



MONA MELLISSA OLIVEIRA CRUZ

**EFEITO DA VARIAÇÃO DA MASSA DE CARVÃO VEGETAL
DE AÇAÍ NA REMOÇÃO DE SURFACTANTE EM EFLUENTE
VIA LEITO FIXO**

MONA MELLISSA OLIVEIRA CRUZ

**EFEITO DA VARIAÇÃO DA MASSA DE CARVÃO VEGETAL
DE AÇAÍ NA REMOÇÃO DE SURFACTANTE EM EFLUENTE
VIA LEITO FIXO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Colegiado de Curso da Engenharia Química
do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da
Universidade Federal do Maranhão, como
parte dos requisitos para obtenção do diploma
de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Pereira Rodrigues

São Luís
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Oliveira Cruz, Mona Mellissa.

EFEITO DA VARIAÇÃO DA MASSA DE CARVÃO VEGETAL DE AÇAÍ
NA REMOÇÃO DE SURFACTANTE EM EFLUENTE VIA LEITO FIXO /
Mona Mellissa Oliveira Cruz. - 2022.

38 p.

Orientador(a): José Roberto Pereira Rodrigues.

Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do
Maranhão, SÃO LUÍS, 2022.

1. Açaí. 2. Adsorção. 3. Carvão. 4. Leito Fixo. 5.
Surfactante. I. Pereira Rodrigues, José Roberto. II.
Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO PEREIRA RODRIGUES
Orientador – COEQ/CCET/UFMA

Prof Dr. FÁBIO ALEJANDRO CARVAJAL FLOREZ
COEQ/CCET/UFMA

Prof. VINICIUS FERREIRA DA SILVEIRA

25 de novembro de 2022

DADOS CURRICULARES

Mona Mellissa Oliveira Cruz

NASCIMENTO 04/03/1998 – SÃO LUÍS / MA

FILIAÇÃO Josélia dos Santos Oliveira
Manoel Pereira Cruz

2016/2022 Curso de Graduação
Engenharia Química - Universidade Federal do Maranhão

Dedico este trabalho aos meus pais e professores que sempre estiveram ao meu lado nesta caminhada, e aos meus colegas de curso que contribuíram para o meu crescimento e aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus. Agradeço ao meu orientador, Prof. José Roberto Pereira Rodrigues pelo seu incentivo e orientação. Aos meus pais, Manoel Cruz e Josélia Oliveira, meus irmãos Monallysa Cruz e José Joaquim, e amigos Lailson de Sousa, Emanuelle Menezes, Isabelle Menezes e Carla Maria que estiveram presentes ao longo desta graduação, contribuindo com apoio e companheirismo em todos os momentos.

CRUZ, Mona Mellissa Oliveira. **Efeito da variação de massa de carvão vegetal de açaí na remoção de surfactante em efluente via leito fixo**. 2022. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

RESUMO

O constante lançamento de resíduos industriais e domésticos nas redes de efluentes vêm aumentando gradativamente ao longo dos anos, acarretando assim, grandes impactos às espécies da fauna e flora. Diante disto, busca-se a ideia de um desenvolvimento sustentável, que nesse contexto tem como objetivo devolver a água utilizada em plantas industriais e/ou mesmo em casas e condomínios para o ambiente nas mesmas condições físico químicas adequadas ao meio ambiente. Sabemos que diversos estudos vêm sendo desenvolvidos na tentativa de solucionar tal problema de descartes inadequados e poluição aquática. Um processo bastante conhecido e já utilizado é a adsorção em carvão, que diante aos outros métodos, possui uma grande vantagem, isso porque possui baixo custo, fácil acesso e alta eficiência. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da variação de massa de carvão no processo de adsorção do poluente industrial Dodecil Sulfato de Sódio (SDS) em coluna de leito fixo recheado com carvão obtido do caroço de açaí. Esse estudo foi analisado a partir dos resultados obtidos de ensaio em leito fixo, onde acompanhou-se o efeito da variação da massa no processo de adsorção do surfactante SDS em uma solução de SDS a uma concentração de 0.05 ppm em leito fixo recheado com massa de carvão vegetal de açaí de 3,1939 g e uma altura preenchida de 7,5 cm; 6,26 g e uma altura de 15 cm; e por fim, uma massa de 12,1314g com uma altura de 30cm, calcinado em auto forno a uma temperatura de 350°C, a uma vazão fixa de 0,04 mL/s. Conclui-se que a utilização do carvão vegetal de açaí como meio adsorvente em leito fixo, além de fácil obtenção e de baixo custo, acaba fornecendo um destino apropriado para o que antes era considerado apenas resíduo em lixão a céu aberto na cidade de São Luís/MA.

Palavras-chave: Adsorção, surfactante, carvão, açaí, leito fixo.

CRUZ, M. M. O. **Effect of açaí charcoal mass variation on surfactant removal in effluent via fixed bed.** 2022. 38 f. Graduate Work (Graduate in Chemical Engineering), São Luís, 2022.

