último, o doméstico (COELHO; HAVENS, 2015). Dentre estes setores, o industrial é o que apresenta maior potencial de redução do consumo, ao aplicar processos mais sustentáveis, tecnologias limpas, entre outras (LANNA, 2008; ANA, 2019).

Dentre estes, o setor têxtil, classificado com o potencial poluidor alto, utiliza cerca de 15% da água do setor industrial. Em regiões com épocas de escassez hídrica e baixa pluviometria, como é o caso da região Nordeste do Brasil, o uso desse recurso é precário podendo ser limitado dependendo da situação.

O polo têxtil do Agreste de Pernambuco está na região central do Planalto da Borborema, na transição do Agreste para a Zona da Mata. Ele é responsável por uma parte significativa da produção têxtil brasileira, sendo o quinto maior produtor mundial. Este arranjo produtivo local (APL), compreende cerca de 21 mil empresas. Porém, como a maioria destes empreendimentos são informais, além de problemas sociais, causam também vários problemas ambientais (CNI, 2017).

Por outro lado, a região do Agreste pernambucano tem seu bioma definido como Caatinga, com a maior parte do ano nessa região apresentando déficit hídrico, significando que, a taxa de evaporação é maior que a taxa de pluviometria (ANA, 2017).

Soluções antrópicas utilizadas para intervir neste cenário, são as construções de represas ou barragens. Com a finalidade de armazenar o recurso hídrico, a barragem de Jucazinho - PE foi criada para suprir a região do Agreste. Localizada no município de Surubim -PE, tem capacidade de armazenamento de cerca de 328 milhões de m³. Porém a situação de déficit hídrico da região atrapalha esta reserva hídrica, onde o histórico desta barragem mostra por muitas vezes situações críticas. Segundo o G1 (2017; 2020), a última vez que a barragem atingiu seu ápice foi no ano de 2011, chegando a 100%. Porém em 2016 a barragem entrou em nível de colapso, ficando em 2020 com um nível próximo dos 6%. Este cenário histórico de baixa pluviosidade e alta taxa de evapotranspiração da região Nordeste destaca o fato da necessidade de medidas preventivas e corretivas de armazenagem, distribuição, reutilização e economia de água.

Uma solução técnica e economicamente viável para diminuição do gasto hídrico deste setor, seria o reuso da água resultante do processo de beneficiamento industrial, ocasionando uma economia no aspecto hídrico e financeiro das empresas.

Para tanto, uma melhoria na qualidade dos sistemas de tratamento das lavanderias faz-se necessária. Todavia, o processo mais utilizado na região de estudo para o tratamento dos efluentes é a coagulação/floculação (KUNZ *et al.*, 2002). Verifica-se, contudo, que os efluentes tratados, em sua maioria, não se enquadram sequer nas normas de descarte (CONAMA, 2011).

Desta forma, o pós-tratamento poderá adequar este descarte para o reuso. Dentre as tecnologias de pós-tratamento, a adsorção destaca-se por sua simplicidade de operação e instalação. O principal custo nesse processo é o adsorvente. Para tanto, o uso de biocarvões tem se revelado uma solução sustentável e ambientalmente favorável (FREITAS, 2020).

Assim sendo, este trabalho tem como objetivo geral, a avaliação do uso de carvões obtidos da gaseificação de madeira, na adsorção de efluente têxtil real, almejando condições de reuso do efluente, dentro do processo de beneficiamento de peças jeans em lavanderias de pequeno e médio porte.

Para atingir tal objetivo, foram definidas as seguintes metas / objetivos específicos:

- Obtenção do carvão ativado de dois gaseificadores, ao processar resíduos de madeira;
- Realizar a caracterização físico-química dos carvões obtidos;
- Maximizar o processo de adsorção de três carvões oriundos dos dois gaseificadores (o terceiro carvão passa pelos dois gaseificadores), através de um planejamento experimental, utilizando-se o corante Azul de metileno;
- Realizar ensaios cinéticos, de equilíbrio e termodinâmicos para o melhor carvão, utilizando-se corantes têxteis.
- Avaliar a eficiência do processo adsorptivo com o carvão em efluentes têxteis real, verificando-se sua adequação ao reuso.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica é essencial para a sustentação e explicação dos resultados obtidos. Desta forma serão apresentados inicialmente conceitos sobre o meio ambiente, políticas e legislação, para em seguida serem discutidas as características da indústria têxtil e os efluentes líquidos que ela gera, e finalmente, apresentados processos de tratamento com foco para a adsorção e o carvão ativado, temas principais deste trabalho.

2.1. ÁGUA E POLUIÇÃO HÍDRICA

O desenfreado crescimento da população mundial tem como consequência o aumento da necessidade de recursos naturais. A exploração desses recursos resulta em impactos ambientais na natureza, remetendo às crises ambientais do século XXI (MORAIS; FADUL; CERQUEIRA, 2018). Esta apropriação é ainda mais acentuada em relação aos recursos hídricos em certos continentes, como particularmente na África subsaariana ou no oeste da Ásia e no norte da África, que enfrentam escassez hídrica crítica, como assinala Brundtland (2012) no prefácio do documento *The Global Water Crisis: Addressing an Urgent Security Issue*. Ressalta ainda que, como algumas dessas nações são politicamente instáveis, essas crises podem ter repercussões regionais que se estendem muito além de suas fronteiras políticas; mas, mesmo em regiões politicamente estáveis, o *status quo* pode ser perturbado pela perda de estabilidade nos padrões hidrológicos.

O Brasil apresenta posição de destaque neste contexto, pois é o país com a maior posse hídrica do mundo, detendo 12% dos 41% de toda água doce do continente americano, sendo o Nordeste brasileiro a região com menor quantidade hídrica do país (ANA, 2017). Contudo, a escassez não é a única problemática, a qualidade e degradação ambiental dos corpos e recursos hídricos é comum em todo o território nacional (SANTOS *et al.*, 2018). Muitas cidades sofrem regulamente com a escassez de água por conta do manejo inadequado das bacias hidrográficas (PETTERINI, 2018).

Esse recurso natural tem grande valor econômico, social e estratégico, essencial para a existência da vida. Tal recurso é utilizado em diversas atividades econômicas e sociais. Por isso, é de extrema importância que o gerenciamento seja feito de forma eficaz, evitando-se desperdício e maximizando o uso (TREVISAN; ORSSATTO, 2017). Apesar disto, observa-se

que a degradação da qualidade ambiental se faz presente em diversos corpos hídricos (YOPASÁ-ARENAS; FOSTIER, 2018; CASTRO; SILVA; ARAÚJO, 2018, MELLO *et al.*, 2018).

O processo da poluição da natureza ocorre em três fases: (i) geração e emissão do poluente; (ii) transporte e difusão dos poluentes e (iii) contato do poluente com a biota, caracterizando assim a poluição ambiental (ARAUJO, 1997). As atividades, domésticas, industriais e agrícolas, afetam a qualidade da água, através dos poluentes específicos de cada tarefa, afetando a qualidade do meio de formas diferentes. A adição de um poluente no corpo hídrico seja este físico, químico ou biológico, altera as características do local (PEREIRA, 2004).

O lançamento de efluentes, de forma indiscriminada, sem tratamento ou com um tratamento inadequado nos corpos hídricos, é uma das causas da poluição hídrica. Esses efluentes ocasionam morte e doenças da biota marinha, devido ao índice de compostos químicos, físicos e biológicos que podem ser potencialmente carcinogênicos, mutagênicos, toxicológicos, bioacumulativos e biomagnificantes (JORDÃO; PESSOA, 2005; CRUZ *et al.*, 2013; BEZERRA *et al.*, 2017).

Em resposta à preocupação com a qualidade e a disponibilidade dos recursos naturais, com destaque para os recursos hídricos, surgiu uma pressão, a nível mundial, sobre as atividades potencialmente poluidoras. Esta se reverteu em medidas de precaução e de remediação quanto à geração de impactos ambientais causados pelo desenvolvimento de seus processos. Juntamente com essa exigência global, os órgãos ambientais criaram normativas de execução mais rígidas para proteger e garantir a perenidade dos recursos naturais (SOUZA JUNIOR *et al.*, 2017; VARELA, 2016; PICCOLI; KLIGERMAN; COHEN; 2017).

Além disso, é cada vez mais nítido o interesse de empreendimentos e organizações preservarem os recursos naturais disponíveis, minimizando seus impactos, principalmente com o objetivo de serem sustentáveis perante a sociedade e os seus clientes. Empreendimentos de várias naturezas (industrial, mineração, agrícola, etc.) causam impactos ambientais de diferentes tipos e escalas, sendo comumente identificada a geração de resíduos sólidos e líquidos, que quando não tratados e dispostos inadequadamente, podem contaminar o meio ambiente (CONDURÚ; PEREIRA, 2017; ATAIDE; BORJA, 2017).

Os resíduos líquidos gerados nos processos de tais empreendimento são denominados de efluentes, os quais podem possuir diferentes características quantitativas e qualitativas, de

acordo com o seu surgimento na fonte geradora, considerando cada processo e matéria prima utilizada (SOUZA, 2005). De acordo com o Art. 3º da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente nº 430 (CONAMA, 2011), “os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados nos corpos receptores após o devido tratamento [...]”. Sendo assim, existem distintas formas de tratamento que envolvem processos físicos, químicos e biológicos para a eliminação e a neutralização dos poluentes presentes nestes, antes de serem lançados nos corpos receptores.

2.2. USO DOS RECURSOS HÍDRICOS

O Brasil, em um contexto geral, é um país onde o sistema de esgotamento ainda é privilégio de poucos, passando ao largo das periferias onde vive a maioria da população. No imaginário da população, a manilha, a vala, o córrego e a fossa que transborda constituem o único sistema de esgoto conhecido, de modo que mais da metade dos domicílios urbanos em que a renda familiar varia entre meio a um salário-mínimo, não conta com nenhum serviço de saneamento. A falta deste serviço é um agravo num país em expansão econômica e populacional (RAUP *et al.*, 2017; CUNHA; BORJA, 2018), como é o caso do território brasileiro.

A necessidade de saneamento, principalmente no que se refere ao esgotamento sanitário, não se apresenta como um serviço de importância política, diferente da água, luz e pavimentação, os quais são questões sempre em vigor na medida em que podem ser visualizados pela grande massa populacional. Desta forma, dentre investimentos brasileiros, o saneamento não é um setor reconhecido. Com este déficit de saneamento, decorrente da falta de investimentos públicos, surgem então os serviços privados das ETE (Estações de Tratamento de Esgotos), como assinalam Raup *et al.* (2017).

Porém, a falta de sistemas de captação de esgoto deixa visíveis as consequências. Diversos são os casos de degradação dos recursos hídricos, não só no Brasil, como também em outros países (Bacia do Riachuelo – Argentina; rio Karachay – Rússia; Rio Yamuna e Ganges – Índia). Souza (2017) ressalta que a escassez hídrica não é causada pela falta do recurso propriamente dito, e sim pelo mau uso do mesmo. A baixa eficiência da gestão e seus aspectos preditivos, os aspectos sociais e econômico da população, a falta de infraestrutura e os impactos ambientais, são as reais causas da falta do recurso potável.

A região Agreste de Pernambuco é acometida por problemas históricos e geográficos de escassez hídrica. A precipitação média é aproximadamente de 661 mm.ano⁻¹, o que é agravado pela baixa implantação de sistemas de esgotamentos e a disposição incorreta dos efluentes (na sua maioria industriais), que por consequência poluem os corpos hídricos da região, e os quais têm como característica a intermitência (PEREIRA *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017).

Apesar da situação hídrica não ser favorável, o Agreste pernambucano possui o segundo maior polo têxteis do Brasil, sendo responsável por cerca de 900 milhões de peças ao ano, fato que coloca a nação brasileira como a quinta maior produtora têxtil do mundo (ESTADÃO, 2013; CNI, 2017). Segundo Castro (2015), é preciso uma média de 95 litros de água para produção e beneficiamento de uma única peça têxtil. Neste setor, cerca de 50.000 a 300.000 litro por dia são utilizados por empresas de pequeno porte. A quantidade de efluente gerada em áreas com situação de escassez hídrica não só justifica a obrigação de um bom tratamento e uma disposição correta, como também o reuso do mesmo, trazendo benefício econômico ao empreendimento, como também para toda população regional (PARENTE *et al.*, 2013).

Este polo, apesar da geração de renda que proporciona aos municípios, gera um impacto ambiental, despejando milhares de litros de efluentes sem ou mal tratados nos corpos hídricos. Juntamente com a urbanização, este fator dentre outros intensificam a falta de água.

A “Tragédia dos Comuns” (HARDIN, 1968) relaciona o livre arbítrio com a exploração dos recursos comuns de livre acesso. Sendo assim, esta é vista como uma situação onde um ser, de forma consciente, usa o livre arbítrio para captar e explorar um recurso que é de direito comum, de forma desregrada, desprezando a necessidade social e a preservação deste bem natural.

Hardin (1968) cita que o uso ou consumo de recursos comuns (os recursos hídricos em destaque) devem ser usados com parcimônia, a fim de não degradá-los e ou esgotá-los. Este autor ainda afirma que há a necessidade da criação de leis e de tecnologias que preservem e recuperem os recursos naturais.

A Constituição Federal, no Art. 225, estabelece que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-

se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Este princípio do Direito Ambiental, objetiva, de forma implícita, evitar a “Tragédia dos Comuns”. Em contrapartida Hardin (1968) e Ostrom (2009) mostram que, no passado, por muito tempo, as comunidades se auto geriam, evitando a “Tragédia dos Comuns”, com soluções alternativas. A eficiência da gestão dos recursos depende de regras locais que são aceitas e respeitadas por todo grupo, inclusive com participação de instituições de diversos portes (SIMÕES; MACEDO; BABO; 2011).

Apesar dos estudos empíricos de Ostrom (2009) mostrando a eficácia de sua teoria em pequenas regiões; a confiança e a honestidade da sociedade são fatores extremamente importantes e extremamente frágeis. Estes fatos remetem ao *Dilema do Prisioneiro* onde cabe a cada indivíduo manter sua honestidade e a confiar em outros indivíduos em prol de um bem comum, ou trair todos os outros tendo em vista o benefício próprio (EPSTEIN, 1995; ROCHA; 2008).

Apesar da legislação brasileira ser considerada uma das melhores do mundo, as normativas acabam sendo muito abrangentes, estando presentes por vezes só a nível estadual. Segundo o Senado Federal (2015), no livro “Coleção Ambiental: Água” foram computadas 12 Leis, 18 decretos relacionados com a temática água. Entre outras normativas, as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) se destacam por fornecer parâmetros de índices de qualidade de água, a nível nacional.

Na seção seguinte serão discutidas algumas destas leis e decretos.

2.3. LEGISLAÇÃO

Independente da área de atuação industrial, o conhecimento da legislação é vital para que não haja transgressões, ocasionando em penalidades ou até mesmo a interrupção da atividade. Quanto a temática tratamento de efluentes, há normatizações nas três esferas: nacional, estadual e municipal (MARQUES, 2017).

Quando se refere aos recursos hídricos, no Art. 22, inciso IV, da Constituição Federal de 1988, estabelece que compete privativamente à União legislar sobre a água. Assim foi criada a Lei nº 9.433/1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criando

através desta lei o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Este define critérios de outorga e direitos do uso da água.

A Lei nº 9.984/2000 instituiu a Agência Nacional de Águas (ANA), agência reguladora destinada a cumprir os objetivos e diretrizes do Gerenciamento do Sistema Nacional de Recursos Hídricos.

As regulamentações para o lançamento de efluentes em corpos hídricos e reuso da água são dispostas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em conjunto com o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

As Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 397/2008 dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Já a Resolução CONAMA nº 396/2008 estabelece o enquadramento das águas subterrâneas. A Resolução CONAMA nº 377/2006 normatiza sobre licenciamento ambiental simplificado de sistemas de esgotamento sanitário.

Por outro lado, a Resolução CNRH nº 91/2008 estabelece os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais e subterrâneos. Já a Resolução CNRH nº 54/2005 estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. Finalmente, a NBR 13969/1997 dispõe sobre projeto, construção e operação de tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos.

No tocante ao descarte de efluentes, foco deste trabalho, no âmbito estadual referente ao estado de Pernambuco, consta a norma técnica nº 2001/2003 da CPRH (Agência Estadual de Meio Ambiente). Esta normatiza sobre o controle da descarga de carga orgânica em efluentes líquidos industriais.

2.4. SETOR TÊXTIL

No ano de 2017 o Brasil subiu no ranking mundial dos produtores têxteis, sendo o quarto maior produtor desse ramo segundo o CNI (2017). Ainda no mercado mundial o Brasil também se destaca com as posições de segundo maior fornecedor de índigo e o terceiro produtor de malha (ABIT, 2013). Porém esse fato só foi possível devido à autossuficiência brasileira na produção de algodão (FUJITA; JORENTE, 2015).

Essa tipologia industrial traz um benefício econômico para o Brasil, gerando milhares de vagas de empregos e melhorando a arrecadação financeira do estado. São cerca de 1,5 milhões de vagas na forma direta e 8 milhões de forma indireta. São 32 mil empresas que participam desse mercado, que juntas representam 16,7% das vagas de emprego e 5,7% do faturamento das indústrias de transformação. O setor têxtil no ano de 2016 arrecadou R\$ 129 bilhões, segundo a ABIT (2016), indicando ser um importante setor industrial brasileiro.

O Polo Têxtil do Agreste inclui, prioritariamente, três municípios, os quais lideram este polo. Eles são responsáveis por 77% da produção, sendo eles com as respectivas participações: Santa Cruz do Capibaribe (38,1%), Caruaru (24,1%) e Toritama (14,8%) (PIMENTEL, 2017 *apud* PESSÔA, 2019).

Apesar do impacto positivo que este setor causa na economia brasileira, aspectos negativos podem ser observados, estando em destaque os impactos ambientais. O mercado mundial já faz exigências quanto às responsabilidades das empresas, sejam elas privadas ou estatais, para com a sociedade e meio ambiente (SAXENA *et al.*, 2017). Um dos principais impactos negativos desta indústria é o descarte corantes nos efluentes, os quais serão discutidos na seção posterior.

2.5. CORANTES TÊXTEIS

Corantes e pigmentos, são substâncias químicas, que podem ser obtidas natural ou artificialmente, sendo sua origem orgânica ou inorgânica. Eles possuem a capacidade de atribuir coloração a materiais diversos. Porém, eles não podem ser definidos assim sem a presença de aditivos, pois sem estes deverão ser chamados de colorantes. Uma distinção ainda pode ser feita entre corantes e pigmentos, que se diferenciam pela sua forma de aplicação (ZOLLINGER, 1991; SHORE 2002).

O tingimento é uma arte milenar, transmitida ao longo dos séculos, sendo sua aplicação motivo de geração e movimento econômico. Em particular, mas não único, a produção de indumentárias é um dos principais setores relacionados com a utilização de corantes, se destacando no setor industrial. A tecnologia da coloração, evoluiu ao ponto de atualmente existirem diversas etapas, que são escolhidas com base nas características do tecido a ser tingido (AMMAYAPPAN *et al.*, 2016; GUARATINI; ZANONI, 2000).

Para o setor tintureiro, na aplicação da coloração devem ser levados em conta alguns aspectos, entre eles: (i) a afinidade entre o corante e a fibra que irá ser tingida; (ii) a igualização da cor a ser obtida com a uniformidade no tecido; (iii) a solidez do produto tingidor quanto à sua resistência aos agentes desingidores; (iv) e a economia da concentração de corante necessária para obtenção da cor desejada no tecido (custo benefício) (FERREIRA, 2019; BELTRAME, 2000).

Existem mais de 100 mil corantes circulando no mercado com uma produção de 7×10^5 toneladas, dos quais cerca de 15% são descartados nos efluentes. Os corantes azo (-N=N-), correspondem de 60 a 70% dos corantes têxteis utilizados. Ressalta-se ainda que no caso destes corantes, de 15 a 50%, em massa, não são fixados nas fibras e são lançados nos corpos hídricos atingindo a microbiota do solo e a germinação e crescimento das plantas (LELLIS *et al.*, 2019; SINGH, 2017)

Apesar da oportunidade econômica gerada pela produção de corantes e todo mercado produtivo que os utilizam, os corantes possuem algumas propriedades que, se não controladas, trazem malefícios a saúde dos seres que entram em contato com estes compostos. Estes podem possuir toxicidade, carcinogenicidade e mutagenicidade sendo indispensável o correto tratamento dos efluentes gerados (RESENDE; LOPES, 2019).