ABSTRACT

The constant release of industrial and domestic waste into the effluent networks has gradually increased over the years, thus causing major impacts on the species of fauna and flora. In view of this, the idea of sustainable development is sought, which in this context aims to return the water used in industrial plants and/or even in houses and condominiums to the environment in the same physical and chemical conditions suitable for the environment. We know that several studies have been developed in an attempt to solve this problem of inadequate disposal and water pollution. A well-known and already used process is coal adsorption, which, compared to other methods, has a great advantage, because it has low cost, easy access and high efficiency. In this sense, the present work aims to evaluate the effect of varying the mass of charcoal on the adsorption process of the industrial pollutant Sodium Dodecyl Sulfonate (SDS) in a fixed bed column filled with charcoal obtained from the açaí seed. This study was analyzed based on the results obtained from a fixed bed test, where the effect of mass variation on the SDS surfactant adsorption process in an SDS solution at a concentration of 0.05 ppm in a fixed bed filled with a mass of 3.1939 g açaí charcoal and a filled height of 7.5 cm; 6.26 g and a height of 15 cm; and finally, a mass of 12.1314g with a height of 30cm, calcined in an auto-furnace at a temperature of 350°C, at a fixed flow rate of 0.04 mL/s. It is concluded that the use of charcoal from açaí as an adsorbent medium in a fixed bed, in addition to being easy to obtain and inexpensive, ends up providing an appropriate destination for what was previously considered only waste in an open-air dump in the city of São Luís-MA.

Keywords: Adsorption, surfactant, coal, açaí, fixed bed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma acerca das diversas aplicações do fruto do açaizeiro	4
Figura 2 – Representação do caroço de açaí antes da extração da polpa	5
Figura 3 – Esquema de um processo de pirólise aplicado à biomassa	7
Figura 4 – Principais componentes da biomassa lignocelulósica e suas transformações mediante tratamento térmico em leito fixo.	8
Figura 5 – Representação da estrutura molecular do dodecil sulfato de sódio	9
Figura 6 – Representação dos resíduos da extração da polpa de açaí usado como material adsorvente	12
Figura 7 – Carvão vegetal obtido a partir dos resíduos da extração da polpa de açaí à 350°C.	13
Figura 8 – Sistema experimental utilizado para remoção do SDS em leito fixo com carvão vegetal de açaí: 1) pHmetro, 2) tanque reservatório com solução de SDS, 3) suporte para o tanque reservatório, 4) bomba peristáltica, 5) tubulação “mangueira”, 6) coluna de leito fixo “vidro” e 7) sistema de fixação da coluna “suporte universal”	14
Figura 9 – Variação pH em função do tempo de contato durante a remoção de SDS em leito fixo com carvão vegetal de açaí com granulometria de 1.18mm	18
Figura 10 – Variação pH em função do tempo de contato durante a remoção de SDS em leito fixo com carvão vegetal de açaí com granulometria de 2.36mm	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química do caroço de açaí	6
Tabela 2 - Principais características relacionadas aos fenômenos de quimissorção e fisissorção.	11
Tabela 3 – Parâmetros físicos de processo para as condições experimentais em leio fixo.....	16
Tabela 4 – Análise do tempo de preenchimento da coluna vazia em diferentes vazões	17
Tabela 5 – Análise empírica do tempo de preenchimento da coluna recheada com diferentes massas de carvão de aça com granulometria de 1.18mm e vazão de 0.04ml/s	17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

pH	Potencial Hidrogeniônico
SDS	Dodecil Sulfato de Sódio

LISTA DE SÍMBOLOS

V	volume
m	massa
ρ	densidade
D	diâmetro
T	temperatura
L	comprimento
L_u	comprimento útil
ε	porosidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	01
2	OBJETIVOS.....	02
2.1	Objetivos Gerais.....	02
2.2	Objetivos Específicos.....	03
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
3.1	Caroço de açaí.....	03
3.1.1	Descarte inadequado de resíduos de caroços do açaí.....	05
3.1.2	Processo de calcinação do caroço de açaí.....	06
3.2	O dodecil sulfato de sódio (SDS).....	08
3.3	Cinética e equilíbrio no processo de adsorção.....	09
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4.1	Local da pesquisa.....	11
4.2	Material.....	11
4.3	Preparo do carvão vegetal de açaí.....	12
4.4	Determinação dos parâmetros físicos do sistema.....	13
4.5	Determinação do tempo de contato em leito.....	14
4.6	Avaliação do efeito das variáveis de processo.....	14
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5.1	Análise dos parâmetros de processo físico para as condições experimentais.....	15
5.2	Análise do tempo de preenchimento do leito.....	16
5.3	Análises das variáveis de processo na remoção de SDS.....	17
6	CONCLUSÃO.....	18
7	REFERÊNCIAS.....	18

1 INTRODUÇÃO

O crescimento industrial e populacional tem como consequência o aumento da geração de efluentes ricos em diversos tipos de contaminantes, que são, muitas vezes, lançados nos rios e mares sem tratamento adequado acarretando prejuízos à vida e ao meio ambiente. A poluição das águas pode ocorrer de diversos modos incluindo-se a poluição química, em todos os seus aspectos; a poluição física, devido a descarga de material em suspensão; e a poluição biológica, resultante da descarga de bactérias patogênicas, vírus e outros organismos (BENN, MCAULIFFE; 1981).

Dentre as várias substâncias e/ou espécies tóxicas encontradas em recursos hídricos uma considerável quantidade de surfactante vem sendo ao longo dos anos liberada no ambiente, causando problemas de poluição, principalmente em cidades cortadas por rios (BEZERRA, 2012). Estes surfactantes são responsáveis por causar espuma nos rios, reduzindo a dissolução do oxigênio na água e causando riscos ambientais para organismos aquáticos (EICHHORN, 2002).

Surfactante, também chamado de tensoativo, vem da expressão *surface active agent*, que significa agente de atividade superficial. Os surfactantes são moléculas anfipáticas formadas por uma parte hidrofóbica e uma hidrofílica (NITSCHKE e PASTORE, 2002).