2.6. EFLUENTE TÊXTIL

Uma indústria têxtil de pequeno porte chega a consumir de 150m^3 a 500m^3 de água por dia. O efluente gerado pode causar um elevado impacto ambiental, não só em virtude do elevado consumo de água, mas também dos efeitos das substâncias neles contidas (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

A presença de corantes nas correntes de efluentes têxteis, ainda que em pequenas concentrações, é indesejável, pois reduz a penetração de luz e potencialmente inibe a ocorrência de fotossíntese por microalgas e microrganismos presentes no corpo d'água. Além disso, alguns corantes podem se degradar produzindo produtos tóxicos e cancerígenos (HU *et al.*, 2017; ALINSAFI *et al.*, 2006).

O monitoramento contínuo da carga orgânica e da presença de compostos cancerígenos nos efluentes despejados nos corpos d'água constituem-se num grande desafio, em função da limitação de recursos e da falta de uma cultura orientada para a preservação

ambiental. Este fato é observado, sobretudo, em locais do Agreste pernambucano, como nos municípios de Toritama e Santa Cruz do Capibaribe, onde predominam as lavanderias de pequeno e médio portes. Essas empresas enquadram-se na tipologia de pequenas tingidoras industriais, que prestam serviços às diversas empresas de confecções de jeans espalhados pelos municípios, não dispendo de recursos financeiros e tecnológicos para a realização de um tratamento eficaz na remoção de corantes do efluente gerado em seus processos (NORONHA; TURCHI, 2007; SILVA; XAVIER, 2020).

O problema ambiental se agrava à medida que esses efluentes são lançados em corpos hídricos da região, responsáveis pelo abastecimento de água dos municípios citados e demais a jusante. Ressalta-se que a região do semiárido pernambucano passa por problemas crônicos de desabastecimento de água em virtude dos sucessivos períodos de seca. Juntamente com a descarga de efluentes têxteis nos corpos hídricos, a falta de infraestrutura sanitária básica na região, como rede de drenagem e distribuição precária de água potável, contribui para agravar o quadro (FARIAS, 2012).

2.7. PROCESSOS DE TRATAMENTO

O efluente gerado pelos processos das indústrias têxtil é composto por diversos produtos quimicamente complexos, incluindo corantes sintéticos, dispersantes, bases, ácidos, detergentes, sais, surfactantes, graxas e óleos, entre outros compostos (PELOSI *et al.*, 2014).

Os sistemas de tratamentos para efluentes, sejam eles domésticos ou industriais, dependem diretamente das características dos processos pelos quais foram gerados, do espaço para instalação do sistema de tratamento, da capacidade financeira do responsável pagador e da destinação final do efluente tratado, sendo improvável determinar uma metodologia universal para remoção dos poluentes, sendo assim, dever e responsabilidade do gerador poluidor, adequar o tratamento às especificidades dos seus resíduos (SLOKAR; LE MARECHAL, 1998; VON SPERLING, 2005). Essa adequação do processo tem como base algumas características do efluente, sendo citadas como principais: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos (SS) e cor. Esse trio de parâmetros é necessário para se comparar as técnicas de tratamento existente (DENBINSKI *et al.*, 2019).

O método de tratamento pode ser classificado como químico, físico ou biológico, sendo escolhido com base nas características do efluente. Porém, para o setor têxtil a escolha

de um único tratamento, não é o suficiente para atingir todos os requisitos legais (CONAMA 357/2005), tendo em vista que este tipo de efluente, possui uma alta variação de característica devido ao seu processo produtivo que modifica de acordo com a moda do vestuário e estações do ano (DONNET; PAPIRER, 1912; QUEIROGA; MELO; LAMARDO, 2019).

Segundo Kunz *et al.* (2002), o tratamento convencional utilizado para efluentes têxteis consiste em técnicas fundamentadas em coagulação, seguidas de separação por flotação ou sedimentação, removendo-se com elevada eficiência o material particulado. Os autores citam ainda o tratamento por adsorção, já que os anteriores mencionados não têm eficiência significativa para a remoção de cor e compostos dissolvidos.

Há diversos processos que podem ser aplicados visando a remoção dos corantes existentes no efluente têxtil, como adsorção, precipitação, degradação química, fotodegradação, biodegradação, coagulação química e eletrocoagulação (SLOKAR, LE MARECHAL 1998).

2.7.1. COAGULAÇÃO/ FLOCULAÇÃO

Este processo é bastante utilizado no setor industrial, devido à sua eficiência na remoção dos sólidos suspensos e no seu baixo custo de operação, servindo de forma eficaz como tratamento prévio. Para tanto é necessário levar em consideração fatores que influenciam o processo, tais como: (i) pH, (ii) concentração do coagulante, (iii) agitação e (iv) tempo de sedimentação (AHMAD *et al.*, 2007; KIM, 2016).

O processo de coagulação/ floculação se baseia na desestabilização dos coloides. Ao se adicionar o coagulante, ocorre a remoção de cargas eletrostáticas negativa das partículas, diminuindo seu potencial repulsivo e por consequência facilitando a formação de flocos e sua aglomeração. A floculação ocorre em seguida, onde a adição química de flocculantes incita a organização das partículas facilitando sua remoção. Esse tratamento, elimina sólidos suspensos e dissolvidos, cor e tendo uma remoção de DQO de 30 a 40% (HALLET, 1993; ZHANG, 2018). Peres e Abrahão (1998), salientam que este processo pode não possuir eficiência satisfatória dependendo do tipo do corante, como pode ser observado no Quadro 1

SILVA *et al.* (2019) afirmam que apesar do tratamento com coagulantes ter efeitos positivos, ainda é possível notar partículas coloidais e em suspensão mesmo após o tratamento, assim como o parâmetro cor.

Quadro 1 - Tipos de corantes e suas susceptibilidades e função do tingimento

Tipos de corante	Susceptibilidade a coagulação	Função de tingimento
Ácidos	Não	Nylon
Azoico	Sim	Diversos
Básico	Não	Lã e Acrílico
Diretos	Não	Algodão
Dispersos	Sim	Polyester
Mordentes e metais complexos	Não	Nylon e lã
Reativos	Não	Algodão
Tina e sulfurosos	Sim	Algodão

Fonte: adaptado de Stephenson *et al.* (1994); Peres & Abrahão (1998)

Sendo considerada como o setor industrial que mais polui no mundo, a indústria têxtil necessita de água em todas suas etapas, deixando nesse processo, o efluente carregado de aditivos químicos. Sendo assim um único tratamento torna-se insuficiente para tratar o resíduo deste setor (KANT, 2012).

2.7.2. ADSORÇÃO

A interação entre partículas líquidas e sólidas normalmente ocorre de maneira facilitada. A ocorrência desse fato é explicada pelo estado físico, já que as moléculas acabam por ter maior interação entre elas, devido à proximidade molecular. O mesmo, ocorre de forma similar com os gases, porém a interação entra as moléculas do sólido e do gás será menor devido ao distanciamento das partículas (DUARTE NETO *et al.*, 2014; ARVELOS, 2017)

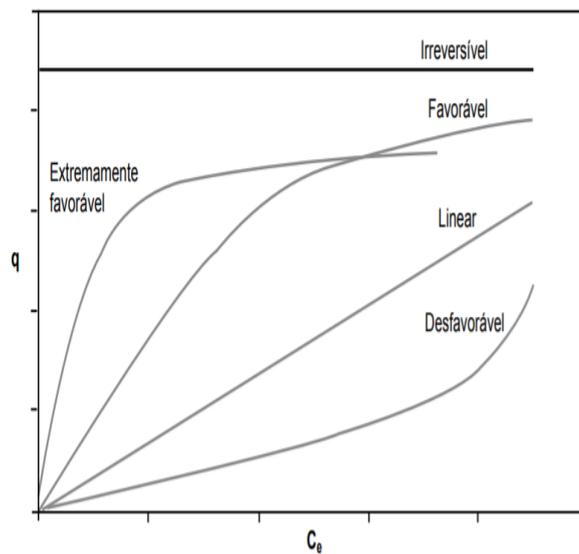
O processo de adsorção tem como base a retirada de elementos de uma fase fluida, onde o composto que está na solução fluida (adsorbato) é posto em contato com componentes sólidos (adsorvente) (RUTHVEN, 1984). Dentro desse processo, diferentes variáveis destacam-se, influenciando positiva ou negativamente a ação do adsorvente no adsorbato. Sendo assim, é necessário se avaliar, a natureza do adsorvente e do adsorbato, e as condições operacionais (COONEY, 1999). Segundo Nascimento *et al.* (2014), as variáveis principais dentro do processo de adsorção são: (i) área superficial; (ii) propriedades do adsorvente; (iii) propriedades do

adsorvato; (iv) temperatura e (v) pH. Assim os valores que são atribuídos a cada variável desta, influencia diretamente na velocidade e tempo do processo.

A interação que ocorre entre o adsorvente e o adsorbato, pode ocorrer por fisissorção (interação física entre adsorvente e adsorbato) ou quimissorção (interação química entre as partes). Apesar da diferenciação das definições, a coexistências no mesmo processo é válida, sendo definido no processo pela maior influência; embora, para muitos, essa distinção não seja bem definida (ADAMSON; GAST, 1997;).

Segundo Nascimento (2020), a obtenção das isotermas de adsorção é um processo simples, porém necessário para determinação do equilíbrio. Este processo envolve uma massa conhecida em contato com um soluto de concentração determinada. Após o processo de transferência de massa que ocorrerá, deverá ser criado um gráfico de q (quantidade máxima de soluto retida no adsorvente no equilíbrio) versus C_e (concentração de equilíbrio). De acordo com Moreira (2008), a Figura 1 mostra as formas de isotermas possíveis.

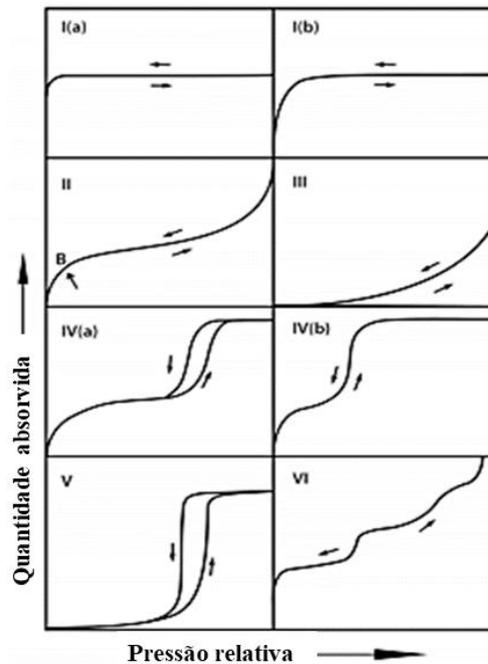
Figura 1 – Formas de Isotermas de Adsorção



Fonte: adaptado de Moreira (2008)

A técnica de microporosimetria através da fisissorção de gás nitrogênio, fornece como resultado isotermas de adsorção e dessorção, numa relação quantidade de gás adsorvida por pressão relativa (DABROWSKI, 2001; THOMMES *et al.*, 2015). A União Internacional de Química Pura Aplicada – IUPAC, apresenta a classificação para estas isotermas. A Figura 2 mostra a classificação atualizada, de 2015, para as isotermas de adsorção.

Figura 2 – Representação gráfica das isotermas de adsorção e dessorção gás/líquido



Fonte: adaptado de THOMMES *et al.* (2015)

O estudo da cinética se faz necessário para determinar o tempo em que o adsorvente e o adsorvato deverão ficar em contato até alcançar o equilíbrio. Entre todos os modelos existentes para modelagem do estudo de cinética, os de pseudo-primeira ordem e pseudo segunda ordem se destacam. Estes se enquadram como modelos cinéticos lineares (ROCHA *et al.*, 2012). O modelo de pseudo-primeira ordem apresenta a ideia de que cada sítio ativo do adsorvente só poderá ser atribuído a uma molécula do adsorvato e por consequência a taxa da adsorção será equivalente a quantidade de sítios ativos livres (HO, 2004; LOGNATHAN *et al.*, 2014).

Já o modelo de pseudo-segunda ordem, tem como base as interações químicas que ocorridas entre os adsorvato e adsorvente.

Diversas são as origens dos materiais utilizados como adsorventes, cada um com suas características específicas, entre eles se destaca o carvão.

2.7.3. CARVÃO ATIVADO

Os materiais utilizados para produção de carvão são diversificados, sendo o mesmo obtido por meio do processo de pirólise em baixas concentrações de oxigênio. Este material

após pronto pode ser levado à um novo processo, a ativação, que pode ser química ou física (RAHMAN *et al.*, 2017). Os adsorventes são sólidos, porosos e devem apresentar elevada área superficial (RUTHVEN, 1984).

O material que dará origem ao carvão, tem influência nas características estruturais do material, modificando suas características de um para outro. Assim são diversos os carvões ativados existentes, podendo ter maiores ou menores capacidades de remoção, em função do material de partida e dos tratamentos realizados (CLAUDINO; 2003).

Sem nenhuma dúvida, o carvão ativado é o adsorvente mais largamente empregado no mundo, não apenas pelas suas características físicas e químicas, grande área interna e alta porosidade, como pela sua disponibilidade. Existem na literatura diversas pesquisas sobre a produção e utilização do carvão ativado como adsorvente são numerosas (COSTA; SAWAGUCHI; ASSUNÇÃO JUNIOR, 2020; BANERJEE, *et al.*, 2013; GALÁN *et al.*, 2013).

Resíduos agrícolas e materiais de descarte têm surgido como possibilidades de obtenção do carvão de forma sustentável e de baixo impacto ambiental. Souza e Machado (2020) elencam vários resíduos agrícolas utilizados na obtenção de carvão. Já Ilnicka e colaboradores (2020) explanam sobre o uso de resíduos de madeira na obtenção de carvão ativado para remoção de corantes.

2.8. PROCESSOS ADSORTIVOS COM CARVÃO DE RESÍDUOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Como todo efluente, o seu tratamento está relacionado com sua origem, sendo importante avaliar qual o seu processo de geração. Para o setor têxtil, esse processo é modificado periodicamente, conforme a moda, o tempo festivo, a região de destinação das peças e a cultura. Esses fatores influenciam diretamente na tipologia do corante utilizado, nos químicos que auxiliarão no beneficiamento da peça e no tipo de tecido que constituirá a roupa. Ainda, junto a essa variedade de metodologia para fabricação, o uso excessivo de reagentes químicos e corantes, acaba por gerar um efluente com uma alta variedade dificultando assim o tratamento.

Um das opções para a composição de uma ETE para este tipo de efluente é uso de adsorventes. O processo adsortivo entra como tratamento para a finalização, antes do descarte ou reúso da água. Hui e Zaini (2020) estudaram a remoção do corante malaquita verde

utilizando carvão ativado originado de serragem e lodo têxtil, tendo atingido uma capacidade de adsorção de 565 mg.g^{-1} . Já Du *et al.* (2020) produziram carvão a partir de madeira de safena, obtendo um produto com área superficial de $1355,41 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ e volume de poros de $0,710 \text{ cm}^3.\text{g}^{-1}$. O carvão foi então utilizado para a remoção de corantes têxteis, alcançando elevadas eficiências de remoção.

Para o incremento da capacidade de alguns carvões, faz-se necessário realizar um tratamento térmico ou químico. Igwegbe *et al.* (2020) utilizaram sementes de *Dacryodes edulis* (árvore típica da África) para produzir carvão ativado. O mesmo foi previamente ativado por ácido fosfórico para ser utilizado na adsorção de corantes têxteis vermelho Congo e Vat amarelo, obtendo eficiências de remoção acima de 99%. Já Peláez-Cid *et al.* (2020) utilizaram sementes carvão ativado de semente de sapote preto para a remoção de corantes e metais em solução. As capacidades de adsorção para os corantes catiônicos variaram de 58 a $59,8 \text{ mg.g}^{-1}$, valores mais elevados em comparação com os corantes aniônicos, cujas capacidades variaram de 10,0 a $58,8 \text{ mg.g}^{-1}$.

A dificuldade no processo adsortivo para efluente têxtil está exatamente na remoção dos diversos poluentes ali existentes. Cada adsorvente terá afinidade com determinados poluentes e aversão a outros. Sendo assim a utilização de um material (adsorvente) para o tratamento de dois adsorbatos (efluentes), cujo o processo para fabricação das peças foi o mesmo com alteração única e exclusivamente do corante utilizado, poderá ter resultados completamente oposto (altas ou baixas eficiências/capacidades).

3. METODOLOGIA

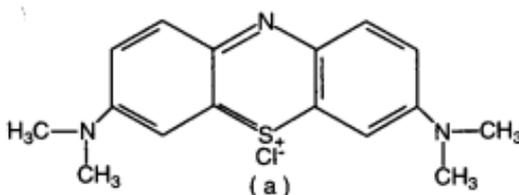
Neste trabalho foi inicialmente utilizado um corante têxtil para a seleção do carvão e definição de parâmetros de trabalho, para em seguida ser estudado o processo com efluente real. Estes materiais e os métodos utilizados na sua caracterização, bem como o planejamento e os procedimentos empregados nos estudos cinéticos e de toxicidade, estão apresentados nesta seção.

3.1. CORANTE AZUL DE METILENO

Os estudos iniciais para otimização dos parâmetros de adsorção e seleção do carvão foram realizados com o corante sintético Azul de metileno (Color index 52015) (Figura 25 até Figura 29). A utilização desse corante para os ensaios iniciais é recomendada por ser considerado um composto modelo. Este corante é do tipo catiônico, e de difícil degradação por exposição à luz e água. O Azul de metileno, apesar de não ser excessivamente tóxico, a exposição crônica a essa pigmentação pode causar desde taquicardia à necrose do tecido adiposo exposto (GHOSH; BHATTACHARYYA, 2002; AYGUN *et al.*, 2003; KARACA *et al.*, 2004; SENTHILKUMAAR *et al.*, 2005; FRANCA *et al.*, 2009).

A Figura 3 mostra a estrutura molecular do Azul de metileno, cuja fórmula química é $C_{16}H_{18}N_3S^+Cl^-$ e sua forma hidratada é $C_{16}H_{18}N_3S^+Cl^- \cdot 3H_2O$.

Figura 3 - Estrutura química do Azul de metileno



Fonte: LONGHINOTTI *et al.*, 1996

3.2. COLETA DO EFLUENTE

O efluente têxtil utilizado foi proveniente da lavanderia Nossa Senhora do Carmo, localizada no município de Caruaru- PE. Este efluente é oriundo de um processo de tinturaria,

beneficiamento e lavagem de peças de roupa. A lavanderia utiliza cerca de 60 m³ a 180 m³ de água por dia, sendo uma média de 15 L.Kg⁻¹ de peça, variando dependendo da malha a ser beneficiada, do tipo de beneficiamento que as peças irão receber e da coloração do tingimento. O tratamento do efluente gerado é composto por: (i) Gradeamento; (ii) Coagulação / Floculação / Decantação; (iii) Leito de secagem; (iv) Filtro de areia; e (v) destinação final/reaproveitamento.

As amostras foram coletadas e identificadas, utilizando-se recipientes plásticos de 10 L, previamente lavados e higienizados, para evitar contaminação das amostras, e identificados. Foi coletada amostra (o efluente bruto) em um único ponto da lavanderia, sendo feita essa coleta antes do gradeamento e após a saída do beneficiamento das peças.

Após a coleta, as amostras foram armazenadas em caixa térmica e mantidas a 5± 1 °C, e posteriormente levadas ao laboratório para se realizarem as análises físico-químicas de caracterização, bem como os ensaios de adsorção.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente foi caracterizado no Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente – LIMA, do Departamento de Engenharia Química da UFPE.

Os métodos para caracterização do efluentes da lavanderia, foram do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (BAIRD *et al.*, 2017), sendo todos os parâmetros analisados em duplicata.

Foram avaliados os seguintes parâmetros físico-químicos: pH; Cor; Condutividade; Turbidez, Sólidos Totais, DQO, DBO, cujos métodos estão detalhados no Quadro 2.

Quadro 2 - Parâmetros e métodos das análises de caracterização do efluente

Parâmetros	Métodos
Demanda Bioquímica de Oxigênio	5210B Teste DBO
Demanda Química de Oxigênio	5220C Método Titulométrico - Refluxo Fechado
Turbidez	2130 Método Nefelométrico
Potencial Hidrogeniônico (pH)	4500-H+B Método Potenciômetro
Cor	8025odo Cor

3.4. PRODUÇÃO DO CARVÃO

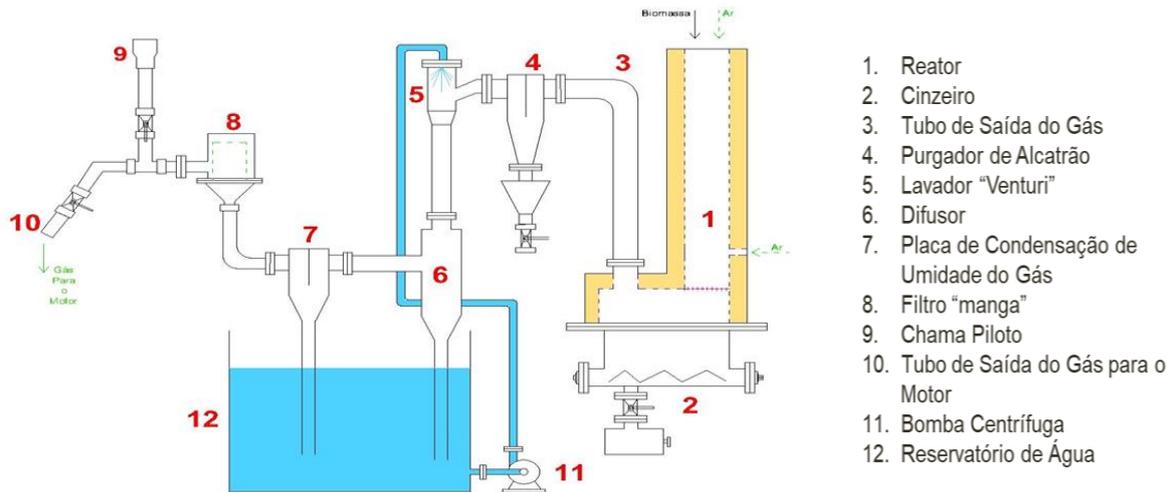
Para os ensaios de adsorção foram utilizados quatro carvões (que serão denominados CA, CB, CC, CD), dos quais dois (CA e CB) foram produzidos em gaseificadores de grande e pequeno porte (cujo quais serão denominados GA e GB respectivamente). O terceiro carvão (CC) passou pelos dois gaseificadores respectivamente e o quarto carvão (CD) teve origem comercial. Para o carvão comercial foi utilizado o carvão em pó da VETEC (Figura 30 até Figura 35). Os dois carvões de gaseificadores foram produzidos no laboratório de inovação da UFPB.

O gaseificador A (GA) (Figura 4 e Figura 5) que forneceu o carvão A (CA) é do tipo leito fixo, co-corrente, “topo aberto”, foi importado da Índia, do *Indian Institute of Science/Combustion Gas Propulsion Laboratory, IISc/CGPL*. Possui uma capacidade de geração de energia de 32kWh (BEZERRA, 2016).

Figura 4 - Gaseificador A instalado no Laboratório de Inovação da UFPB



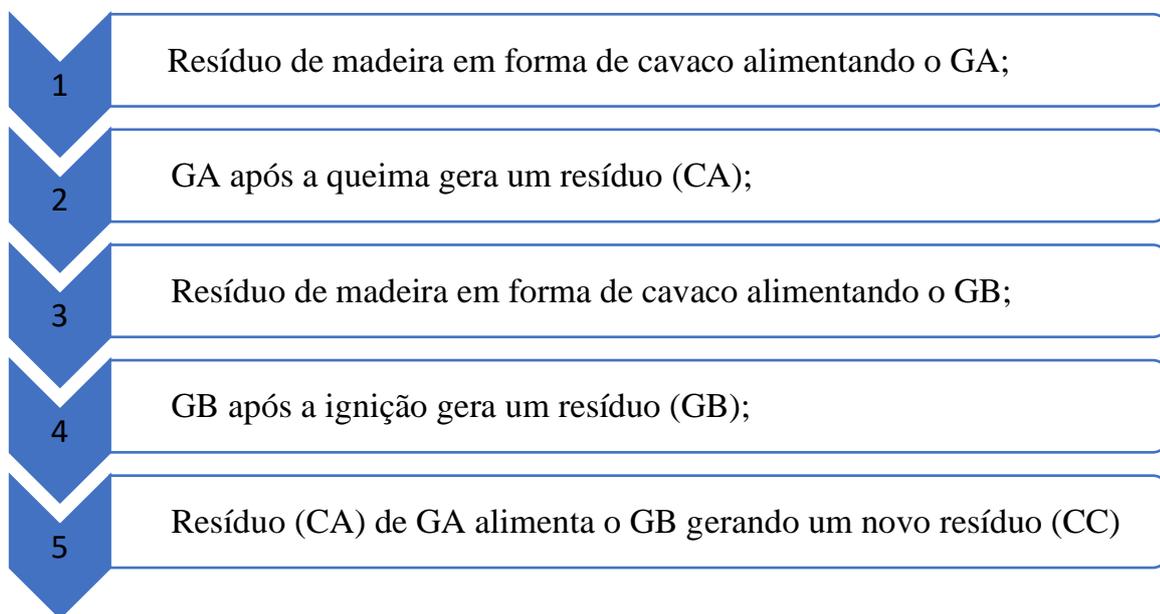
Figura 7 - Fluxograma gaseificador B



Fonte: SILVA (2017)

Para ignição do gaseificador A (GA) foi utilizada matéria prima oriunda de resíduos de madeira, em forma de cavaco, junto com carvão ecológico produzido no semiárido da Paraíba. Essa ignição gerou um resíduo que foi o carvão A (CA), que por sua vez foi utilizado para realizar a ignição do gaseificador B (GB), gerando um novo resíduo (o carvão B). A Figura 8 apresenta um fluxograma do processo de geração dos carvões (CA e CB) que foram utilizados na pesquisa.

Figura 8 - Esquemática do processo de geração dos Biocarvões



3.5. CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

O carvão foi caracterizado pelas seguintes análises: área de superfície por microporosimetria empregando as isoterma Brunauer, Emmett e Teller (BET), microscopia eletrônica de Varredura (MEV), análise termogravimétrica (TGA), análise termogravimétrica derivada (DTG), espectroscopia na região do infravermelho (FT-IR), Difração de Raios X (DRX) e Ponto de Carga Zero.

3.5.1. MICROPOROSIMETRIA (BET)

Para a caracterização estrutural dos materiais, foram obtidas as isotermas de adsorção e dessorção com nitrogênio a 77 K, utilizando-se um microporosímetro MICROMERITICS, modelo ASAP 2020. A área superficial foi determinada usando-se o método de multiponto BET – Brunauer, Emmett e Teller (1938), enquanto que o volume e o tamanho dos poros foram determinados pelo método BJH – Barret, Joyner e Hallendy (1951).

3.5.2. DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Para se avaliar a estrutura cristalina dos carvões obtidos, fez-se uso da difração de raios-X. Para tanto, foi utilizado o difratômetro BRUKER, modelo D2 PHASER, com radiação de CuK e tensão de 30 kV. Os difratogramas foram registrados à temperatura ambiente, com faixa de varredura de 5° a 85° em passos de 0,02°.min⁻¹, a partir de amostras em pó

3.5.3. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Para se obter informações sobre a superfície e morfologia dos adsorventes, foram feitas imagens por MEV, utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura Tecan, modelo Tescan VEGA 3, com tensão de 25 kV e corrente de 25 mA. As amostras foram depositadas sobre a superfície do suporte de alumínio com fita de carbono dupla face e submetidas à metalização com uma fina camada de ouro.

3.5.4. ANÁLISES TÉRMICAS

Para se estudar a composição e estabilidade do material frente à temperatura, foram obtidas as curvas de análise termogravimétrica (TGA) e análise térmica diferencial (DTG). Para

este fim, utilizou-se uma termobalança TGA Q50, utilizando-se uma rampa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹, até 900°C com vazão de nitrogênio de 25 mL.min⁻¹.

3.5.5. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO

Afim de se obterem informações sobre os grupos funcionais dos adsorventes, de modo a embasar e justificar os resultados obtidos, foi realizada a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR), com o uso de um equipamento SHIMADZU, modelo IRPRESTIGE-21. Para a realização das análises realizadas na faixa espectral de 4000 a 400 cm⁻¹, foram utilizadas como suporte para as amostras pastilhas de KBr.

3.5.6. DETERMINAÇÃO DO pH DO PONTO DE CARGA ZERO

Para se avaliar o tipo de carga na superfície do material, o qual facilita a remoção dos contaminantes carregados positivamente ou negativamente, foram realizados os ensaios de ponto de carga zero seguindo-se metodologia adaptada de Mahmood *et al.* (2011). Neste procedimento, 0,1 g do adsorvente é dispersado em 50 mL de água destilada, variando-se os valores de pH inicial (2,3,5,6,7,8,9,10, 11 e 12). O valor inicial do pH foi ajustado utilizando-se soluções de ácido clorídrico 0,1 mol.L⁻¹ e hidróxido de sódio 0,1 mol.L⁻¹. As soluções permaneceram com agitação intermitente de 200 rpm à uma temperatura de 30 °C durante 24 horas sob agitação. Ao final desse período, as amostras foram filtradas e foi medido o pH final de cada filtrado. A partir dos valores, foi possível obter o gráfico de $\Delta\text{pH} = \text{pH inicial} - \text{pH final}$ versus pH inicial e o ponto de intersecção corresponde ao potencial de carga zero.

3.6. ESTUDO DE MASSA

Inicialmente para se definir a massa adequada foi fixado um volume de 25mL da solução do corante Azul de metileno, com concentração de 100mg.L⁻¹, uma rotação de 200 rpm e um tempo de 120 min. A massa foi variada de 0,01g, 0,02g, 0,04g, 0,05g, 0,07g, e 0,09g. Em seguida as amostras foram submetidas à agitação em mesa agitadora Quimis (modelo Q225M).

Após o término, as amostras foram filtradas e a concentração das soluções foi medida. A capacidade de adsorção (q) e a eficiência de remoção percentual (%Remoção) foram utilizadas para este estudo.

3.7. PLANEJAMENTO FATORIAL 2²

Após o estudo de massa foram executados três planejamentos fatoriais 2² (um para cada biocarvão), com o intuito de definir o melhor carvão ecológico a ser utilizado. As variáveis de entrada utilizadas foram a Rotação (RPM) e a granulometria (MESH), obtendo-se como variável resposta a eficiência de remoção (%), Equação 1.

$$\%_{Remoção} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \cdot 100 \quad (01)$$

na qual: % - porcentagem de remoção; C₀- concentração inicial (mg.L⁻¹), C_t - concentração no tempo t (mg.L⁻¹), m- massa (g), V- volume reacional (L).

A Tabela 1 mostra o planejamento, seu níveis -1, +1 e 0, valores das variáveis e sua respectiva variação. Este planejamento foi executado para o carvão A, B e C, em uma solução com a concentração de 200mg.L⁻¹.

Tabela 1 - Planejamento fatorial 2² para otimização do processo adsorptivo.

Níveis Variáveis	-1	0	+1
Rotação (RPM)	100	150	200
Granulometria (Mesh)	100	115	200

Para estes ensaios foi utilizado um volume da solução de 25mL com uma concentração de corante de 200 mg.L⁻¹. A massa foi definida de acordo com o estudo de massa e o tempo utilizado foi de 120 min, obtido a partir de estudo cinético preliminar.

3.8. CINÉTICA DE ADSORÇÃO

Para determinação do tempo de equilíbrio, foram preparadas soluções com corante Azul de metileno na concentração de 200 mg.L⁻¹. Após a preparação das soluções de azul de metileno, alíquotas de 50 mL das soluções foram colocadas em erlenmeyers de 125 mL, onde também foram acrescentados 0,04g do biocarvão.

Os erlenmeyers foram postos em uma mesa agitadora marca Quimis (modelo Q225M) sob agitação constante a 200 rpm e à temperatura ambiente (~25°C) e as amostras foram coletadas nos seguintes intervalos de tempo: 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 90 e 120 minutos.

Após decorridos cada tempo, as amostras foram filtradas em filtro Crhomafil Xtra PTFE-45/25. Estes filtros foram utilizados por Fraga *et al.* (2020), por não interferir no processo adsorativo.

Através da concentração de Azul de metileno (C_t) em diferentes tempos, foi realizado o cálculo da capacidade de adsorção (q_t), através da Equação 2, e a determinação do tempo necessário para a obtenção do equilíbrio.

$$q_t = \frac{C_0 - C_t}{m} V \quad (02)$$

na qual: q - capacidade de adsorção (mg.g^{-1}), C_0 - concentração inicial (mg.L^{-1}), C_t - concentração no tempo t (mg.L^{-1}), m - massa (g), V - volume reacional (L).

Estudos preliminares mostraram que este filtro não retém corante, não afetando a concentração após a filtração para separação do adsorvente da solução tratada.

Após a conclusão dos ensaios em laboratório, os dados foram modelados para pseudo primeira (equação 3) ordem e pseudo segunda ordem (equação 4).

$$q_t = q_{e1} [1 - e^{(-k_1 t)}] \quad (03)$$

$$q_t = \frac{k_2 q_{e2}^2 t}{1 + q_{e2} k_2 t} \quad (04)$$

Sendo, q_t : Quantidade de adsorbato adsorvida no tempo t (mg/g); q_{e1} : Capacidade de adsorção no equilíbrio de Pseudo-primeira ordem (mg/g); q_{e2} : Capacidade de adsorção no equilíbrio de Pseudo-segunda ordem (mg/g); k_1 : Constante da taxa de adsorção de Pseudo-primeira ordem (min^{-1}); k_2 : Constante da taxa de adsorção de Pseudo-segunda ordem ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$); t : Tempo (min).

3.9. ESTUDO DE EQUILÍBRIO

Para o estudo de equilíbrio, foram realizados ensaios cinéticos em diferentes concentrações iniciais e calculadas as capacidades de adsorção (q_t). Ressalta-se que as amostras foram colocadas sob constante agitação a 200 rpm e volume de 0,05L em uma mesa agitadora, conforme seção 3.5 (YANG *et al.*, 2011). Em seguida, o adsorvente foi separado da solução por filtração. As concentrações de Azul de metileno nas soluções, final e inicial, foram

determinadas com uso de um espectrofotômetro UV-visível. Foram utilizadas as concentrações de 5, 15, 25, 50, 75, 100, 200, 400 e 800 mg.L⁻¹.

A capacidade de adsorção, após atingido o equilíbrio foi calculada de acordo com a Equação 05.

$$q_e = \left(\frac{C_0 - C_e}{m} \right) V \quad (05)$$

na qual C₀ e C_e são as concentrações iniciais e de equilíbrio do corante (mg.L⁻¹), respectivamente; m é a massa de adsorvente (g) e V o volume da solução (L).

Os resultados obtidos nos ensaios de equilíbrio foram inicialmente ajustados para os modelos de isotermas de adsorção. Foi utilizado o aplicativo OriginPro 8 para a avaliação dos modelos, comparando-se os resultados obtidos experimentalmente com as curvas resultantes dos modelos apresentados das equações de Langmuir (equação 06), Freundlich (equação 07) e Langmuir-Freundlich (equação 08).

$$q_e = \frac{q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (06)$$

na qual: q_e - Concentração de equilíbrio do adsorvato na fase sólida (mg.g⁻¹); q_{máx} - Concentração máxima do adsorvato na fase sólida (mg.g⁻¹); K_L - Constante de equilíbrio de Langmuir (L.g⁻¹); C_e - Concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida (mg.L⁻¹).

$$q_e = k_f C_e^n \quad (07)$$

Sendo: q_e - Concentração de equilíbrio do adsorvato na fase sólida (mg.g⁻¹); K_F - Constante de equilíbrio de Freundlich (mg.g⁻¹)/(mg.L⁻¹)^{1/n}; C_e - Concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida (mg.L⁻¹); n - Constante que representa a heterogeneidade do adsorvente;

$$q_e = \frac{q_{\max} K_{LF} C_e^n}{1 + K_{LF} C_e^n} \quad (08)$$

Onde: q_e - Concentração de equilíbrio do adsorvato na fase sólida (mg.g⁻¹); q_{máx} - Concentração máxima do adsorvato na fase sólida (mg.g⁻¹); C_e - Concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida (mg.L⁻¹); K_{LF} - Constante de equilíbrio de adsorção; n - Fator de heterogeneidade do adsorvente

3.10. TOXICIDADE

O ensaio de Toxicidade foi realizado com o efluente bruto e após cada tratamento de adsorção, com a finalidade de avaliar se o tratamento gera compostos mais tóxicos do que o próprio efluente.

Assim foi seguido a metodologia adaptada de SILVA (2020), para o cálculo do Índice de Germinação % (*Germination Index - GI %*) como resposta para toxicidade.

Para isso são utilizadas as Equações 6 e 7.

$$RGI = \frac{RLS}{RLC} \quad (09)$$

$$\%GI = RGI \frac{G}{GSC} 100\% \quad (10)$$

nas quais: RGI – Índice de Crescimento Relativo; RLS – Comprimento da raiz da Amostra; RLC – Comprimento da raiz do Controle; GI – Índice de Germinação; G – Número de sementes germinadas e; GSC – Número de sementes germinadas no controle.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão inicialmente apresentados os resultados da caracterização dos adsorventes utilizados. Em seguida o planejamento experimental mostrará as melhores condições experimentais e qual o melhor carvão a ser utilizado. Definido o material e condições, serão exibidos os estudos cinéticos e de equilíbrio, assim como a avaliação global do processo e da toxicidade.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

Para a caracterização dos materiais buscou-se analisar não apenas aspectos físicos, mas também os químicos que irão interferir na eficiência do processo.

4.1.1. ANÁLISE MICROPOROSIMÉTRICA DOS ADSORVENTES

A análise microporosimétrica foi realizada com a finalidade de se determinar a área superficial BET, o volume e o diâmetro de poros para os três biocarvões. Os resultados destes parâmetros estão mostrados na Tabela 2

Tabela 2 - Resultados da análise microporosimétrica dos carvões estudados

Amostra	Área Superficial ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$)	Volume de poros ($\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$)	Diâmetro dos poros (Å)
Carvão A	403,7670	0,1338	26,8230
Carvão B	538,9019	0,1651	22,0650
Carvão C	506,7143	0,1351	25,5950

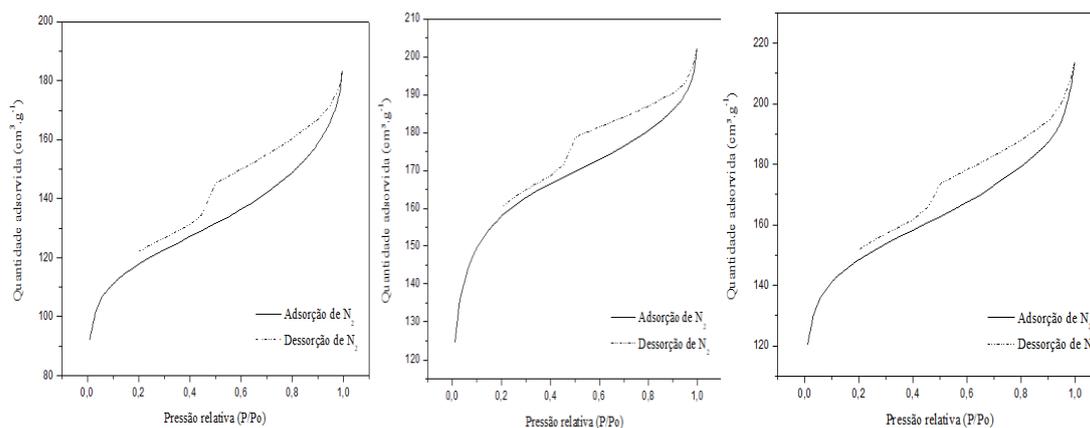
Os valores dos parâmetros (área superficial BET, do volume de poros e do diâmetro de poros) demonstrados na tabela 3, apresentam proximidade. A área superficial do carvão A apresentou variação de cerca de 20% quando comparada com as dos carvões B e C, podendo essa diferença estar relacionada com a temperatura do Gaseificador A, provocando a criação de novos poros quando comparados ao Gaseificador B.