Por terem origem sintética e estruturas moleculares aromáticas complexas, os surfactantes, assim como os tensoativos, se tornam mais estáveis nas condições ambientais, sob os efeitos da luz, pH e ataque microbiológico e têm maior dificuldade de biodegradação (GULNAZ et al., 2006; FU & VIRARAGHEVAN, 2001). Por conta disso, o tratamento destas espécies contaminantes, através da aplicação de tratamentos biológicos ou tradicionais, como o lado ativado ou biodigestores tornam-se pouco eficientes para a remoção destes nos efluentes gerados.

Por outro lado, no Estado do Maranhão há uma crescente busca pelo reaproveitamento dos resíduos da cadeia produtiva de polpa do fruto açaí, descobriu-se que a partir dos estudos de Reis et al. (2002) o potencial calorífico do caroço de açaí no processo de combustão tem média 4.500 Kcal/Kg. E segundo Nagaishi (2007) o seu uso energético pode se mostrar uma saída viável economicamente, se bem aplicada, gerando benefícios socioambientais e oferecendo um bom valor agregado.

O processo de fluidização, por sua vez, apresenta-se também como uma técnica viável e adequada para o aproveitamento do caroço de açaí e a remoção de surfactantes dos

efluentes.

A fluidização é um processo recorrente no setor industrial, utilizado quando é necessário a troca de massa e calor simultaneamente, possibilitando a diminuição de várias etapas para atingir o resultado desejado, tendo assim um bom custo benefício (GOMIDE, 1980).

Segundo Roitman (2002), a fluidização baseia-se na circulação de sólidos com um fluido, que impede a existência de gradientes de temperatura, pois promove um bom contato entre o fluido e a partícula, diminuindo assim as suas resistências no transporte de massa e calor.

A introdução do fluido pela base do leito contendo sólidos pode causar a fluidização das partículas, e com o aumento gradual da velocidade superficial do fluido no leito, alguns regimes podem ser identificados, são eles: Leito fixo, fluidização borbulhante, fluidização turbulenta e transporte pneumático (GRACE et al.,1997).

No leito fixo o fluido encontra-se em uma baixa vazão e percorre os espaços entre as partículas estacionadas. A transição do leito fixo para o leito fluidizado é delineada pela velocidade mínima de fluidização, a qual é a menor velocidade na qual todas as partículas do leito estão suspensas pelo fluido (KUNII e LEVENSPIEL,1991). Sendo a velocidade mínima de fluidização determinada no ponto em que a queda de pressão no leito diminui com o aumento da velocidade superficial do fluido de entrada, após um aumento contínuo que ocorre enquanto o leito está fixo (GRACE et al.,1997).

Para as indústrias, a busca por novas tecnologias de tratamento de efluentes encontra-se na necessidade de processos mais eficientes na remoção dos contaminantes, processos menos onerosos, de menor custo de instalação e operação, unidades mais compactas que operem com maior flexibilidade e com bom desempenho na remoção dos compostos tóxicos (GUELLI U. DE SOUZA et al., 2008).

Diante deste cenário a utilização do carvão obtido do caroço de açaí no processo de adsorção do poluente do Dodecil Sulfato de Sódio (SDS) em colunas de leito fixo, apresenta-se como uma nova alternativa sustentável para a diminuição desta problemática.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da variação de massa de carvão no processo de adsorção do poluente industrial Dodecil Sulfato de Sódio (SDS) em coluna de leito fixo recheado com carvão obtido do caroço de açaí.

2.2 Objetivos específicos

- I. Estabelecer as melhores condições para aproveitamento do carvão do caroço de açaí como recheio em coluna de leito fixo;
- II. Analisar a atividade de adsorção do caroço de açaí em relação ao poluente Dodecil Sulfato de Sódio (SDS) através do potencial hidrogeniônico e da variação da massa de carvão;
- III. Observar o potencial de aproveitamento do caroço de açaí como adsorvente natural para limpeza de efluentes industriais com alto teor de SDS.

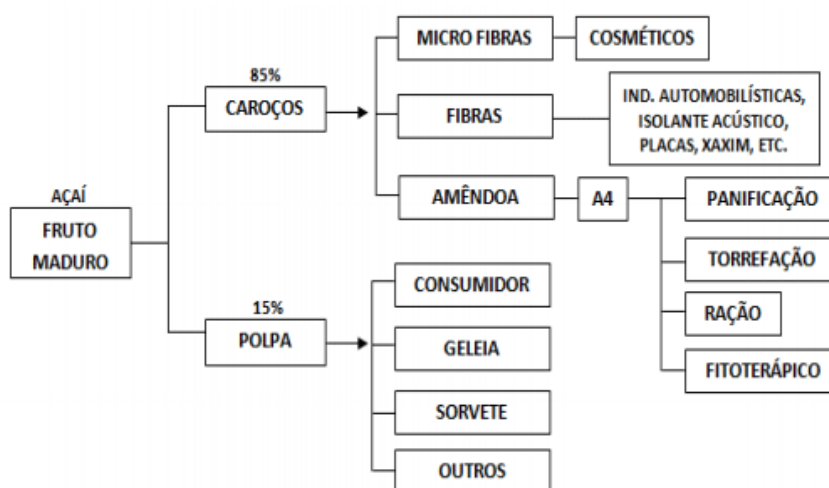
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O CAROÇO DE AÇAÍ

O açaí é uma fruta de elevado valor socioeconômico para a população amazônica e é produzido por uma palmeira conhecida como açaízeiro (*Euterpe oleracea*, Mart.) (GANTUSS, 2006). O principal produto obtido a partir desta fruta é conhecido como "vinho do açaí", sendo considerado como um alimento predominante no dia-a-dia de muitas famílias (PEREIRA & RODRIGUES, 2013). O fruto do açaí possui formato arredondado, com diâmetro de 1 a 2 cm e peso médio variando de 0,8 a 2,3 g. Além disso, seu epicarpo possui cor violáceo-púrpura quase negro. O mesocarpo é bastante fino, dispondo de apenas 1 a 2 mm de espessura. A parte comestível do fruto relaciona-se ao mesocarpo e epicarpo (REIS et al., 2002).

As palmeiras localizam-se, principalmente, no baixo Amazonas, Tocantins, Maranhão e Amapá, chegando até as Guianas e a Venezuela. Devido a sua cor roxa escura, seu sabor exótico e seu alto valor nutricional, acabou ganhando o interesse de consumidores no mundo inteiro (COSTA, 2014). Ademais, quanto a sua utilização, o açaí é extremamente versátil. Ele pode ser empregado como planta ornamental no paisagismo, na cobertura de moradias de áreas rurais, na alimentação, como remédio – vermífugos, como ração animal, como adubo orgânico, etc. A Figura 1 a seguir descreve as diversas aplicações do fruto do açaízeiro. No que se refere ao mercado, a demanda por açaí é crescente, sendo um produto comercializado em todo o território brasileiro, não se restringindo apenas à região produtora (JUNQUEIRA, BASSO & SOUZA, 2017).

Figura 1 – Fluxograma acerca das diversas aplicações do fruto do açaízeiro.



Fonte: Costa, 2014.

Em meio a esse contexto, observa-se que o caroço de açaí é considerado como o principal subproduto do processamento do fruto para a obtenção da polpa. (CORDEIRO et al., 2017). O caroço constitui aproximadamente 83% do fruto e é formado por um pequeno endosperma sólido ligado a um tegumento que na maturidade é rico em celulose, hemicelulose e cristais de inulina, antes é rico em lipídeos. Um epicarpo fibroso, rico em sílica e um endocarpo pouco lenhoso (REIS et al., 2002). Devido à enorme quantidade de açaí comercializada atualmente, os resíduos gerados são muito grandes. Esse resíduo consiste basicamente em caroço, sementes e fibras (RANGEL, 2014). A Figura 2 representa o caroço de açaí antes da extração da sua polpa.

Figura 2 – Representação do caroço de açaí antes da extração da polpa.



Fonte: Distribuidora BH, 2022.

3.1.1 Descarte inadequado de resíduos de caroços do açaí

A Política Nacional de Resíduos (BRASIL, 2010) determina que todos os resíduos devem possuir um destino ambientalmente adequado. Algumas maneiras de evitar danos à saúde pública e minimizar os impactos ambientais é através da reciclagem, compostagem, recuperação ou aproveitamento energético. Entretanto, observa-se que os resíduos originados pelo despulpamento do fruto do açaí estão sendo tratados como lixo urbano, o que ocasiona diversos transtornos para a coleta e faz com que esses rejeitos não possuam o tratamento adequado (COSTA, 2014). Esse descarte inapropriado é responsável por produzir entulhos nas ruas das cidades, terrenos baldios e lixões clandestinos, podendo gerar gases de efeito estufa quando reagidos com outros elementos (CORDEIRO et al., 2017). Além disso, esse caroço é um material de difícil decomposição, por apresentar um alto teor de lignina, variando de 11,5 a 24% (PEREIRA & RODRIGUES, 2013).

Uma possível solução para essa problemática seria o desenvolvimento de projetos que promovessem o beneficiamento do caroço do açaí por parte do poder público, frisando a

importância de um destino final ecologicamente correto a esse resíduo. Todavia, a inexistência dessas medidas estimula o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a um melhor aproveitamento desse subproduto (COSTA, 2014). Esse rejeito pode ser transformado em combustível de biomassa verde, na forma de peletes, possuindo diversas aplicações, tais como geração de energia elétrica, mecânica e gás combustível (CORDEIRO et al., 2017).

Além disso, o elevado potencial calorífico que o caroço de açaí possui reforça a sua utilidade para a geração de energias diversas. Estudos comprovam que a potência calorífica do caroço no processo de combustão figura em torno de 4.500 Kcal/Kg. A composição química desse subproduto também apresenta uma alta quantidade de celulose, lignina e um baixo teor de cinza e umidade, que enfatizam a sua possível aplicação para a produção de carvão vegetal, conferindo valor agregado a esse resíduo (CORDEIRO et al., 2017). A Tabela 1 descreve a composição química do caroço de açaí.

Tabela 1- Composição química do caroço de açaí.