KELM *et al.* (2019) observaram os resultados do diâmetro médio de poros para carvões e concluíram que se tratavam de estruturas mesoporosas.

Segundo Ramos *et al.* (2009) a ativação é um processo secundário, que ocorre após a carbonização. Desta forma os carvões produzidos não podem ser considerados ativados, assim quando observado o volume dos poros, é possível se observar a possibilidade de obstruções deles se compará-los com carvões ativados por metodologia química. O processo de ativação (química ou térmica) abre os poros ínvios, ou seja, aqueles que não foram obtidos em sua produção. Este processo possibilita o aumento do tamanho dos poros existentes e seus volumes, eliminando as impurezas presentes no material (ISLAM *et al.*, 2017). Porém o método produtivo dos carvões A e B demonstrou elevados parâmetros, sem a necessidade de ativação física ou química. Estes resultados podem ser atribuídos à sua temperatura de queima, que chega próximo aos 800 °C, e à quantidade de oxigênio inserido no gaseificador (RAMOS *et al.*, 2009).

A Figura 9 mostra as isotermas obtidas por meio de análise de microporosimetria.

Figura 9 - Isotermas de adsorção e dessorção dos carvões A, B e C, respectivamente

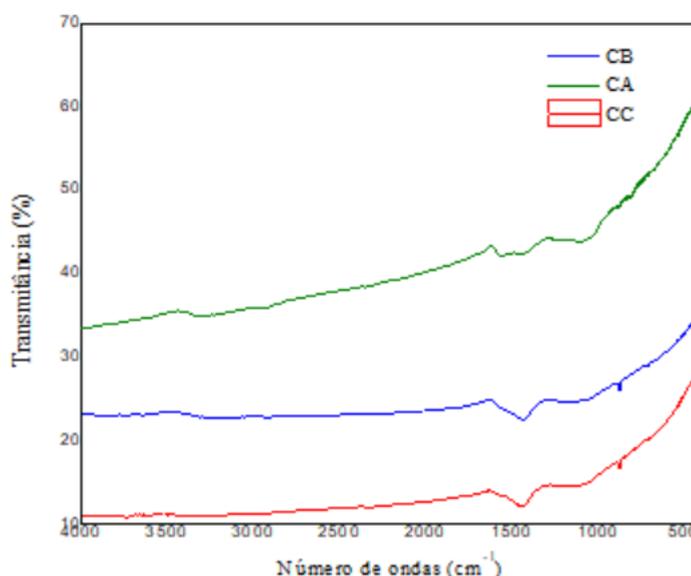


As isotermas se diferenciam minimamente quanto aos seus comportamentos. Já ao se confrontarem os resultados das isotermas dos carvões analisados, com as isotermas da Figura 2, é possível identificar semelhança com a isoterma do tipo IV. Sendo assim o material obtido por método de gaseificação é classificado como mesoporoso.

4.1.2. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER

As análises FTIR foram realizadas a fim de se obterem informações das estruturas químicas existentes nos três carvões analisados. Os espectros são mostrados na *Figura 10*

Figura 10 - Espectros FTIR dos carvões CA, CB e CC



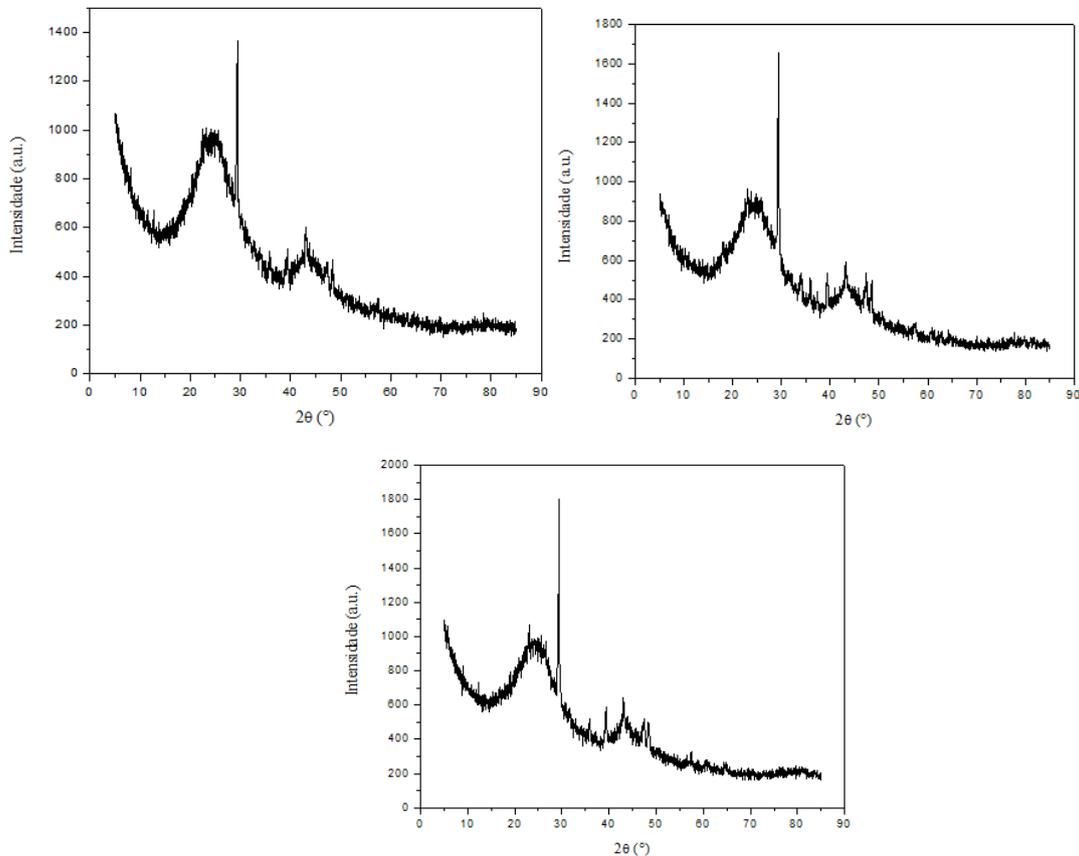
Os materiais CA e CB apresentaram seus picos de comprimento de onda por volta de 3500 cm^{-1} . Esse pico pode representar a presença de moléculas de água através do grupo OH. A presença de água na estrutura dos carvões, é justificada pela origem do material. Este, é oriundo de resíduo de madeira onde a presença de umidade varia de acordo com o acondicionamento do material. Já o CC que passa por duas queimas de forma consecutiva, não ocorre o pico dos primeiros materiais (CA e CB). Segundo Kelm *et al.* (2019) e Pessoa *et al.* (2019) os picos existentes do material CC, nos comprimentos de onda de 1440 e 1600 cm^{-1} , estão relacionados às ligações C dos Anéis Aromáticos. As presenças de grupos funcionais hidroxílico, carbonila, éteres e compostos aromáticos é uma evidência da estrutura lignocelulósica da madeira (NASCIMENTO, 2019).

4.1.3. DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Ao se observarem os diagramas (Figura 11) é possível se identificar o grau de ordem/desordem dos carvões quanto às suas estruturas. Essas análises ajudam a determinar a estrutura do material e o espaçamento interplanar, onde a radiação X é direcionada ao material

e o feixe emitido pode sofrer desvios (difração) obtendo-se como resposta, uma série de planos atômicos paralelos.

Figura 11 - Difratomogramas de Raios-X para as amostras de carvão A, B e C, respectivamente.

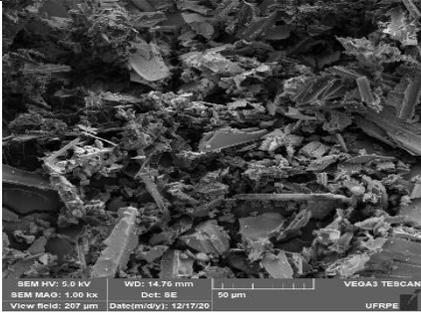
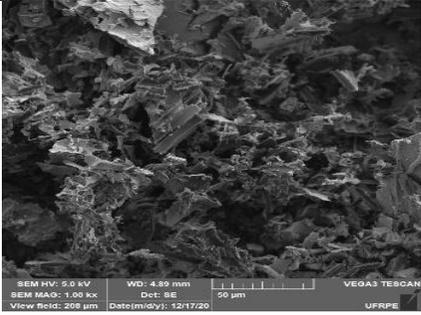
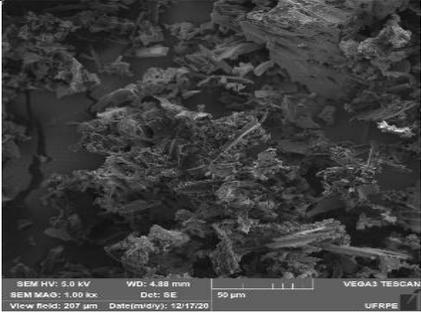
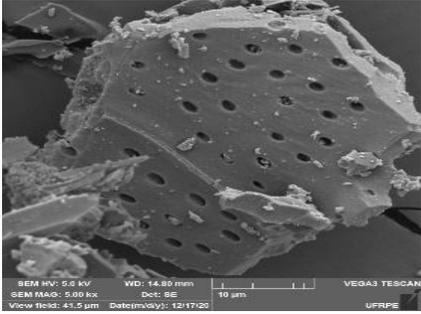
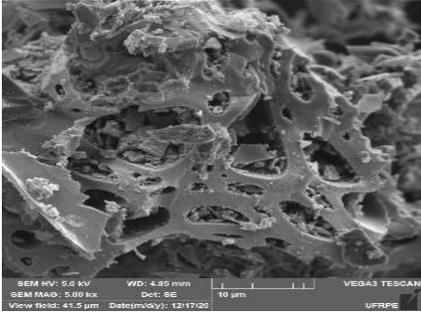
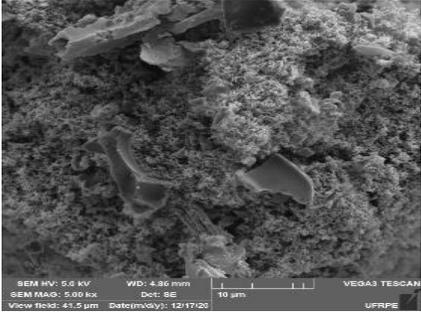
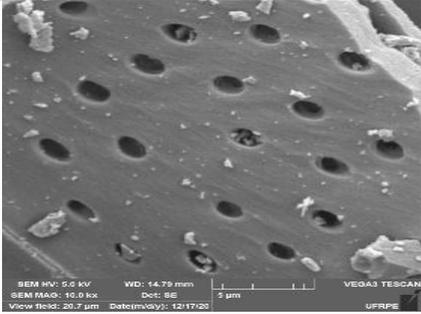
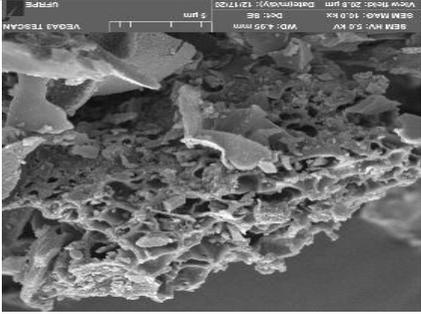
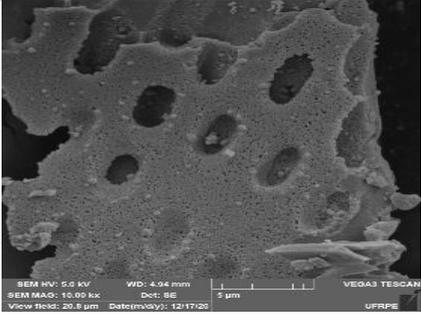


Para os três materiais Carvão A (CA), Carvão B (CB) Carvão C (CC) o pico característico é apresentado em aproximadamente $2\theta = 30^\circ$. Esses picos não são típicos de materiais com estrutura cristalina, sendo classificados como materiais predominantemente sólidos amorfos. A estrutura dos três materiais não apresenta diferença significativa quando comparados entre si (CALLISTER, 2007; MUNIANDY *et al.* 2014).

4.1.4. MICROSCOPIA ELETRONICA DE VARREDURA – MEV

O Quadro 3 mostra as imagens de microscopia eletrônica de varredura dos carvões CA, CB e CC.

Quadro 3 - Microscopia eletrônica de varredura dos materiais CA, CB e CC em diferentes graus de ampliação

	CA	CB	CC
1kx			
5kx			
10kx			

Para todos os materiais é possível a observação de poros em sua superfície. A distribuição dos poros do primeiro Material (CA) apresenta uma uniformidade nos grânulos o que não é possível se perceber nos outros carvões.

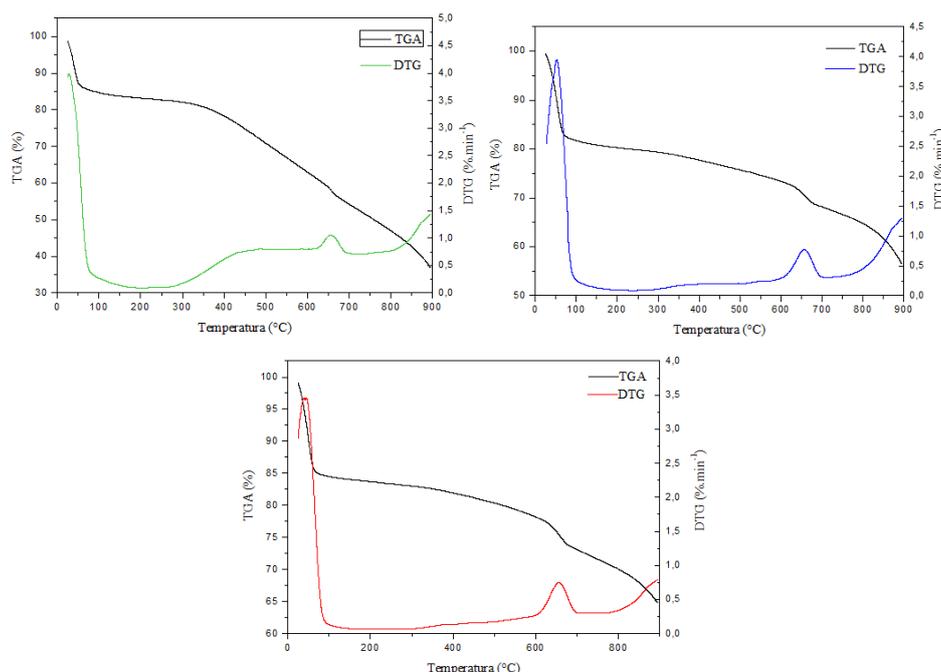
O segundo adsorvente (CB) é o que apresenta maior não uniformidade, com poros de tamanhos variados. Para o material CC, é possível se visualizar obstrução dos poros. Essa obstrução, é possivelmente por conta da quantidade de cinzas (visível na imagem 5kx) que há, devido à queima dupla para criação do material. Ainda observa-se a demarcação de poros fechados, que podem ser abertos por ativação química.

Segundo Webb e Orr (1997), os poros com diâmetro $< 20 \text{ \AA}$ são classificados como microporos e os com diâmetro $> 500 \text{ \AA}$ são classificados macroporos. Entre esses dois valores estão os mesoporos. Os materiais CA, CB e CC apresentam tamanho médio dos poros entre 22 a 27 \AA . Sendo assim são classificados como mesoporos.

4.1.5. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

A Figura 12 apresenta os gráficos de TGA por DTG, com os quais se avalia a estabilidade térmica do material.

Figura 12 - Curva de TGA e DTG para os carvões A, B e C.



Os materiais apresentam comportamento similar, sendo possível se observar que para todos os três materiais, a primeira perda de massa se passa entre 30 a 100°C, sendo essa perda relacionada à saída de umidade do material. Nos trabalhos de Nascimento (2019) e Campos (2018) essa perda também ocorre, sendo relacionada ao mesmo motivo

(perda de umidade), embora no trabalho de Campos (2018), ele afirme que essa perda ocorre até 250 °C, corroborando com o trabalho de Monteiro *et al.* (2017) e no presente trabalho. No trabalho apresentado por Nascimento (2019) essa perda ocorre quando não são ultrapassados os 100°C.

É possível ainda se observar um leve decaimento entre as temperaturas de 100 a 300 °C, que pode estar relacionado ao material orgânico volátil presente no material (KELM, *et al.*, 2019; PESSÔA *et al.*, 2019; NASCIMENTO, 2019). Maaloul *et al.* (2017) afirmam que essa perda é devido à degradação de compostos mais estáveis presentes no material.

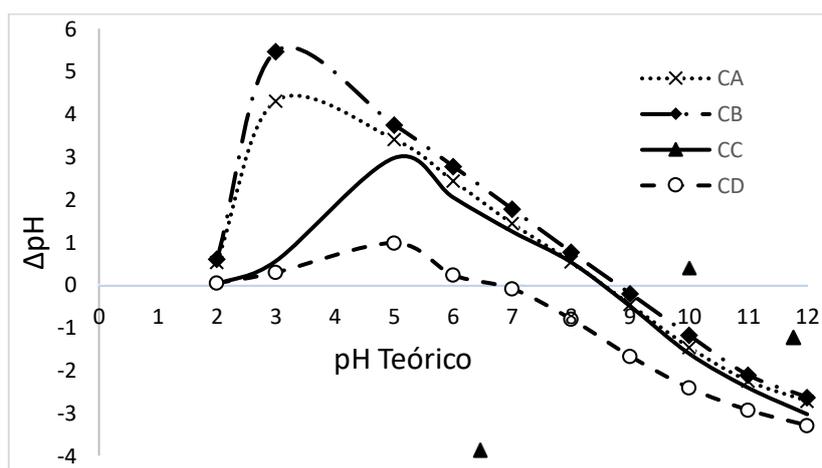
4.1.6. PONTO DE CARGA ZERO

A Figura 13 mostra o PCZ para cada carvão utilizado. Para os materiais obtidos através do gaseificador, o pH onde as cargas se encontram neutras é em torno de 8,5 a 8,9. Essa faixa próxima, do pH, mostra que há uniformidade podendo a mesma ser devida ao método produtivo, já quem não há uniformidade na origem da matéria prima (resíduo de madeira) do carvão. Já para o carvão comercial (CD), este valor foi próximo a 7,0.

DEOLIN *et al.* (2013) citam que nos valores de pH menores que o PCZ a superfície favorece a interação com espécies aniônicas pois o material fica com carga positiva. Para valores maiores que o PCZ, ocorre o contrário, onde o material tem sua superfície carregada de forma negativa, favorecendo às interações com as espécies catiônicas.

O corante (azul de metileno) utilizado nos ensaios, é classificado como catiônico, significando que para uma melhor eficiência de remoção o pH da solução deverá estar acima do PCZ (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Figura 13 - Ponto de carga zero dos adsorventes



4.2. ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes aos ensaios adsorptivos, iniciando-se com os estudos de massa e um planejamento, para a definição do melhor carvão, até os estudos cinéticos e de equilíbrio.

4.2.1. ESTUDO DE MASSA

O estudo de massa para todos os carvões evidenciou resultados similares, todos próximos ao valor de 0,04 g uniformizando-se a massa a ser utilizada. As figuras Figura

14, Figura 15 e 16 mostram o gráfico de % eficiência de remoção e q , onde a interseção entre as duas linhas é o ponto ótimo de massa (ROCHA, 2012).