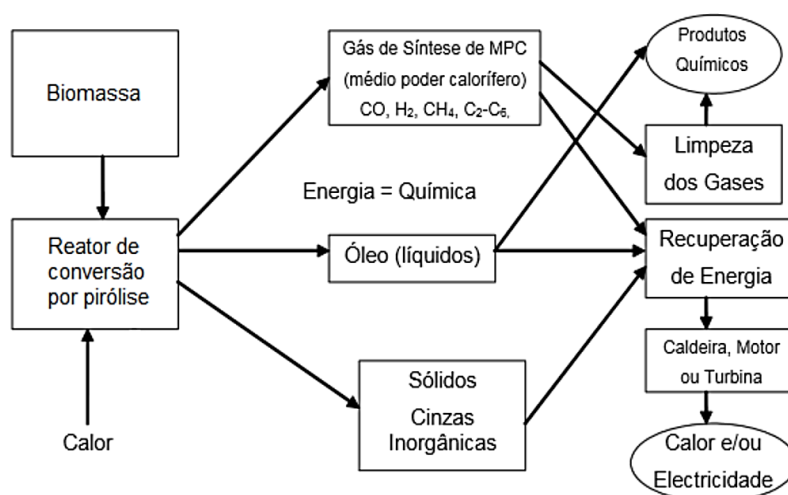
Componente	Valor percentual
Umidade	9,60%
Extrato estéreo	3,01%
Extrato alcoólico	9,32%
Extrato aquoso	2,80%
Proteínas brutas	4,34%
Hemicelulose	12,26%
Celulose	34,41%
Lignina	12,72%
Cinzas	1,34%

Fonte: Reis et al., 2002.

3.1.2 Processo de calcinação do caroço de açaí

Os materiais lignocelulósicos possuem biopolímeros em sua composição, que consistem em vários tipos de células, cujas paredes celulares são compostas de celulose, hemicelulose e lignina. Esses três componentes essenciais, quando combinados, tornam-se insolúveis e são de difícil separação. Uma das formas mais antigas e simples de converter esses materiais lignocelulósicos em outros tipos de químicos é através da pirólise. Esse processo consiste, basicamente, na degradação de materiais macromoleculares a partir do calor e em ausência de oxigênio (MEIER & FAIX, 1999). Esse fenômeno também pode ser chamado de termólise ou craqueamento térmico e é especialmente adequado para a reciclagem química de resíduos. A Figura 3 ilustra um resumo esquemático acerca do processo de pirólise aplicado à biomassa.

Figura 3 – Esquema de um processo de pirólise aplicado à biomassa.



Fonte: Ipen, 2015.

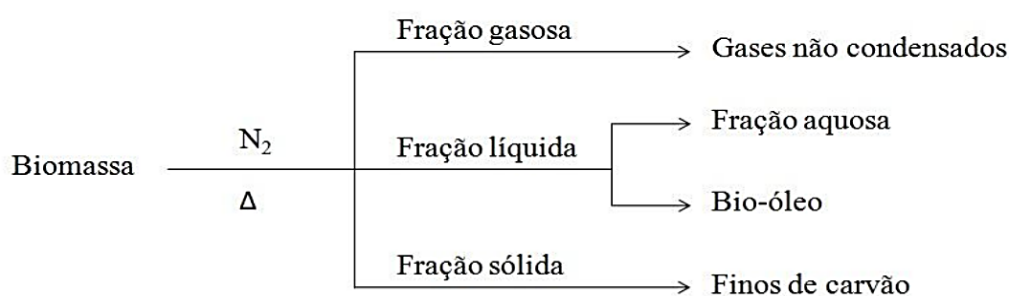
O termo pirólise é responsável por caracterizar a decomposição térmica de materiais que contêm carbono, em ausência total de oxidante. Dessa forma, madeira, resíduos agrícolas ou qualquer outro tipo de material orgânico é capaz de sofrer decomposição, originando três diferentes fases. A primeira fase é a sólida, conhecida como carvão vegetal, a segunda fase é a gasosa e a terceira é a líquida, normalmente designada de fração pirolenhosa. Além disso, o tipo de matéria orgânica utilizada no procedimento é capaz de variar a presença de oxigênio, sendo que a introdução desse composto permite a continuidade desse fenômeno, proporcionando um aumento de rendimentos (PANNIRSELVAM et al., 2005).

No que se refere às fases formadas durante a pirólise, a fração sólida consiste principalmente em cinzas e carbono, sendo este dependente da temperatura empregada no

processo. Esses produtos podem ser utilizados para a fabricação de carvão vegetal e também como combustíveis (LORA, 2012). Já a fase líquida, também conhecida como óleos pirolíticos, constitui-se de uma mistura complexa de componentes aromáticos e alifáticos oxigenados. De modo geral, essa fração líquida é caracterizada por hidrocarbonetos que possuem um importante conteúdo energético, podendo ser aproveitada em câmaras de combustão, motores a diesel e turbinas (SANTOS, 2017). Além disso, a fração gasosa também é combustível, sendo constituída, em sua maior parte, por hidrocarbonetos (LORA, 2012).

No processo de pirólise do caroço de açaí, a hemicelulose é o primeiro componente a sofrer decomposição, geralmente entre 200 e 260°C. Essa decomposição produz ácido acético, furfural e furano. Já a celulose se degrada entre temperaturas que variam de 240 a 350°C, resultando principalmente em formaldeído, hidroxiacetaldeído, acetol, levoglucosano e 5- hidroximetilfurfural. Ademais, a lignina, por possuir maior complexidade estrutural, forma uma enorme variedade de produtos, como pequenas quantidades de fenóis monoméricos e fragmentos oligoméricos. E, por último, tem-se a fração mais pesada do bio-óleo, sendo o último componente a se degradar em temperaturas que podem variar de 280 a 500°C. Esta degradação é capaz de produzir fenol e seus derivados, como catecol resorcinol, hidroquinona, guaiacol, eugenol, siringol, cresol, dimetilfenol e trimetil fenol, além de produtos oligoméricos, principalmente em que o anel benzênico se polimeriza, como naftaleno, antraceno e bifenilo (SANTOS, 2017). A Figura 4 apresenta um resumo esquemático acerca dos principais componentes da biomassa lignocelulósica e suas transformações mediante tratamento térmico em leito fixo.