Figura 14 - Gráfico de estudo de massa para o material CA

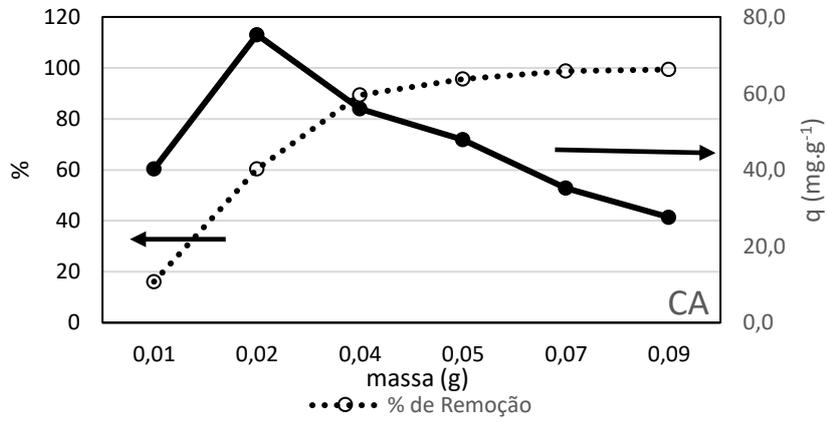


Figura 15 - Gráfico de estudo de massa para o material CB

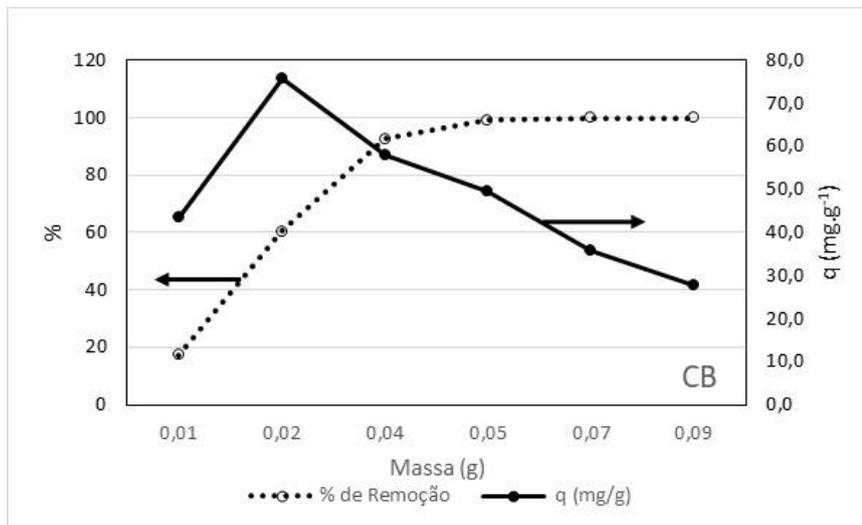
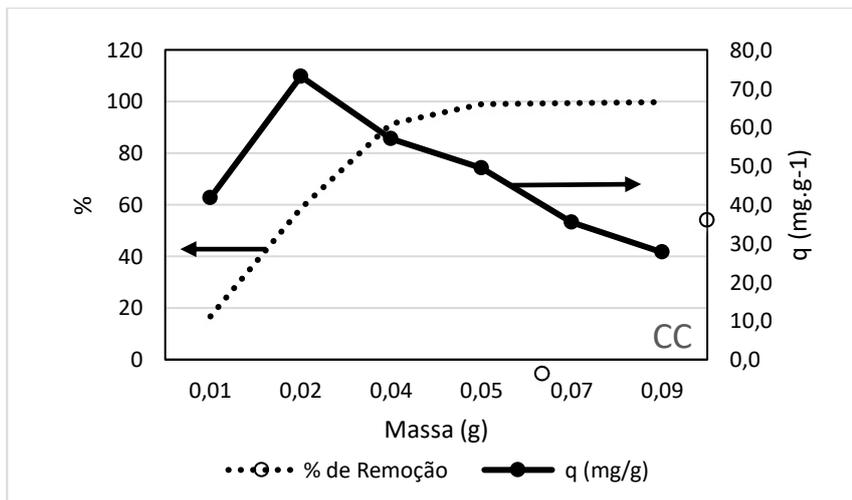


Figura 16 - Gráfico de estudo de massa para o material CC



A Tabela 3 mostra os valores de eficiência de remoção e q para o ponto ótimo de massa (0,04g).

Tabela 3 - Valores de % de remoção e capacidade adsorptiva para ponto ótimo de massa.

	% de remoção	q (mg.g ⁻¹)
CA	89,46	55,91
CB	94,62	59,14
CC	91,30	57,06

Pessoa (2019) obteve resultado próximo (0,03g) de massa, utilizando um biocarvão ativado quimicamente, obtido em gaseificador a partir do endocarpo de açaí (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores de % de remoção e capacidade adsorptiva para biocarvão de endocarpo de açaí oriundo de gaseificador

Massa (g)	Remoção (%)	q (mg.g ⁻¹)
0,03	92,58	46,29
0,05	91,80	27,54

Fonte: Adaptado de: PESSOA (2019).

O carvão de açaí possui faixa de remoção semelhante à dos carvões de resíduo de madeira, porém sua capacidade adsorptiva é cerca de 20 a 52% menor que o carvão de resíduo de madeira.

4.2.2. PLANEJAMENTO 2²

Para a determinação da melhor condição e seleção do melhor carvão, foi proposto um planejamento fatorial 2², conforme apresentado na Tabela 1. Todos os experimentos foram realizados em triplicata, obtendo-se os resultados apresentados nas Tabela 5 e Tabela 6, para a eficiência de remoção e capacidade de adsorção, respectivamente. Estes experimentos foram realizados com uma concentração inicial do corante de 200 mg.L⁻¹ e volume de 25 mL.

Tabela 5 - Resultados de eficiência média de remoção do primeiro planejamento fatorial 2² e seus respectivos desvios padrões

Experimentos	CA		CB		CC	
	Média %	σ	Média %	σ	Média %	σ
1	99,84	0,08	99,93	0,02	99,97	0,0035
2	99,98	0,01	99,99	0,01	99,94	0,0314
3	96,54	2,19	99,91	0,03	98,57	1,4020
4	99,66	0,05	99,95	0,01	99,97	0,0054
5	99,90	0,03	99,94	0,02	99,86	0,1424

Tabela 6 - Resultados de capacidade adsorptiva média do primeiro planejamento fatorial 2² e seus respectivos desvios padrões

Experimentos	CA		CB		CC	
	q médio	σ	q médio	σ	q médio	σ
1	147,69	0,12	147,82	0,023	147,88	0,005
2	149,62	0,01	149,64	0,014	149,57	0,047
3	144,48	3,27	149,52	0,043	147,52	2,098
4	147,40	0,08	147,84	0,008	147,88	0,008
5	145,32	0,04	145,37	0,032	145,26	0,207

Avaliando-se os resultados, percebe-se similaridade nos valores obtidos. A eficiência de remoção se aproxima de 100% e por este motivo, não fica perceptível a diferença entre os carvões. Assim foi proposto um novo planejamento com os mesmos parâmetros do anterior, modificando-se apenas o volume, que passou de 25 para 50 mL. Este parâmetro foi duplicado, aumentando por consequência a quantidade moléculas de corante a serem adsorvidas. Os resultados do novo planejamento encontram-se nas Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 7 - Resultados do segundo planejamento fatorial 2² e seus respectivos desvios padrões

Experimentos	CA		CB		CC	
	Média %	σ	Média %	σ	Média %	σ
1	75,51	0,07	75,33	0,06	74,55	0,02

2	74,34	0,17	74,82	0,16	74,85	0,04
3	76,28	0,12	75,50	0,03	75,06	0,02
4	75,58	0,09	75,00	0,02	74,20	0,13
5	74,93	0,10	75,08	0,04	75,03	0,04

Tabela 8 - Resultados de capacidade adsorptiva do segundo planejamento fatorial 2² e seus respectivos desvios padrões

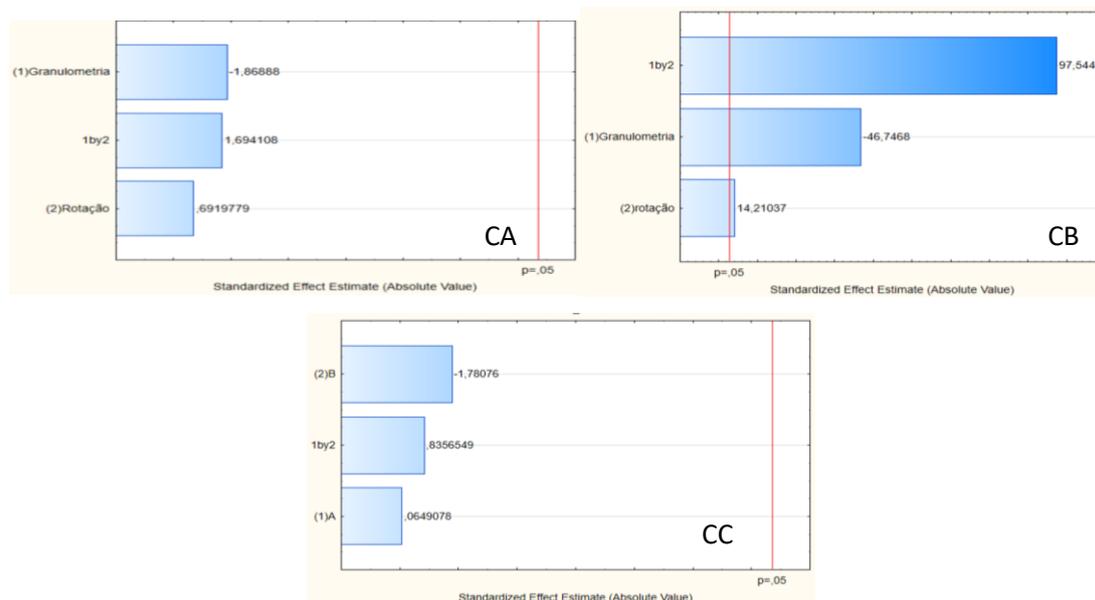
Experimentos	CA		CB		CC	
	q médio	σ	q médio		q médio	σ
1	192,29	0,17	191,83	0,14	189,84	0,05
2	189,31	0,43	190,54	0,40	190,62	0,11
3	194,25	0,31	192,27	0,08	191,14	0,06
4	192,48	0,24	190,98	0,05	188,96	0,33
5	190,80	0,25	191,20	0,09	191,07	0,10

Com o aumento da massa de corante no segundo planejamento, houve uma redução de cerca de 24% de remoção e um aumento de 35% na capacidade de adsorção.

Devido à alta presença de cinzas do adsorvente CC, este foi excluído das análises posteriores, tendo em vista que as cinzas presentes no material (CC) dificultam a aplicação em batelada (separação posterior) e em coluna (arrasto), assim como traz problemas analíticos, pela inserção de turbidez.

A Figura 17 mostra o gráfico de Pareto plotado a partir do segundo planejamento fatorial, tendo como resposta a capacidade de adsorção.

Figura 17 - Gráfico de Pareto para o planejamento dos adsorventes CA, CB e CC



Observa-se que apenas o material CB apresentou fatores que influenciam significativamente a capacidade de adsorção, sendo a interação entre os dois fatores o que influencia de forma mais significativa. Já a rotação, apesar de significativa para o CB, tem uma baixa influência no processo, podendo sugerir que não há efeitos de limitação de transferência de massa

Avaliando-se os efeitos no gráfico quadrado (Figura 18), pode-se observar que o aumento da rotação do nível -1 para o +1 resulta na redução da capacidade de adsorção do carvão B de 192,32 para 191,04 mg.g^{-1} . Assim, como o aumento da granulometria do nível -1 para o +1, também desfavoreceu a capacidade adsorptiva do Carvão B, reduzindo para 190,10 mg.g^{-1} . O mesmo pode ser observado no gráfico de superfície de resposta (Figura 19), no qual também observa-se o feito conjugado dos dois parâmetros no aumento da capacidade. Todavia estas diferenças são muito baixas, estando próximas do erro experimental.

Figura 18 - Gráfico quadrado do adsorvente CB

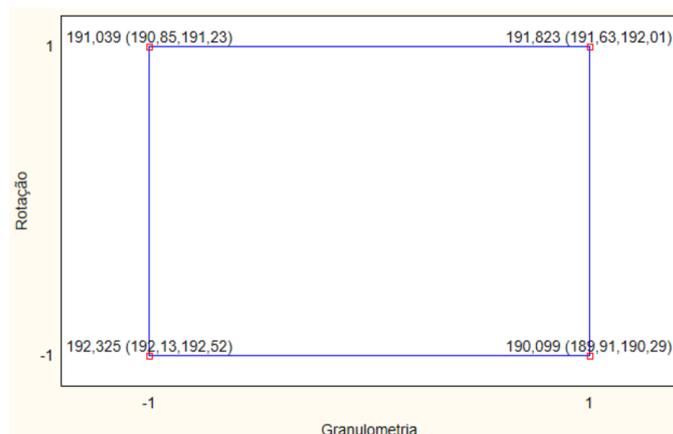
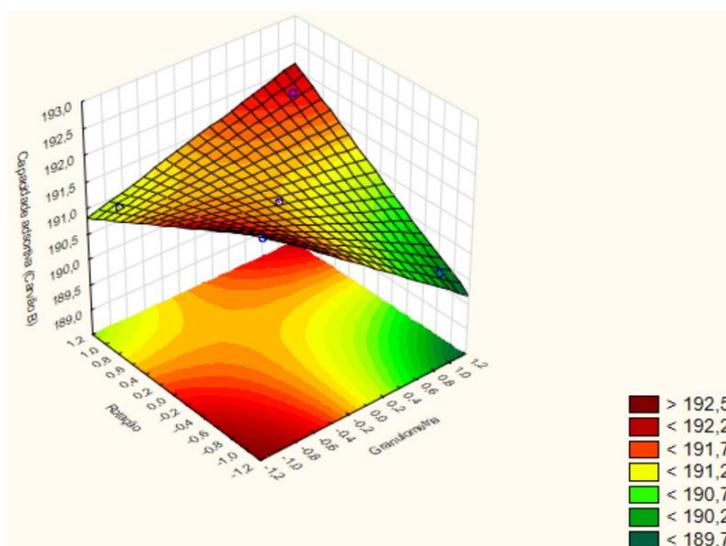


Figura 19 - Gráfico de superfície de resposta do material CB



4.2.3. ESTUDO CINÉTICO DE ADSORÇÃO

Em continuidade, foi analisada a cinética dos Materiais CA (Figura 20), CB (Figura 21) e CD (Figura 22). Percebe-se que para todas as cinéticas a reação ocorre de maneira bastante rápida, tendo bons resultados logo nos primeiros 10 minutos. O restante da reação tende a prosseguir até os 60 minutos para se estabilizar. O tempo do equilíbrio foi definido como 90 min, colocando assim uma margem de segurança de 30 min.

Figura 20 - Modelagem de Pseudo Primeira ordem (PFO) e Pseudo segunda ordem (PSO) respectivamente para o CA

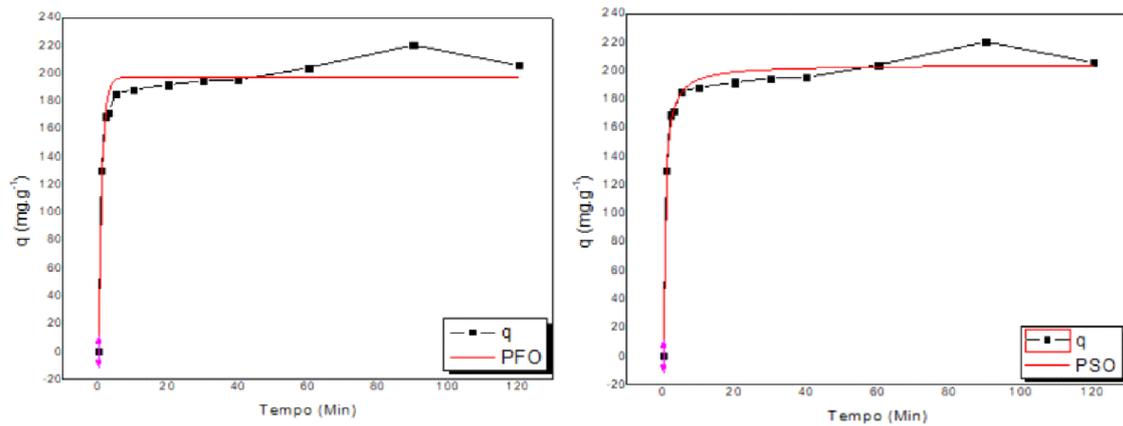


Figura 21 - Modelagem de Pseudo Primeira ordem (PFO) e Pseudo segunda ordem (PSO) respectivamente para o CB

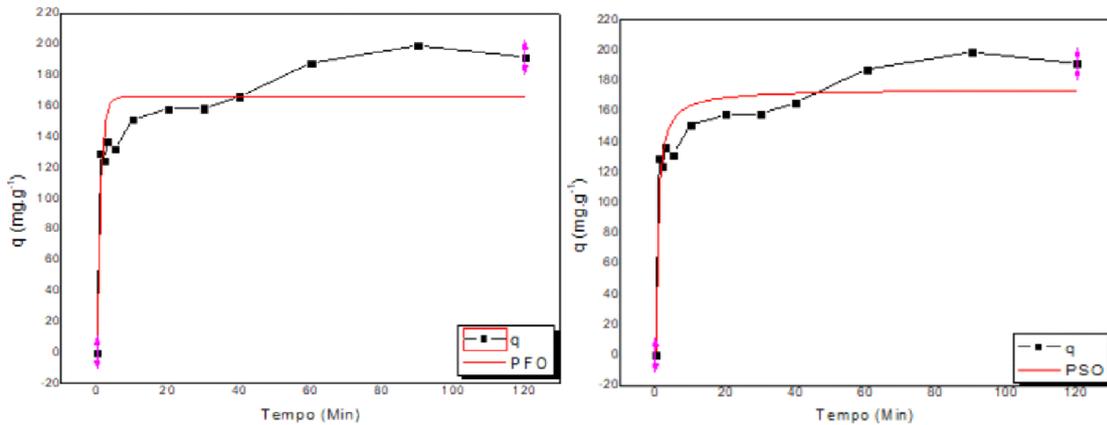
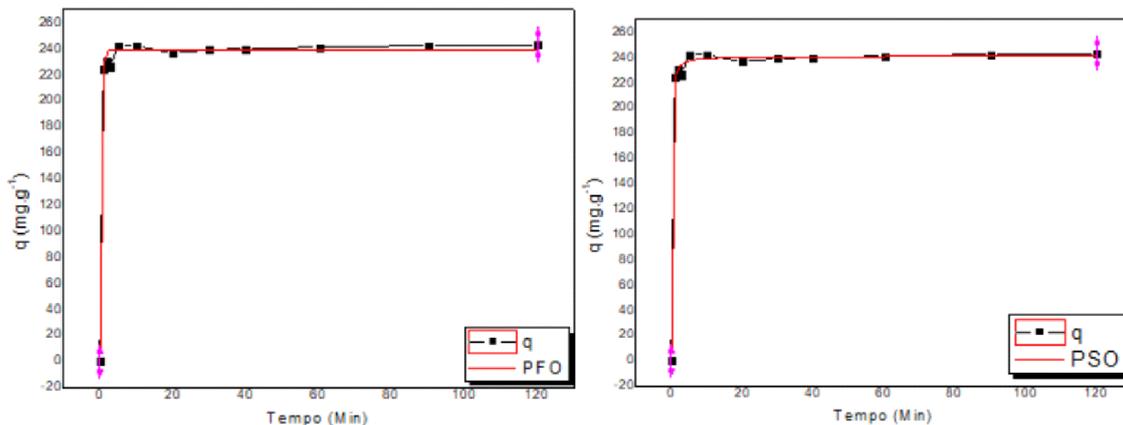


Figura 22 - Modelagem de Pseudo Primeira ordem (PFO) e Pseudo segunda ordem (PSO) respectivamente para o CD



A Tabela 9 mostra a proximidade dos dados obtidos com os modelos de Pseudo Primeira e Pseudo Segunda ordem.

Tabela 9 – Parâmetros modelos de Pseudo Primeira e Pseudo Segunda Ordem

PSEUDO PRIMEIRA ORDEM					PSEUDO SEGUNDA ORDEM			
	q_e	K_1 (min^{-1})	R^2	S^2	q_e	K_2 ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	R^2	S^2
CA	197,08	0,969	0,966	113,44	204,20	0,538	0,984	53,05
CB	165,68	0,975	0,813	503,09	174,66	0,66	0,895	282,72
CD	238,56	2,749	0,994	27,51	241,11	0,084	0,997	13,22

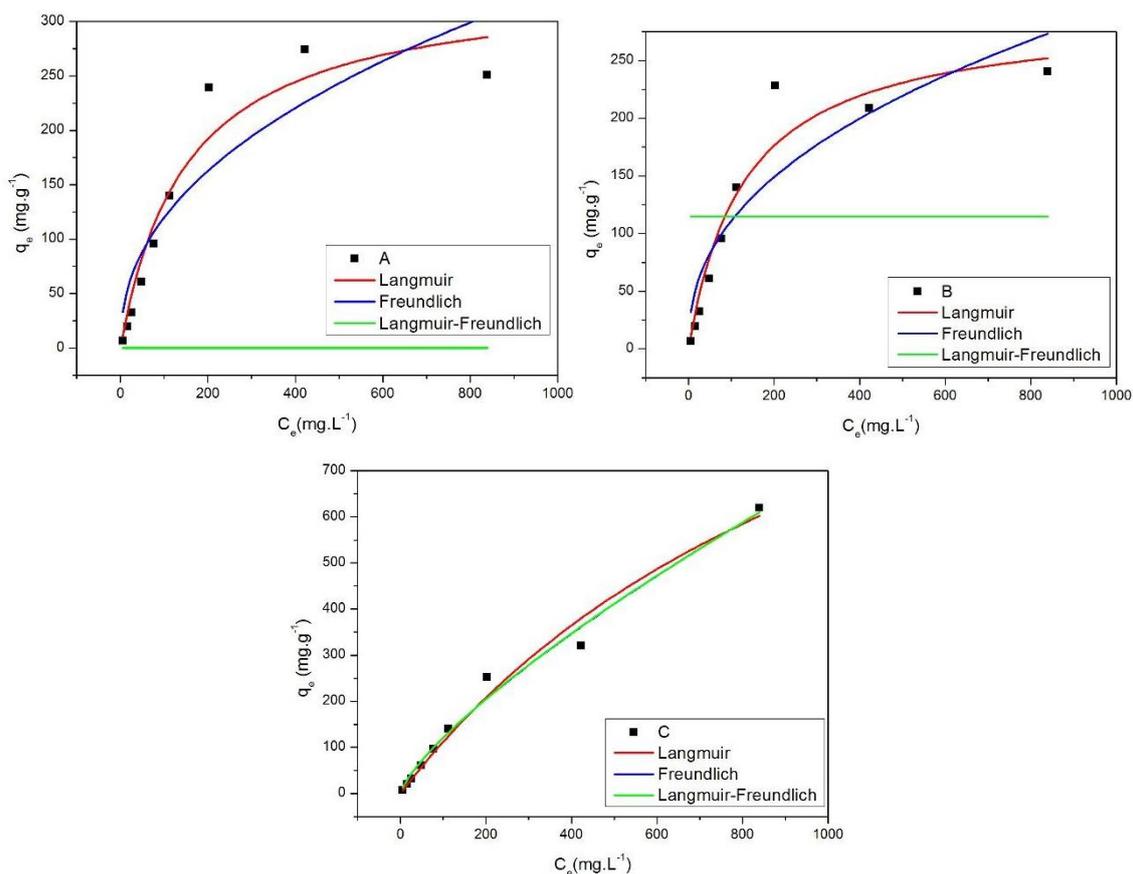
Diante dos dados, observa-se (nos parâmetros R^2 e S^2) um melhor ajuste dos dados para o carvão CD (comercial) sendo seguido do material CA.

Santos *et al.* (2018) afirmam que quanto maior o valor de R^2 e menor o valor de S^2 melhor é o ajuste dos dados ao modelo. Para todos os materiais, houve um melhor ajuste ao modelo de Pseudo Segunda Ordem. Esse modelo tem como base a capacidade de adsorção da fase sólida. Para Vijayaraghavan et al. (2004) esse melhor ajuste endossa que o tipo de adsorção dominante é a fisissorção.

4.2.4. ESTUDO DE EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO

A Figura 23 apresenta os dados de equilíbrios correspondendo aos ajustes dos modelos Langmuir, Freundlich e Langmuir-Freundlich, para os materiais adsorventes (CA, CB e CC).

Figura 23 - Isotermas de Adsorção dos materiais CA, CB e CD respectivamente



A Tabela 10 apresenta valores de ajuste dos resultados aos modelos das isotermas de adsorção para os modelos de Langmuir, Freundlich e Langmuir-Freundlich.

Dentre todos os adsorventes estudados (CA, CB e CD), o material CD (carvão comercial) se destaca e é mais adequado para todos os modelos em comparação com outros adsorventes (CA e CB). Para os carvões CA ($R^2 = 0,933$) e CB ($R^2 = 0,936$), o melhor ajuste é o modelo de Langmuir, e para o carvão CD, o melhor ajuste é o modelo de Freundlich.

Tabela 10 – Parâmetros dos modelos de isotermas de adsorção.

Langmuir					
	q_{\max} (mg g ⁻¹)	R ²	S ²	K _L (L mg ⁻¹)	
CA	337,25	0,933	758,014	0,007	
CB	291,14	0,936	547,735	0,008	
CD	1478,24	0,979	836,120	0,001	
Freundlich					
		R ²	S ²	K _F [mg g ⁻¹ (mg L ⁻¹) ^{-1/n}]	n
CA		0,808	2158,760	15,851	0,440
CB		0,821	1539,998	15,850	0,423
CD		0,985	603,311	3,621	0,761
Langmuir-Freundlich					
		R ²	S ²	K _{LF}	
CA		0,000	0,000		
CB		-0,333	11481,436	-9259,355	
CD		0,982	704,813	0,000	

Os carvões CA e CB, possuem bons resultados para q_{\max} , se igualando a carvões que sofreram ativação registrados pela literatura (Tabela 11). Materiais como os de Li et al. (2016) ; Islam et al. (2017) e Baytar et al. (2018), atingiram valores próximos ou superiores aos alcançados em CA e CB. O q_{\max} para CD (carvão comercial ativado) é cerca de 4,5 vezes maior que os biocarvões.

Tabela 11 - Comparação de Capacidade Máxima de Adsorção

Matéria-prima	Agente ativador	S _{BET} (mg ² g ⁻¹)	q _{máx} (mg g ⁻¹)	t _{eq} (min)	Referência
Resíduo de Madeira	Sem Ativação	CA 403,76; CB 538,90	CA 337,25 CB 291,14	90	Presente trabalho
Endocarpo de Açai	NaOH	491,9	93,23	40	Pessoa, 2019
Casca de sementes de girassol	ZnCl ₂	1511	240	100	Baytar <i>et al.</i> , 2018
Casca de sementes de palmeira	ZnCl ₂	857	183	360	Garcia <i>et al.</i> , 2017
Caulas de madeira	NaOH	1135	359	120	Islam <i>et al.</i> , 2017

Casca de castanha de caju	ZnCl ₂	875	215	60	Spagnoli <i>et al.</i> , 2017
Polpa de beterraba	H ₃ PO ₄	1029,31	244,76	100	Li <i>et al.</i> , 2016

Fonte: Adaptado de Pessoa, 2019

Embora a capacidade de adsorção dos carvões CA e CB seja inferior à do carvão comercial (CC), a principal vantagem de seu uso é que o material tem custo bastante reduzido e é de fácil obtenção. É possível aplicá-lo para transformá-lo de resíduos em produtos de alto valor agregado, pois será transferido de poluidores para substâncias que reduzem o impacto ambiental.

Segundo Febrianto et al. (2009), o fator de heterogeneidade (n) representa a semelhança com a isoterma de Langmuir, sendo que quanto mais próxima do valor 1, maior a semelhança. Ainda salientam estes autores que quanto menor esse valor, mais desuniforme será o material.

4.2.5. ENSAIO COM EFLUENTE REAL

O efluente coletado foi caracterizado antes e após o ensaio de adsorção. Os resultados do tratamento se encontram na Tabela 12, juntamente com os devidos limites das normatizações federal e estadual (Pernambuco).

Tabela 12– Resultados do tratamento do efluente têxtil real após coagulação com os dois carvões (CA e CB) e o carvão comercial (CD) e comparação com a legislação.

Parâmetro	Unidades	CA	CB	CD	Limites
pH		6,65	7,01	6,62	5 a 9
Cor	% de remoção	95	96	98	Virtualmente ausente
Turbidez	% de remoção	91	89	99	Virtualmente ausente
DQO	% de remoção	83	88	96	80%
DBO ₅	% de remoção	98	99	99	70%
ST	% de remoção	64	66	81	-

Fonte: adaptado de: CONAMA 357 (2005); CONAMA 430 (2011) e CPRH 2001 (2003)

Considerando-se os padrões da classificação da normativa CONAMA 357/2005, CONAMA 430 e CPRH (2012), as classificações da bacia do Ipojuca, assim como do rio Ipojuca no ponto IP 49, ponto dentro do município de Caruaru, são consideradas salobra classe dois.

O processo para remoção de cor teve eficiência de remoção acima dos 95% até cerca de 99%. Para turbidez a eficiência de remoção foi entre 88% e 99%. No tratamento com os materiais CA e CB, foi possível se detectar visualmente a presença de coloração leve, podendo indicar a presença de sólidos dissolvidos e suspensos no efluente. Porém, vale ressaltar que o tratamento à base de adsorventes é classificado como terciário, havendo de forma prévia tratamentos preliminares, primários e secundários (VIEIRA, 2016; VON SPERLING, 2005).

A DQO teve remoção acima dos 80%, atendendo à normativa estadual CPRH nº 2001 (2003), que orienta uma remoção de no mínimo 80% da DQO para lançamento de efluentes do setor têxtil. Esta norma faz menção à remoção de DBO, sendo mais exigente que a CONAMA nº 430, solicitando para efluentes com carga orgânica inferior a 100 kg/dia uma remoção mínima de 70%. Os tratamentos com todos os adsorventes proporcionaram resultados superiores a 90%.

Quanto aos sólidos totais (ST), não foi encontrada normatização que defina parâmetros mínimos para seu lançamento. Os tratamentos efetuados tiveram remoção na faixa de 63% a 82%. A baixa remoção de ST nos tratamentos com CA e CB é justificada pela visível presença de coloração, embora o tratamento com adsorventes não tenha a finalidade de remover grandes quantidades de sólidos, sendo essa responsabilidade dos tratamentos preliminar e primário (VON SPERLING, 2005). Esses são capazes de remover uma quantidade considerável, principalmente sólidos dissolvidos (HENDGES; 2020; PIRES, 2020; PEREIRA NETO, 2017; VON SPERLING, 2005).

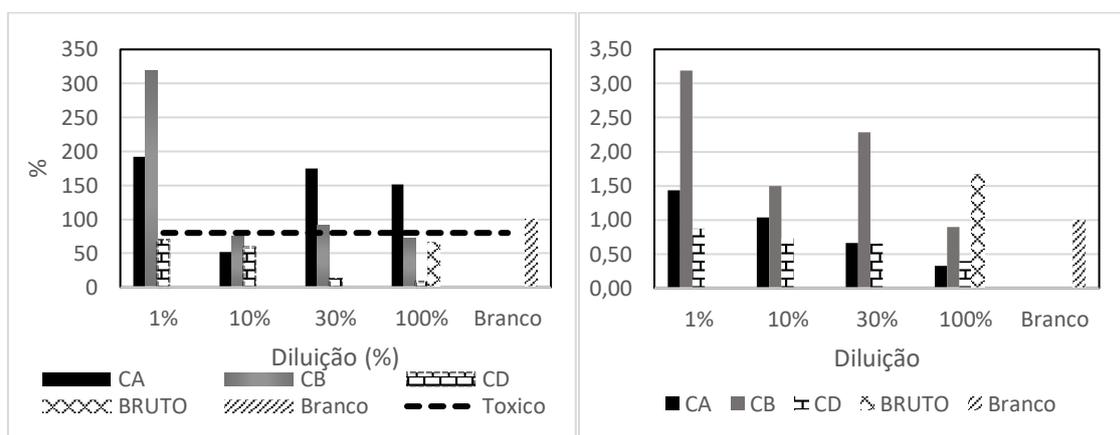
O pH teve pouca variação, tendendo a pH neutro. Essa variação pode ser relacionada com o pH do material, com cargas se encontrando como neutras, em torno de 8. Ainda com essa variação, quanto ao parâmetro pH, o efluente se enquadrava para lançamento em corpos hídricos.

4.2.6. TOXICIDADE

O ensaio de toxicidade foi realizado, obtendo-se como resposta o %IG e RGI (Figura 23). Uma das características dos efluentes têxteis, além de sua cor predominante e diversa, é o potencial de eutrofização e contaminação dos corpos hídricos.

Ao se analisar o gráfico de % de Índice de Germinação (% Growth Index), percebe-se que quanto menos diluído, menor é o % IG. A presença de nitrogênio dentro do efluente pode potencializar a germinação e o crescimento das plantas, porém em altas concentrações proporciona o início de um processo reverso, sendo tóxico para as mesmas (SANTOS, 2012; LIANG, 2018).

Figura 24 - Gráfico de Índice de Germinação e índice de crescimento relativo



Sendo assim, para o tratamento com CA, observa-se uma potencialização na germinação e no crescimento nas diluições de a 1%, 30% e 100% indicando não só uma possível remoção dos contaminantes e nutrientes excessivos, como uma melhor condição para sua germinação. O mesmo não pode ser afirmado para RGI, pois é notado que para diluição de 1% há um favorecimento no crescimento, porém ao se diminuir a diluição o fator de crescimento decai até cerca de 30 %.

Para o tratamento CB, na diluição a 1% houve um aumento no % IG e RGI sendo maior que 3x. Porém percebe-se que, ao se diminuir o fator da diluição o % IG tende a uma inibição de germinação, porém não aparenta causar grandes impactos no crescimento da plântula. Essa diminuição no índice pode ser dada pelo possível teor de nitrogênio no efluente.

O último tratamento (CD), apresenta fatores de inibição de germinação, onde a maior diluição (1%) apresenta um % IG de cerca de 50 %. A solução a 100% demonstra

uma inibição da germinação maior que o efluente bruto (sem tratamento). Pode-se especular que a reação da adsorção com o adsorvato pode gerar componentes mais tóxicos do que os compostos do efluente bruto. A possibilidade de toxicidade do tratamento com o adsorvente CD é reforçada pela inibição no RGI.

Segundo Gebber *et al.* (2017) para a semente utilizada (*Cucumis sativus* L.) níveis de % IG abaixo de 80%, considera-se o efluente como sendo tóxico.

Assim é possível elencar o tratamento com o material CA como não tóxico, já que todos os outros tratamentos (CB e CD) juntamente com o efluente bruto tem seu %IG abaixo de 80%.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Com os resultados explanados, este capítulo apresenta a conclusão dos resultados, com perspectivas e sugestões para estudos futuros

5.1. CONCLUSÕES

A partir de uma perspectiva ambiental a utilização de resíduos de madeira para geração de energia em gaseificadores, obtendo como resíduo um carvão, que pode ser chamado de Biocarvão, se torna válida, já que a conversão (resíduo para subproduto) pode ser comercializada ou utilizada dentro de estações de tratamento de efluentes.

Quanto aos resultados da eficiência da aplicação do carvão na remoção de corantes e tratamento de efluentes, o material gerado tem um alto potencial, tendo eficiência de remoção acima dos 96%, apesar do carvão comercial ter se adequadado melhor aos estudos realizados. Vale salientar, que o biocarvão além de ser gerado a base de um resíduo, não sofreu processos de ativação e, mesmo assim, alcançou resultados similares ao carvão comercial ativado.

Entre os carvões que foram gerados a partir do gaseificador, o CC sofreu dupla queima e passou por impactos na alimentação, produzindo quantidade excessiva de cinzas. Apesar de ter proporcionado bons resultados, a dupla queima não tem melhora significativa na geração do material, devendo assim ser descartada esta via.

Entre o CA e o CB, o primeiro material alcançou melhores patamares de capacidade adsortiva. Porém no planejamento, somente o CB mostrou resultados significativos, além de ser o material com maior área superficial.

Levando-se em consideração todos os resultados, o material CA pode ser dito como o melhor carvão, pois no seu processo de produção o gaseificador tem a capacidade de gerar maior quantidade de energia. Sua estrutura se mostra mais uniformizada e apesar de sua área superficial ser menor que o CB, o diâmetro dos poros é maior, o que pode acabar compensando.

Apesar do processo adsortivo não ser usualmente utilizado como tratamentos primário e secundário, os ensaios em efluente real atingiu todos os patamares normativos estaduais e federais testados. Alinhado com tratamentos físico químicos o processo adsortivo deverá ser de grande ajuda, evitando que empresas desse setor sofram com sanções administrativas, criminais e penais, além de auxiliar na descontaminação dos corpos hídricos.

5.2. PERSPECTIVAS

Com continuidade e aprofundamento deste trabalho de pesquisa, pode-se ensejar as seguintes ações:

- Estudar ativações químicas e térmicas para os carvões obtidos;
- Realizar uma avaliação econômica para implantação do sistema e economia de recursos;
- Realizar um balanço energético, econômico e ambiental da implantação de um gaseificador na indústria, com avaliação dos retornos financeiro, social e o impacto ambiental;
- Realizar uma avaliação de ciclo de vida de todo o processo;
- Estudar o comportamento deste sistema com outros efluentes industriais e urbanos;
- Avaliar a associação de gaseificadores dentro do processo produtivo de indústrias do setores têxteis, possibilitando a fabricação do subproduto para utilização interna;
- Implementar o sistema de tratamento na unidade fabril e monitorar a eficiência do mesmo;

6. REFERÊNCIAS

ABIT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL E DE CONFECÇÃO. [internet]. Relatório de atividades. Disponível em: <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 16 fevereiro, 2018.

ADAMSON, A. W.; GAST, A. P. *Physical Chemistry of Surfaces*. New York: Wiley, 1997.

AHMAD, A. L.; WONG, S.S.; TENG, T.T.; ZUHAIRI, A. Optimization of coagulation–flocculation process for pulp and paper mill effluent by response surface methodological analysis. *Journal of Hazardous Materials*, v. 145, p. 162-168, 2007.

ALINSAFI, A.; DA MOTTA, M. A.; LE BONTÉ, S.; PONS, M. N.; BENHAMMOU, A. Effect of variability on the treatment of textile dyeing wastewater by activated sludge. *Dyes and Pigments*, v. 69, p. 31-39, 2006.

AMMAYAPPAN, L. Jose, S. Raj, A. *Sustainable Production Processes in Textile Dyeing*. 2016.

ANA – Agência Nacional de Águas. *Conjuntura Recursos Hídricos Brasil*, 2017

ANA – Agência Nacional de Águas. *Conjuntura Recursos Hídricos Brasil*, 2019

ARVELOS, S. *Modelagem termodinâmica da adsorção de gases: um estudo teórico-computacional sobre sistemas não-ideais*. Tese de doutorado do Programa de Pós graduação em Engenharia Química, da Universidade federal de Uberlândia. 2017

AYGUN A., YENISOY-KARAKAS S., DUMAN I. Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous and Mesoporous Materials.*, 66: 189-195. 2003.

BAIRD, R.B., EATON, A.D., RICE, E.W. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition. APHA, AWWA. WEF. 2017.

BARRET, E. P.; JOYNER, L. G.; HALLEND, P. P. The determination of pore volume and area distribution in porous substances Computations from nitrogen isotherms. *Journal of the American Chemical Society*, v.73, p. 373 – 380,1951.

BANERJEE, D.; SARKAR, U.; ROY, D. Multicomponent adsorption of chlorhexidine gluconate in presence of a cationic surfactant: Role of electrostatic interactions and surface complexation. Great Britain: Elsevier Science Ltd. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 1, p. 241-251, 2013;

BAYTAR, O., SAHIN, O., SAKA, C. Sequential application of microwave and conventional heating methods for preparation of activated carbon from biomass and its methylene blue adsorption. *Applied thermal Engineering*, v.138, p.542-551, 2018.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*, v. 60, p. 309-319, 1938.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. De 5 de outubro de 1988.

BRASIL. Lei nº 9.433/1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. De 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. Lei nº 9.984/2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA. De 17 de julho de 2000.