Figura 4 - Principais componentes da biomassa lignocelulósica e suas transformações mediante tratamento térmico em leito fixo.

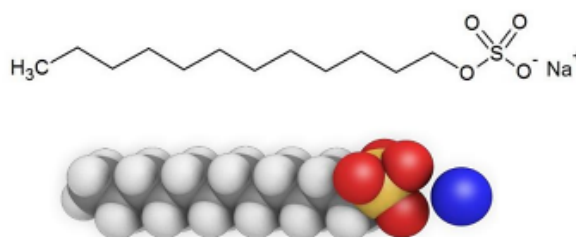


Fonte: Figueiredo, 2011.

3.2 O DODECIL SULFATO DE SÓDIO (SDS)

O dodecil sulfato de sódio (SDS) é um composto aniônico sintético que possui uma cadeia de hidrocarbonetos simples, como ilustra a Figura 5. Essa substância é bastante utilizada em indústrias de produtos de limpeza, bem como na produção de produtos como papel e polímeros (ARAÚJO, 2016).

Figura 5 – Representação da estrutura molecular do Dodecil sulfato de sódio.



Fonte: Araújo, 2016.

Esse composto integra um grupo denominado de “surfactantes” ou também “tensoativos”. Esses surfactantes são caracterizados por moléculas dotadas de características anfífilas, ou seja, possuem na mesma molécula uma porção hidrofílica ou polar, denominada cabeça, e uma cadeia hidrofóbica ou apolar, a qual é referida como cauda (GOMES, NASCIMENTO & SILVA, 2016).

A presença de duas regiões distintas em uma mesma molécula é capaz de proporcionar uma grande capacidade de adsorção, seja na sua interface ar-água ou óleo-água, bem como na superfície de sólidos.

Devido às suas características, essas substâncias atuam como detergentes ou agentes emulsificantes, encontrando um amplo campo de atuação (PIRES, 2002). Nesse cenário, uma considerável quantidade de surfactantes é liberada no ambiente, causando, principalmente, poluição aquática. Esses tensoativos provocam espumas nos rios e na superfície das águas. Como uma tentativa de mitigar esses problemas ambientais, a adsorção surgiu como uma potencial opção, tendo em vista o seu baixo custo e alta eficiência.

3.3 CINÉTICA E EQUILÍBRIO NO PROCESSO DE ADSORÇÃO

A crescente contaminação química da água a partir de uma ampla gama de poluentes orgânicos e inorgânicos estimulou o desenvolvimento de tecnologias capazes de remover esses poluentes encontrados nos rejeitos. A partir desse cenário, a adsorção ganhou, nas últimas décadas, grande visibilidade como um processo de separação e purificação

(NASCIMENTO et al., 2014). Esse processo apresenta um elevado potencial de aplicação industrial para a remoção ou separação de substâncias poluentes, visando a redução dos impactos ambientais causados por diversas indústrias (BARROS, 2017).

Dessa forma, a adsorção está relacionada ao enriquecimento de um ou mais componentes em uma região interfacial (FONTAN, BONOMO & COIMBRA, 2016). Essa operação de transferência de massa do tipo sólido-fluido explora a capacidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas, o que permite separá-las dos demais componentes dessas misturas (SANTOS, 2017). Os componentes que se unem à superfície são chamados de adsorvatos, já a fase sólida que retém o adsorvato é chamada de adsorvente (RIBEIRO, 2016).

O grau de adsorção depende das condições termodinâmicas, da superfície do adsorvente e das interações entre adsorvente e adsorvato (CÂMARA, 2014). Para que essa operação seja realizada de forma satisfatória, faz-se necessário que a substância a ser adsorvida apresente afinidade com o material adsorvente (BARROS, 2017). Além disso, uma vez que os componentes adsorvidos ficam concentrados sobre a superfície externa, quanto maior for esta superfície externa por unidade de massa sólida, mais favorável será a adsorção (NASCIMENTO et al., 2014). Tendo em vista que a capacidade adsorvativa por unidade de área é baixa, é importante utilizar adsorventes porosos, com grande área interna por unidade de volume (FONTAN, BONOMO & COIMBRA, 2016).

Por ser um fenômeno que ocorre quando as moléculas, ao se difundirem em uma fase fluida, são capturadas por forças atrativas de uma superfície sólida adjacente, faz-se necessário enfatizar que essa superfície apresenta descontinuidades na estrutura do sólido, disponibilizando energias residuais que não são contrabalanceadas pela vizinhança presente no corpo da estrutura. Essas forças residuais são o que se conhece por interações de Van der Waals (FONTAN, BONOMO & COIMBRA, 2016). Na maioria dos casos, o componente adsorvido é preso forte o suficiente para permitir a remoção completa deste componente do fluido e uma pequena adsorção de outros componentes (BARROS, 2018).

Quando moléculas de uma fase fluida entram em contato com o sólido adsorvente, as forças de atração existentes entre o adsorvente e o adsorvato estimulam o acúmulo deste na superfície sólida (FONTAN, BONOMO & COIMBRA, 2016). A atração do sólido por certos tipos de moléculas é tão intensa que praticamente todas as moléculas incidentes podem ficar retidas até saturarem os sítios ativos ou até que as condições da superfície sofram alterações de modo a reduzir essas forças de atração (GOMIDE, 1988). A união entre o adsorvente e o

adsorvato pode ser tão forte, a ponto de apresentar características de uma reação química. Esse tipo de adsorção é denominado de quimissorção ou adsorção química e é irreversível, apresentando elevado interesse no que se refere à catálise heterogênea. Por outro lado, quando a união entre o adsorvato e o adsorvente é fraca, o processo é chamado de fisissorção ou adsorção física, podendo ser invertido com facilidade (RIBEIRO, 2016). A Tabela 2 expõe, de maneira resumida, as principais características relacionadas aos fenômenos de quimissorção e fisissorção, que serão melhor abordados posteriormente.