BELTRAME, L., T., C. Caracterização de Efluentes Têxtil e Proposta de Tratamento. Dissertação do Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Natal – RN. 2000

BEZERRA, A. F. Aprimoramento da eficiência de um sistema de geração de energia elétrica por gerador alimentado com gás pobre. Tese de doutorado da Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. 2016

CALLISTER, W. D. *Materials science and engineering – an introduction*. 7 ed. John Wiley & Sons, Inc. Cap. 4, p. 122 – 123. 2007.

CAMPOS, N., F. Avaliação do uso do carvão ativado preparado a partir de resíduo agroindustriais na adsorção de ácidos naftênicos. Tese de doutorado do programa de pós graduação em engenharia química da Universidade Federal de Pernambuco. 2018

CLAUDINO, A. Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

COELHO, R., M.,P., & HAVENS, K. *Crise Nas Águas*. 1º Ed. Recoleo Coleta E Reciclagem De Óleos Editora. Belo Horizonte (Mg), 2015. 162 Pags

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. Resolução nº 54/2005. De 28 de novembro de 2005.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. Resolução nº 91/2008. De 05 de novembro de 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 357/2005. De 17 de março de 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 377/2008. De 09 de outubro de 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 396/2008. De 03 de abril de 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 397/2008. De 03 de abril de 2008.

CHAPIN F.S. Ecological aspects of plant mineral nutrition. Tinker, B. Lauchli. Ed.: Advanced in plant nutrition. New York. P. 161 -191. 1988.

CPRH, 2012. Companhia Pernambucana De Meio Ambiente, Relatório Bacia Hidrográfica Do Rio Ipojuca. Disponível Em: <[Http://Www.Cprh.Pe.Gov.Br/Downloads/M_Relat01-Ip.Pdf](http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/M_Relat01-Ip.Pdf)>. Acessado:30/11/2020

CPRH Norma Técnica Nº2001, Companhia Pernambucana De Meio Ambiente. 03 de novembro de 2003.

COONEY, D. O. Adsorption Design for Wastewater Treatment. Florida: CRC Press, 1999.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade. 2017

DABROSKWI, A. Adsorption — from theory to practice. Advances in Colloid and Interface Science V.93. p. 135-224. 2001

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2a ed ed. São Carlos, SP: RIMA, 2005.

DENBINSKI, Luiz Gustavo *et al.* Tratamento do efluente da indústria de couro utilizando coluna de adsorção em leito fixo/Effluent treatment from the leather industry using fixed bed adsorption column. Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 9, p. 14059-14073, 2019.

DEOLIN, M. H. S.; FAGNANI, H. M. C.; ARROYO, P. A.; BARROS, M. A. S. D. Obtenção do ponto de carga zero de materiais adsorventes. VIII Encontro Internacional de Produção Científica. Maringá, PR. 2013.

DESAPPA S.; SRIDHAR H. V, SRIDHAR G.; PAUL P. J.; MUKUNDA H. S. Biomass gasification — a substitute to fossil fuel for heat application. Biomass Bioenergy;25(6):637–49 2003.

DONNET, J. B.; PAPIRER, E. Efeito sobre a reatividade superficial da superfície do carbono por oxidação com ozônio. Boletim da Societe Chimique de France, 1912.

DU, H., CHENG, J., WANG, M., TIAN, M., YANG, X., WANG, Q. Red dye extracted sappan wood waste derived activated carbons characterization and dye adsorption properties, *Diamond and Related Materials*, Volume 102, 2020, 107646, <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2019.107646>

DUARTE NETO, J., F.; CARTAXO, J., M.; NEVES, G., A., MENEZES, R., R. Processos de adsorção de corantes em argilas esmectíticas: uma revisão. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 9, n. 1. 2014

FARIAS, M.M.M.W.E.C. Aproveitamento de águas de chuva por telhados: aspectos quantitativos e qualitativos. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil e Ambiental, Caruaru, PE, 115p., 2012.

FEBRIANTO, J.; KOSASIH, A. N.; SUNARSO, J.; et al. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies. *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, n. 2–3, p. 616–645, 2009

FERREIRA, I. L. S. Tingimento de tecido de algodão com corantes reativos utilizando água do mar. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil, Natal, 2019.

FRAGA TJM, DA SILVA LFF, DE LIMA FERREIRA LEM, DA SILVA MP, MARQUES FRAGA DMDS, DE ARAÚJO CMB, CARVALHO MN, DE LIMA CAVALCANTI JVF, GHISLANDI MG, DA MOTTA SOBRINHO MA. Amino-Fe₃O₄-functionalized multi-layered graphene oxide as an ecofriendly and highly effective nanoscavenger of the reactive drimaren red. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020.

FRANCA A. S., OLIVEIRA L. S., FERREIRA M. E. Kinetics and equilibrium studies of methylene blue adsorption by spent coffee grounds. *Desalination*, 249: 267-272. 2009.

FREITAS, D., C. Adsorção e dessorção do corante preto reativo 5 em solução aquosa utilizando adsorvente alternativo de lodo de esgoto sanitário (biocarvão). Tese de doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. 2020.

FU, Y.; VIRARAGHEVAN, T. Fungal decolorization of dye wastewater: A review. *Bioresource Technology*, v. 79, p. 251-262, 2001

FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J. V. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. *Moda Palavra e-periódico*, v. 8, n. 15, p. 153-174, 2015.

G1. Jucazinho, 3º maior reservatório de água de PE, está em colapso há um ano. disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/jucazinho-3-maior-reservatorio-de-água-de-pe-esta-em-colapso-ha-um-ano.ghtml>> acessado em: 23 de março de 2020.

G1. Volume da barragem de Jucazinho, em Surubim, atinge 5,23% do total em 24 horas. disponível em: < <https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2020/03/19/volume-da-barragem-de-jucazinho-em-surubim-atinge-523percent-do-total-em-24-horas.ghtml>> acessado em: 23 de março de 2020

GALÁN, J.; RODRÍGUEZ, A.; GÓMEZ, J. M.; ALLEN, S. J.; WALKER, G. M. Reactive dye adsorption onto a novel mesoporous carbon. Great Britain: Elsevier Science Ltd. Chemical Engineering Journal, v. 219, p. 62-68, 2013;

Gerber, M. D.; Lucia, T., Jr; Correa, L.; Neto, J. E. P.; Correa, É. K. Phytotoxicity of Effluents from Swine Slaughterhouses Using Lettuce and Cucumber Seeds as Bioindicators. Sci. Total Env. 2017,

GUARATINI, C., C., I.; ZANONI, M., V., B. Corantes Têxteis. Química Nova, v. 23, n. 1. p.71-78. 2000

GHOSH, D., BHATTACHARYYA, K. G. Adsorption of methylene blue on kaolinite. Applied Clay Science, v. 20, p. 295-300. 2002.

HALLER, M. Tratamento de efluentes Revista Textília - Têxteis Interamericana, São Paulo - SP, v. 03, n. 07, p. 93 -94, Jan/Fev/Mar 1993.

HARDIN, G. The Tragedy of the Commons. Science. 13 Dec 1968

HO, Y. S. Citation review of Lagergren kinetic rate equation on adsorption reactions. Scientometrics, v. 59, n. 1, p. 171-177, 2004.

HENDGES, L.T. Mecanismos de adsorção e dessorção de compostos orgânicos solúveis presentes em água produzida. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina. 2020.

HU, J.; DENG, W.; CHEN, D. Ceria Hollow spheres as an adsorbent for efficient removal of acid dye. ACS Sustainable Chemistry and Engineering, v. 5, n .4, p. 3570-3582, 2017

HUI, T.S., ZAINI, M.A.A. Textile sludge–sawdust chemically produced activated carbon: equilibrium and dynamics studies of malachite green adsorption. Biomass Conv. Bioref. 2020. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00955-z>

HUANG, J.; YAN, Z. Adsorption mechanism of oil by resilient graphene aerogels from oil-water emulsion. Langmuir, v. 34, n.5, p. 1890-1898, 2018.

IGWEGBE, C.A., ONUKWULI, O.D., IGHALO, J.O. *et al.* Adsorption of Cationic Dyes on Dacryodes edulis Seeds Activated Carbon Modified Using Phosphoric Acid and Sodium Chloride. Environ. Process. v. 7, p. 1151–1171, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00467-y>

ILNICKA, A., KAMEDULSKI, P., ALY, H.M., LUKASZEWICZ, J.P. Manufacture of activated carbons using Egyptian wood resources and its application in oligothiophene dye adsorption, Arabian Journal of Chemistry, Volume 13, Issue 5, 2020, Pages 5284-5291, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.03.007>.

ISLAM, M. A.; AHMED, M. J.; KHANDAY, W. A.; ASIF, M.; HAMEED, B. H. Mesoporous activated carbon prepared from NaOH activation of rattan (*Lacosperma secundiflorum*) hydrochar for methylene blue removal. Excotoxicology and Environmental Safety, v. 138, p. 279-285, 2017.

JÁGUARIBE, E. F.; MEDEIROS, L. L.; BARRETO, M. C. S.; ARAUJO, L. P. The performance of active carbons from sugarcane bagasse, babasu and coconut shell in removing residual chlorine. Brazilian journal of chemical engineering. v. 22, n. 1, p. 41 – 47, 2005

KANT, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. Natural Science, 4, 22-26. 2012.

KARACA, S., GÜRSES, A., BAYRAK, R. Effect of some pre-treatments on the adsorption of methylene blue by Balkaya lignite. Energy Conversion and Management, v. 45, p. 1693-1704. 2004.

KELM, M. A. P.; Jr. SILVA, M. J.; HOLANDA, S. H. B.; ARAUJO, C. M. B.; ASSIS, R. B. F.; FREITAS, E. J.; DOS SANTOS, D. R.; SOBRINHO, M. A. M. Removal of azo dye from via adsorption on biochar produced by the gasification of wood wastes. Environmental Science and Pollution Research, p. 1-16, 2019.

KIM, S.C. Application of response surface method as an experimental design to optimize coagulation flocculation process for pre-treating paper wastewater. Journal of industrial and Engineering Chemistry, v. 38, p. 93-102, 2016.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. Quim. Nova, Vol. 25, No. 1, 78-82, 2002.

LANNA, A.E. A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso. Estudos Avançados, vol. 22, N°63, São Paulo. 2008.

LEA, P. J., BLACKWELL, R.D., JOY, K.W. Ammonia assimilations in higher plants. Ed. Nitrogen metabolism of plants. Oxford Clarendon. p. 153-186. 1992

LELLIS, B.; FÁVARO-POLONIO, C. Z.; PAMPHILE, J. A.; POLONIO, J. C. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. Biotechnology research & innovation. 2019

LI, D, YAN, J., LIU, Z., LIU, Z. Adsorption kinetic studies for removal of methylene blue using activated carbon prepared from sugar beet pulp. International Journal Environmental Science and Technology, v.13,p.1815-1822, may. 2016.

LIANG, J., NING, X., SUN, J., SONG, J., LU, J., CAI, H., HONG Y. Toxicity evaluation of textile dyeing effluent and its possible relationship with chemical oxygen demand. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2018

LOGNATHAN, S.; TIKMANI, M.; EDUBILLI, S.; MISHRA, A.; GHOSHAL, A. K. CO₂ adsorption kinetics on mesoporous silica under wide range of pressure and temperature, Chemical Engineering Journal, v. 256, p. 1-8, 2014.

MAALOUL, N.; OULEGO, P.; RENDUELES, M.; GHORBALA, A.; DÍAZ, M. Novel biosorbents from almond shells: Characterization and adsorption properties modeling for Cu (II) ions from aqueous solutions. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 5, p. 2944-2954, 2017

MARQUES, F. Legislação para tratamento de efluentes: o que você precisa saber? ACQUASOLUTION, 2017.

MONTEIRO, M. S.; FARIAS, R. F.; CHAVES, J. A. P.; SANTANA, S. A.; SILVA, H. A. S.; BEZERRA, C. W. B. Wood (*Bagassa guianensis Aubl*) and Green coconut mesocarp (*cocos nucifera*) residues as textile dye removers (Remazol Red and Remazol Brilliant Violet). Journal of Environmental Management, v. 204, p. 23-30, 2017.

MORAIS, E. D., Produção de carvão ativado a partir do mesocarpo de coco da baía (cocosnuciferalinn) utilizando H₃PO₄, CH₃COONa e KHO como ativantes. Dissertação de mestrado, UFRN, programa de pós-graduação de engenharia química, 2014

MOREIRA, S., A. Adsorção de ions metálicos de efluentes aquoso usando bagaço de Pedúnculo de caju: estudo de batelada e de leito fixo. Dissertação de mestrado em saneamento ambiental. Programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

MUNIANDY, L., ADAM, F., MOHAMED, A.R., NG, E. The synthesis and characterization of high purity mixed microporous/mesoporous activated carbon from rice

husk chemical activation with NaOH and KOH. *Microporous and Mesoporous Materials*, v.197, p.316-323, jun.2014.

NASCIMENTO, R., F.; LIMA, A., C., A.; VIDAL, C., B.; MELO, D., Q.; RAULINO, G., S., C., *Adsorção Aspectos Teóricos e Aplicações Ambientais*. Fortaleza: Imprensa Universitária, 256 p., 2014

NASCIMENTO, R., F.; LIMA, A., C., A.; VIDAL, C., B.; MELO, D., Q.; RAULINO, G., S., C., *Adsorção Aspectos Teóricos e Aplicações Ambientais*. Fortaleza: Imprensa Universitária, 256 p., 2020

NORONHA, E. G. E TURCHI, L. O pulo do gato da pequena indústria precária *Tempo Social. Revista de Sociologia da USP*, v. 19, n.1, 2007.

OLIVEIRA, E. H. C.; MENDONÇA, E. T. R.; BARAUNA, O. S.; FERREIRA, J. M.; DA MOTTA SOBRINHO, M. A. Study of variables for optimization of the dye indosol adsorption process using red mud and clay as adsorbents. *Adsorption*, v. 22, p. 59, 2016.

OSTROM, E. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 24 Jul 2009

PELÁEZ-CID, A.A., ROMERO-HERNÁNDEZ, V., HERRERA-GONZÁLEZ, A.M., BAUTISTA-HERNÁNDEZ, A., COREÑO-ALONSO, O. Synthesis of activated carbons from black sapote seeds, characterization and application in the elimination of heavy metals and textile dyes, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, Volume 28, Issue 2, 2020, Pages 613-623, <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2019.04.021>.

PELOSI, B.T., LIMA, L.K.S. and VIEIRA, M.G.A. Removal of the synthetic dye remazol brilliant blue r from textile industry wastewaters by biosorption on the macrophyte *Salvinia natans*. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 31, no. 4, pp. 1035-1045. 2014.

PESSÔA, T. S. Caracterização e aplicação de biocarvão obtido a partir do endocarpo do açaí para adsorção de corantes têxteis. 2019. Dissertação (Mestrado) – Recife, PE: UFPE, 2019.

PEREIRA NETO, L. M. Avaliação físico-química do rio Ipojuca e lavanderia têxtil de pequeno porte no Município de caruaru – PE. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Mauricio de Nassau. 2017

PEREIRA. P. A. A., BALDANI, J., I., BLANA, R., A., G., NEYRA, C., A. Assimilação e translocação de nitrogênio em relação a produção de grãos e proteínas em milho (*Zea Mays L.* *Revista brasileira de ciências do Solo*. V.5. p. 28-31. 1981.

PERRY, Robert H., GREEN, Don W., MALONEY, James O. Perry's Chemical Engineer's Handbook, 7ª Ed. Sec.: Adsorption and Ion Exchange, p. 1497–1562, Nova York: McGraw-Hill, 1999. 1709p

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 do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. 2020

RAMOS, P. H.; GUERREIRO, M. C.; RESENDE, E. C. de.; GONÇALVES, M. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. Química Nova, v. 32, n. 5, p. 1139-1143, 2009

QUEIROGA, G. M.; MELO, D. C. P.; LAMARDO, E. Z. Desempenho de etes de lavanderias têxteis do polo de confecções do município de Caruaru, Agreste pernambucano, que utilizam processos físico-químicos. Revista Eletrônica do PRODEMA v. 13, n. 2, p.55-71. 2019.

RAHMAN, M.; PUDASAINEE, D.; RAJENDER GUPTA, R. Review on chemical upgrading of coal: Production processes, potential applications and recent developments. Fuel Processing Technology. v. 158, p. 35–56, 2017.

REZENDE, I., Y., V., R.; LOPES, C., S., D. Greenwashing and environmental impact in the textile industry: a case study.

ROCHA, O., R., S.; NASCIMENTO, G., E.; CAMPOS, N., F.; SILVA, V., L.; DUARTE, M., M., M., B. Evaluation of adsorption process using green coconut mesocarp for removal of reactive gray BF-2R dye. Química Nova, vol. 35 2012.

ROUQUEROL, Françoise; ROUQUEROL, Jean; SING, Kenneth. Adsorption by powders and porous solids – principles, methodology and applications. Londres: Academic Press, 1999. 467p

Rocha, O., R., S., Nascimento, G, Campos, NF, Silva, V L, Duarte, M. M. M. B. (2012). Avaliação do processo adsortivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. Química Nova, 35(7). 2012.

RUTHVEN, Douglas M. Principles of adsorption and adsorption processes. Nova York: Jhon Wiley and Sons, 1984. 433p.

SANTOS, A., L. Utilização de lodo têxtil no cultivo de tifton. Dissertação de mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas. 2012.

SANTOS, M., C., SILVA, E., O., ANDRADE, T., D., ARAUJO, E., B., ZOTTIS, R., ALMEIDA, A., R., F. Cinética de adsorção do azul de metileno por carvão ativado obtido da palha de azevém. Anais do 10 Salão Internacional de Ensino pesquisa e extensão. 2018

SAXENA, S.; RAJA, A. S. M.; ARPUTHARAJ, A. Textiles and Clothing Sustainability 2017.

SENTHILKUMAAR S., VARADARAJAN P. R., PORKODI K., SUBBHURAAM C. V. Adsorption of methylene blue onto jute fiber carbon: kinetics and equilibrium studies. Journal of Colloid and Interface Science., 284: 78-82. 2005.

SILVA, F.S. Efeito dos tamanhos padronizados de retalhos de madeira na melhoria do funcionamento de um gaseificador de biomassa. Dissertação de Mestrado. PPG em Engenharia Mecânica da UFPB. João Pessoa, PB. 54p. 2017.

SILVA, B. L.; Xavier, M. G. P. Inovação e tecnologia em lavanderias de jeans do polo têxtil do Agreste pernambucano e a implementação das atividades de reuso. Brazilian Journal of development Vol. 6, Nº 6, 2020.

SINGH, L. Biodegradation of synthetic dyes: A mycoremediation approach for degradation/decolourization of textile dyes and effluents. Journal of applied biotechnology & bioengineering

SLOKAR, Y. March; LE MARECHAL, A. Majcen. Methods of decoloration of textile wastewaters. Dyes and pigments, v. 37, n. 4, p. 335-356, 1998.

STEPHENSON, T; JUDD, J. S; CORREIA, V. M. Characterization of textile wastewater - a review Environmental Technology, London - Reino Unido, v. 15, n. 10, p. 917 - 930, 1994.

THOMMES, M. *et al.* Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry, v. 87, n. 9-10, p. 1051-1069, 2015.

VIEIRA, B. Adsorção de fósforo em substrato natural visando o desenvolvimento de tecnologia verde para o tratamento terciário de efluentes. Dissertação do curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do ABC. 2016.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JEGAN, J.; PALANIVELU, K.; VELAN, M., Removal of nickel (II) ions from aqueous solution using crab shell particles in a packed bed upflow column. Journal of Hazardous Materials, B113: 223, 2004.

VON SPERLING, M. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3º ed. 452 p. v 1 Belo horizonte – MG. 2005

ZHANG, M. L. Z. *et al.* Roles of magnetic particles in magnetic seeding coagulation-flocculation process for surface water treatment. Elsevier, v. 212, p. 337-343, 2018.

WEBB, P.A. AND ORR, C. Analytical Methods in Fine Particle Technology. Micromeritics Instrument Corp, Norcross. 1997

7. ANEXOS

Figura 25 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do corante Azul de Metileno NEON. Parte 1/4.

NEON Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ

Página 1 de 4

Produto: Azul de Metileno Hidratado
FISPQ nº 00601

Atualizada em: 15/02/2016

1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

Nome do produto: Azul de Metileno Hidratado.
Referência do produto: 00601.
Nome da empresa: Neon Comercial Ltda.
Endereço: Rua Brigadeiro Jordão, 956.
Telefone da empresa: (11) 2219-9999.
Telefone para emergências: (11) 2219-9999 / (11) 99220-2068.
Fax: (11) 2219-9950 / (11) 2219-9951.
E-mail: neon@neoncomercial.com.br

Usos identificados da substância ou mistura

Produto classificado como reagente analítico, uso para laboratório de controle de qualidade e fins industriais.

2. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

CLASSIFICAÇÃO DE PERIGO DO PRODUTO (ABNT NBR 14725-2)

Toxicidade aguda, Oral (Categoria 4)

ELEMENTOS APROPRIADOS DA ROTULAGEM (ABNT NBR 14725-3)

Pictogramas:



Palavra de Advertência: Atenção

Frases de Perigo:

H302 Nocivo por ingestão.

Frases de Precaução:

P264 Lavar a pele cuidadosamente após manuseamento.
P270 Não comer, beber ou fumar durante a utilização deste produto.
P301 + P312 EM CASO DE INGESTÃO: caso sinta indisposição, contate um CENTRO DE INFORMAÇÃO ANTIVENENOS ou um médico.
P330 Enxaguar a boca.
P501 Eliminar o conteúdo/ recipiente em instalação aprovada de destruição de resíduos.

3. COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE OS INGREDIENTES

Substância:

Nome comum: Azul de Metileno Hidratado.

Nº CAS: 122965-43-9

Peso molecular: 319,85

Fórmula molecular: C₁₆H₁₈ClN₃S · xH₂O

4. MEDIDAS DE PRIMEIROS-SOCORROS

Recomendações gerais: Consultar um médico. Mostrar esta FISPQ ao médico.

Após a inalação: Exposição ao ar fresco. Em caso de parada respiratória usar respiração artificial. Chamar médico.

Após contato com a pele: Lavar com sabão e abundantemente com água. Consultar um médico.

Após contato com os olhos: Lavar abundantemente com água durante pelo menos 15 min. Chamar um médico.

Após a ingestão: Se consciente, enxaguar a boca com água. Consultar um médico.

Figura 26 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do corante Azul de Metileno NEON. Parte 2/4.

NEON Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ

Página 2 de 4

Produto: Azul de Metileno Hidratado
FISPQ nº 00601

Atualizada em: 15/02/2016

5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

Meios adequados de extinção: Água pulverizada, espuma resistente ao álcool, produto químico seco e CO₂.

Equipamento especial de proteção para o combate ao incêndio: Não ficar na zona de perigo sem aparelhos respiratórios autônomos apropriados para a respiração independente do ambiente.

6. MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VASAMENTO

Medidas de proteção para as pessoas: Usar equipamento de proteção individual. Evitar a produção e inalação de pós. Garantir ventilação adequada.

Precauções ambientais: Não permitir a entrada do produto no sistema de esgotos.

Procedimentos de limpeza / absorção: Apanhar os resíduos sem levantar poeiras. Manter em recipientes fechados adequados para a eliminação.

7. MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

- *MANUSEIO*

Evitar a formação de pós e aerossóis. Providenciar ventilação adequada em locais onde se formem poeiras. Medidas usuais de proteção preventiva contra incêndio.

- *ARMAZENAMENTO*

Conservar hermeticamente fechado, em local seco, fresco e bem ventilado.

8. CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

- *CONTROLE DE EXPOSIÇÃO:*

Medidas de controle de engenharia: Ventilação local adequada, sistema de exaustão e outros controles de engenharia necessários para manter os níveis de exposição abaixo dos limites recomendados. Chuveiros de emergência e lava-olhos devem estar próximos ao local de trabalho.

- *PROTEÇÃO INDIVIDUAL:*

As características dos meios de proteção para o corpo devem ser selecionadas em função da concentração e da quantidade das substâncias tóxicas de acordo com as condições específicas do local de trabalho. A resistência dos meios de proteção aos agentes químicos deve ser esclarecida junto dos fornecedores.

Proteção respiratória: Utilizar proteção nos casos em que a avaliação de risco mostrar que os respiradores purificadores do ar são apropriados.

Proteção dos olhos: Usar óculos de segurança.

Proteção das mãos: Utilizar luvas em conformidade às especificações da Diretiva da UE 89/689/CEE e a norma EN 374 derivada dela.

Proteção do corpo e pele: Escolher proteção de acordo com a concentração de substâncias perigosas no local de trabalho.

Higiene Industrial: Manusear de acordo com as boas práticas industriais de higiene e segurança. Lavar as mãos antes de interrupções e ao final do dia de trabalho.

9. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Forma: Sólido

Ponto de fusão: Não disponível

Cor: Verde escuro

Ponto de ebulição: Não disponível

pH: Não disponível

Temperatura de ignição: Não disponível

Figura 27 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do corante Azul de Metileno NEON. Parte 3/4.

NEON Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ

Página 3 de 4

Produto: Azul de Metileno Hidratado
FISPQ n° 00601

Atualizada em: 15/02/2016

Ponto de fulgor: Não disponível

Densidade: Não disponível

Limites de explosão: Não disponível

Solubilidade em água: Não disponível

10. ESTABILIDADE E REATIVIDADE

Estabilidade de armazenamento:

Estável sob as condições recomendadas de armazenamento.

Materiais a evitar:

Agentes oxidantes fortes.

Produtos de decomposição perigosa:

Produtos perigosos de decomposição formados durante os incêndios: Óxidos de carbono, óxidos de azoto (NOx), óxido de enxofre e cloreto de hidrogênio gasoso.

11. INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

• **TOXICIDADE AGUDA:**

Não disponível.

• **TOXICIDADE SUBAGUDA A CRÔNICA:**

Não disponível.

• **CARCINOGENICIDADE:**

Nenhum componente deste produto apresenta níveis maiores ou iguais a 0,1% identificados como carcinogênico provável, possível ou confirmado pelo IARC.

• **OUTRAS INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS:**

Após inalação: Pode ser perigoso. Pode causar irritação do aparelho respiratório.

Após contato com a pele: Pode ser perigoso se absorto pela pele. Pode causar irritação.

Após contato com os olhos: Pode causar irritação.

Após ingestão: Nocivo.

Órgãos alvo: Sangue, Sistema Nervoso Central e olhos.

• **SINAIS E SINTOMAS DE EXPOSIÇÃO:**

Vômitos, diarreia, náusea, vertigem e dor de cabeça. A absorção pelo organismo leva à formação de metahemoglobina que em concentração suficiente provoca cianose. O início pode demorar de 2 às 4h ou mais.

12. INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

• **DEGRADABILIDADE:**

Não disponível.

• **ECOTOXICIDADE:**

Não disponível.

• **DADOS ECOLÓGICOS ADICIONAIS:**

Não disponível.

Figura 28 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do corante Azul de Metileno NEON. Parte 4/4.

NEON Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ

Página 4 de 4

Produto: Azul de Metileno Hidratado
FISPQ nº 00601

Atualizada em: 15/02/2016

13. CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

Descartar o produto, seus resíduos e suas embalagens de acordo com todos os regulamentos ambientais federais, estaduais e locais. Dissolver ou misturar o material com um solvente combustível e queimar em um incinerador químico equipado com pós-combustor e purificador de gases. Entrar em contato com um serviço profissional credenciado de descarte de lixo para descartar este material.

14. INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE

Este produto não é considerado perigoso para transporte.

15. REGULAMENTAÇÕES

NORMA ABNT NBR 14725-4:2014

16. OUTRAS INFORMAÇÕES

O transporte terrestre está sujeito a RESOLUÇÃO No 5232/2016 ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) e seus anexos

As informações acima foram obtidas de fontes confiáveis. Embora estas não sejam totalmente abrangentes, apresentam um vasto conhecimento referente às características do produto, devendo ser usadas como um guia. A Neon não deverá ter responsabilidade legal por quaisquer danos resultantes do manuseio ou do contato com o produto acima.

Figura 29 - Ficha de Especificações Técnicas do Produto Azul de Metileno NEON

NEON

Especificação Técnica do Produto

Neon Comercial Reagentes Analíticos Ltda
 CNPJ:00.327.149/0003-41 I.E.:672.313.766.110
 Rua Ernesto Joaquim de Souza, 575
 CEP: 08655-805 - Chácara Primavera, Suzano-SP
 Tel:(11)2219-9999 Fax:(11)2219-9999

Nro. CAS	122965-43-9	Fórmula Molecular	$C_{16}H_{18}ClN_2S \cdot xH_2O$	Peso Molecular	319,85
----------	-------------	-------------------	----------------------------------	----------------	--------

Nome	Azul de Metileno Hidratado P.A. (C.I. 52015)	Versão	2	Validade	5 Anos
Ref. Bibliográfica	USP 38ª Edição - Página 4341 // CONN's 10ª Edição - Página 299 à 300				
Elaborado por	Leandro Viana	Data	02/09/2005		
Revisado por	Felipe Gabriel Vicente Ferreira	Data	10/11/2017		
Aprovado por	Victor de Castro Cappelletto	Data	10/11/2017		

Observações	
-------------	--

Determinação	Especificação
Aparência	= Pó fino ou grumos verde escuro a marrom
Solubilidade em água	= Passa teste
Aparência da solução de solubilidade	= Líquido límpido azul
Absorbância máxima	entre 655nm e 675nm

Observações Gerais

Figura 30 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial (CD). Parte 1/6.

sigma-aldrich.com

SIGMA-ALDRICH
FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS

Versão 5.2
Data de revisão 10.03.2015
Data de impressão 15.04.2015

1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

1.1 Identificadores do produto
Nome do produto : CARVAO ATIVO (EM PO) PA

Referência do Produto : V000159
Marca : Vetec

1.2 Outros meios de identificação
Dados não disponíveis

1.3 Utilizações identificadas relevantes da substância ou mistura e utilizações desaconselhadas
Só para utilização R&D. Não para utilização farmacêutica, doméstica ou outras utilizações.

1.4 Identificação do fornecedor da ficha de dados de segurança
Companhia : Sigma-Aldrich Brasil Ltda.
Av. das Nações Unidas, 23.043
04795-100 SÃO PAULO - SP
BRAZIL

2. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

2.1 Classificação GHS
Não é uma substância ou uma mistura perigosa.

2.3 Outros Perigos - nenhum(a)

3. COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE OS INGREDIENTES

3.1 Substâncias
Formula : C
Peso molecular : 12.01 g/mol

De acordo com a norma aplicável não é necessário divulgar nenhum dos componentes.

4. MEDIDAS DE PRIMEIROS-SOCORROS

4.1 Descrição das medidas de primeiros socorros

Em caso de inalação
Se for respirado, levar a pessoa para o ar fresco. Se não respirar, dar respiração artificial.

Em caso de contacto com a pele
Lavar com sabão e muita água.

Se entrar em contacto com os olhos
Lavar os olhos com água como precaução.

Vetec - V000159 CARVAO ATIVO (EM PO) PA

Página 1 de 6
Data de revisão 10.03.2015

Figura 31 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial (CD). Parte 2/6..

Em caso de ingestão

Nunca dar nada pela boca a uma pessoa inconsciente. Enxaguar a boca com água.

- 4.2 Sintomas e efeitos mais importantes, tanto agudos como retardados**
Até onde sabemos, as propriedades químicas, físicas e toxicológicas não foram minuciosamente investigadas.
- 4.3 Indicações sobre cuidados médicos urgentes e tratamentos especiais necessários**
Dados não disponíveis

5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

5.1 Meios de extinção

Meios adequados de extinção

Utilizar água pulverizada, espuma resistente ao álcool, produto químico seco ou dióxido de carbono.

5.2 Perigos especiais decorrentes da substância ou mistura

Óxidos de carbono

5.3 Recomendações para o pessoal de combate a incêndios

Usar equipamento de respiração autônomo para combate a incêndios, se necessário.

5.4 Outras informações

Dados não disponíveis

6. MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO

6.1 Precauções individuais, equipamento de proteção e procedimentos de emergência

Evitar a formação de poeira. Evitar a respiração do vapor/névoa/gas.

6.2 Precauções a nível ambiental

Não são necessárias medidas de protecção ambiental especiais.

6.3 Métodos e materiais de confinamento e limpeza

Varrer e apanhar com uma pá. Manter em recipientes fechados adequados, para eliminação.

6.4 Remissão para outras secções

Para eliminação de resíduos ver secção 13.

7. MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

7.1 Precauções para um manuseamento seguro

Providenciar uma adequada ventilação em locais onde se formem poeiras.

7.2 Condições de armazenagem segura, incluindo eventuais incompatibilidades

Armazenar em local fresco. Guardar o recipiente herméticamente fechado em lugar seco e bem ventilado.

7.3 Utilizações finais específicas

Dados não disponíveis

8. CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

8.1 Parâmetros de controlo

Límites de exposição ocupacional

Não contem substâncias com valores limites de exposição profissional.

8.2 Controlo da exposição

Controlos técnicos adequados

Prática geral de higiene industrial.

Protecção individual

Protecção ocular/ facial

Use equipamento de protecção ocular testado e aprovado de acordo com as normas governamentais adequadas, tais como NIOSH (US) ou EN 166 (EU).

Figura 32 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial (CD). Parte 3/6.

Protecção da pele

Manusear com luvas. As luvas devem ser inspeccionadas antes da utilização. Use uma técnica adequada para a remoção das luvas (sem tocar a superfície exterior da luva) para evitar o contacto da pele com o produto. Descarte as luvas contaminadas após o uso, em conformidade com as leis e boas práticas de laboratório. Lavar e secar as mãos.

As luvas de protecção seleccionadas devem satisfazer as especificações da Directiva da UE 89/689/CEE e a norma EN 374 derivada dela.

Protecção do corpo

Escolher uma protecção para o corpo em relação com o tipo, a concentração e a quantidade da substância perigosa, e com o lugar de trabalho específico. O tipo de equipamento de protecção deve ser escolhido de acordo com a concentração e a quantidade da substância perigosa no local de trabalho.

Protecção respiratória

Não é necessária protecção respiratória. Se desejar protecção contra níveis de pó incomodativos, use máscaras de pó do tipo N95 (E.U.A.) ou do tipo P1 (EN 143). Use respiradores e componentes testados e aprovados por normas governamentais apropriadas, tais como as NIOSH (E.U.A.) ou CEN (UE).

9. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

9.1 Informações sobre propriedades físicas e químicas de base

a) Aspeto	Forma: grânulos Cor: preto
b) Odor	Dados não disponíveis
c) Limite de Odor	Dados não disponíveis
d) pH	Dados não disponíveis
e) Ponto de fusão/ponto de congelamento	3,550 °C
f) Ponto de ebulição inicial e intervalo de ebulição	Dados não disponíveis
g) Ponto de fulgor	Dados não disponíveis
h) Taxa de evaporação	Dados não disponíveis
i) Inflamabilidade (sólido, gás)	Dados não disponíveis
j) Limites de inflamabilidade superior / inferior ou explosividade	Dados não disponíveis
k) Pressão de vapor	1 hPa a 25 °C
l) Densidade de vapor	Dados não disponíveis
m) Densidade relativa	1.8 - 2.1 g/cm ³
n) Hidrossolubilidade	insolúvel
o) Coeficiente de partição n-octanol/água	Dados não disponíveis
p) Temperatura de auto-ignição	Dados não disponíveis
q) Temperatura de decomposição	Dados não disponíveis
r) Viscosidade	Dados não disponíveis

Figura 33 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial (CD). Parte 4/6.

10. ESTABILIDADE E REATIVIDADE
10.1 Reatividade Dados não disponíveis
10.2 Estabilidade química Dados não disponíveis
10.3 Possibilidade de reações perigosas Dados não disponíveis
10.4 Condições a evitar Dados não disponíveis
10.5 Materiais incompatíveis Agentes oxidantes fortes
10.6 Produtos de decomposição perigosos

11. INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS
11.1 Informações sobre os efeitos toxicológicos
Toxicidade aguda Dados não disponíveis DL50 intravenoso - Rato - 440 mg/kg
Corrosão/irritação cutânea Dados não disponíveis
Lesões oculares graves/irritação ocular Dados não disponíveis
Sensibilização respiratória ou cutânea Dados não disponíveis
Mutagenicidade em células germinativas Dados não disponíveis
Carcinogenicidade IARC: Nenhum componente deste produto presente a níveis maiores ou iguais a 0.1% é identificado como carcinogênio provável, possível ou confirmado pelo IARC.
Toxicidade à reprodução e lactação Toxicidade reprodutiva - Ratazana - Subcutâneo Efeitos sobre a fertilidade: Mortalidade post-implantação (por exemplo: nº de implantes mortos ou reabsorvidos por nº total de implantes)
Toxicidade sistêmica para órgãos-alvo específicos - exposição única Dados não disponíveis
Toxicidade sistêmica para órgãos-alvo específicos - exposição repetida Dados não disponíveis
Perigo de aspiração Dados não disponíveis
Possíveis danos para a saúde
Inalação Pode ser perigoso se for inalação. Pode causar uma irritação do aparelho respiratório.
Ingestão Pode ser perigoso se for engolido.
Pele Pode ser perigoso se for absorto pela pele. Pode causar uma irritação da pele.
Olhos Pode causar uma irritação dos olhos.

Figura 34 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial (CD). Parte 5/6.

Sinais e sintomas de exposição

Até onde sabemos, as propriedades químicas, físicas e toxicológicas não foram minuciosamente investigadas.

Informação adicional

RTECS: FF5250100

12. INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

12.1 Ecotoxicidade

Dados não disponíveis

12.2 Persistência e degradabilidade

Dados não disponíveis

12.3 Potencial biocumulativo

Dados não disponíveis

12.4 Mobilidade no solo

Dados não disponíveis

12.5 Resultados da avaliação PBT e mPmB

Dados não disponíveis

12.6 Outros efeitos adversos

Dados não disponíveis

13. CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

13.1 Métodos de tratamento de resíduos

Produto

Propor a entrega de soluções excedentes e não recicláveis a uma empresa idónea de tratamento de resíduos.

Embalagens contaminadas

Eliminar como produto Não utilizado.

14. INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE

14.1 Número ONU

ADR/RID: - DOT (US): - IMDG: - IATA: - ANTT: -

14.2 Designação oficial de transporte da ONU

ADR/RID: Mercadorias não perigosas

DOT (US): Mercadorias não perigosas

IMDG: Mercadorias não perigosas

IATA: Mercadorias não perigosas

ANTT: Mercadorias não perigosas

14.3 Classes de perigo para efeitos de transporte

ADR/RID: - DOT (US): - IMDG: - IATA: - ANTT: -

14.4 Grupo de embalagem

ADR/RID: - DOT (US): - IMDG: - IATA: - ANTT: -

14.5 Perigos para o ambiente

ADR/RID: não DOT (US): não IMDG Poluente marinho: não IATA: não

14.6 Precauções especiais para o utilizador

Dados não disponíveis

14.7 Numero De Risco

Figura 35 - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos do carvão comercial (CD). Parte 6/6.

15. REGULAMENTAÇÕES

15.1 Regulamentação/legislação específica para a substância ou mistura em matéria de saúde, segurança e ambiente

Esta Ficha de Informações de Produtos Químicos foi preparada de acordo com a NBR 14725-4/2012 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

16. OUTRAS INFORMAÇÕES

Outras informações

Direitos exclusivos, 2015, da Sigma-Aldrich Co. LLC. Permissão concedida para fazer número ilimitado de cópias em papel, somente para uso interno.

Acredita-se que as informações acima estejam correctas, embora não pretendam ser totalmente abrangentes, devendo ser usadas apenas como um guia. A informação contida neste documento esta baseada no presente estado do nosso conhecimento e é aplicável às precauções de segurança apropriadas para o produto. Não representa nenhuma garantia das propriedades do produto. A Corporação Sigma-Aldrich e as suas companhias afiliadas, não responderão por nenhum dano resultante do manuseio ou do contato com o produto acima. Consultar www.sigma-aldrich.com e/ou o verso da factura ou nota que acompanha o produto para tomar conhecimento dos termos adicionais e condições de venda.