Tabela 2 - Principais características relacionadas aos fenômenos de quimissorção e fisissorção.

Adsorção Física	Adsorção Química
Causada por forças eletrostáticas, como de van der Waals.	Causada por compartilhamento de elétrons
Não há transferência de elétrons	Há transferência de elétrons
Calor de adsorção = 2~6 Kcal mol ⁻¹	Calor de adsorção = 10~200 Kcal mol ⁻¹
Fenômeno geral para qualquer espécie	Fenômeno específico e seletivo
A camada adsorvida pode ser removida por aplicação de vácuo à temperatura de adsorção	A camada adsorvida só é removida por aplicação de vácuo e aquecimento a temperatura acima da de adsorção
Formação de multicamada abaixo da temperatura crítica	Somente há formação de monocamadas
Acontece somente abaixo da temperatura crítica	Acontece também a altas temperaturas
Lenta ou rápida	Instantânea
Adsorvente quase não é afetado	Adsorvente altamente modificado na superfície

Fonte: Clark, 2010.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL DA PESQUISA

Os experimentos realizados no presente plano de trabalho foram executados no Laboratório de Materiais e Engenharia de Processos - LaMEP/LEPEQ e no Laboratório de Design Cerâmico – LDC/DEDET, ambos localizados na Universidade Federal do Maranhão.

4.2 MATERIAL

Como material adsorvente foram utilizados os resíduos da extração da polpa do açaí. Na figura 6 é possível observar uma representação dos resíduos utilizados.

Figura 6 – Representação dos resíduos da extração da polpa de açaí usado como material adsorvente.



Fonte: Próprio autor, 2022.

Como efluente foi utilizada uma solução de Dodecil Sulfato de Sódio (SDS), da marca Merck Millipore, número de catálogo 817035, número CAS 151-21-3 e massa molar de 288,38 g/mol, com concentração fixa de 0,5ppm.

4.3 PREPARO DO CARVÃO VEGETAL DE AÇAÍ

Após recebimentos dos resíduos, foi realizado o peneiramento, com o objetivo de separar o caroço de açaí. Após a separação, os caroços foram submetidos à lavagem com água corrente e secagem em estufa durante 3 horas à 100°C. Em seguida, foram colocados em um forno e submetidos a uma calcinação á 350°C com duração de 3 horas e taxa de aquecimento de 10°C por minuto. O carvão preparado seguiu, então, para lavagem em água

corrente e posterior secagem em estufa durante 3 horas à 100°C. Após essa etapa de calcinação, o carvão (ver figura 7) passou por um peneiramento no qual foi obtida as faixas granulométrica desejada, e em seguida sendo armazenadas.

Figura 7 – Carvão vegetal obtido a partir dos resíduos da extração da polpa de açaí à 350°C.



Fonte: Próprio autor, 2022.

4.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS DO SISTEMA

Para o estudo das características físicas do sistema foram utilizadas as fórmulas de densidade aparente (Equação 01), volume aparente (Equação 02), densidade de empacotamento (Equação 03) e porosidade do leito (Equação 04). Essas expressões matemáticas foram obtidas através de informações do leito e da amostra, tais como área e volume da coluna vazia e ensaio de proveta para avaliação da densidade aparente.

$$\rho_A = \frac{m_{adsorvente}}{V_{proveta}} \quad \text{Eq(01)}$$

Onde $m_{adsorvente}$ corresponde à massa de adsorvente presente na proveta (g) e $V_{proveta}$ se refere ao volume da proveta (cm³).

$$V_{aparente} = \frac{m_{ads.leito}}{\rho_A} \quad \text{Eq(02)}$$

Sendo $m_{ads.leito}$ referente à massa de adsorvente presente no leito (g) e ρ_A , a densidade aparente (g/cm³), já previamente calculada.

$$\rho_E = \frac{m_{ads.leito}}{V_{leito}} \quad \text{Eq(03)}$$

No qual $m_{ads.leito}$ é correspondente à massa de adsorvente presente no leito (g) e V_{leito} caracteriza o volume total do leito (cm³).

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_E}{\rho_A} \quad \text{Eq(04)}$$

Onde ρ_E é a densidade de empacotamento (g/cm³) e ρ_A , a densidade aparente (g/cm³).

4.5 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CONTATO EM LEITO

O ensaio teste de preenchimento de leito foi realizado com a coluna vazia e com 3 (três) diferentes massas de carvão 3.19g, 6.26g e 12.13g em presença de solução SDS. Foram também empregadas quatro vazões no estudo, reguladas pelas velocidades angulares da bomba peristáltica de 0.02ml/s, 0.04ml/s e 0.065ml/s. Os tempos, obtidos em duplicata, foram submetidos ao cálculo de média.

4.6 AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO

A avaliação das variáveis de processo, foi feita a partir do estudo da remoção do surfactante dodecil sulfato de sódio. Os ensaios de remoção do SDS foram realizados em uma coluna de leito fixo de vidro, acoplada a um sistema de armazenamento de efluente, sendo que esse efluente era transportado através de uma bomba peristáltica até a coluna de vidro recheada com carvão vegetal de açai. Na figura 8 é apresentado o sistema experimental usado na remoção do SDS em leito fixo.

Figura 8 – Sistema experimental utilizado para remoção do SDS em leito fixo com carvão vegetal de açai: 1) pHmetro, 2) tanque reservatório com solução de SDS ,3) suporte para o tanque reservatório , 4) bomba peristáltica , 5) tubulação “mangueira”, 6) coluna de leito fixo “vidro” e 7) sistema de fixação da coluna “suporte universal”.



Fonte: Próprio autor, 2022.

Antes da realização dos ensaio, a coluna era empacotada com carvão vegetal de açai, para tal foi usado uma granulometria de carvão, com tamanho de 1,18mm em vazão constante de 0,04 ml/s, com o objetivo de verificar a influência da variação da massa do

carvão na remoção do surfactante SDS ao longo do tempo à temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$).

Durante o ensaio, eram coletadas amostras na saída da coluna por meio de tubos de ensaios, em intervalos de tempo pré-determinados. Durante a coleta das amostras até a saturação do leito fixo, as mesmas eram analisadas em um pHmetro, determinando o seu pH.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE PROCESSO FÍSICO PARA AS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Em relação aos parâmetros físicos para as condições experimentais nos sistemas, foram determinadas as condições experimentais ideais para a realização dos ensaios de leito fixo e leito fluidizado, conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros físicos de processo para as condições experimentais em leito fixo.

Parâmetros do leito fixo	Resultados
Diâmetro da coluna, D (cm)	1
Comprimento da coluna, L (cm)	30
Comprimento útil da coluna LU (cm)	29,5
Área da coluna (cm ²)	0,7854
Volume da coluna (cm ³)	22,93
Densidade aparente, ρ_A (g/cm ³)	0,206
Densidade de empacotamento, ρ_E (gm/cm ³)	0,182
Volume de partículas, V_{ap} (cm ³)	8,925
Porosidade do leito	0,12

Fonte: Próprio autor, 2022.

É importante ressaltar que a densidade de fibras é bem reduzida, diferente do observado para o caroço que a fibra reveste cuja densidade é próximo de um. Como consequência a quantidade de massa necessária no leito é pequena e a porosidade do leito é baixa, o que afeta diretamente a velocidade intersticial do fluido no sistema, parâmetro importante no processo de adsorção.

5.2 ANÁLISE DO TEMPO DE PREENCHIMENTO DO LEITO

Na tabela 4, é apresentado o tempo de preenchimento do leito vazio em diferentes vazões. É observado que o desvio entre os pontos é bem reduzido, variando em torno de poucos segundos, muito por conta de bolhas no equipamento ou deformação gradual da

mangueira.

Tabela 4 - Análise do tempo de preenchimento da coluna vazia em diferentes vazões.

Vazão	0,02 ml/s	0,04 ml/s	0,065 ml/s
T1 (s)	1126	624	383
T2 (s)	1161	628	381
T3 (s)	1160	625	382
Média	1149	625,67	382
Desvio padrão	16.3	1.7	0.82

Fonte: Próprio autor, 2022.

Na tabela 5, é apresentado o tempo de preenchimento do leito recheado para diferentes massas de carvão vegetal de açaí, 3.19g, 6.26g e 12.13g correspondente às alturas 7.5 cm, 15 cm e 30 cm respectivamente. Foi observado um desvio padrão menor, se comparado ao tempo de preenchimento para o leito vazio. Também se observa que o tempo de preenchimento é menor no leito recheado, pois a área a ser preenchida pelo fluido (solução de SDS) é significativamente menor.

Tabela 5: Análise empírica do tempo de preenchimento da coluna recheada com diferentes massas de carvão de aça com granulometria de 1.18mm e vazão de 0.04ml/s.

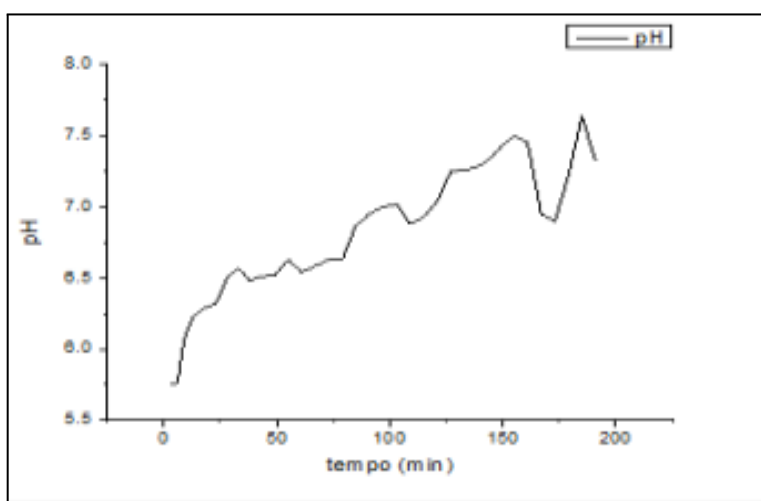
Massa	3,19	6,26	12,13
T1 (s)	61	119	229
T2 (s)	59	117	231
T3 (s)	57	113	227
Média	59	116,33	229
Desvio padrão	1,63	1,45	1,63

Fonte: Próprio autor, 2022.

5.3 ANÁLISES DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO NA REMOÇÃO DE SDS

Na figura 9 e 10, são apresentados os resultados das variáveis de processo na remoção de SDS, a partir das amostras coletadas ao longo do tempo em função do pH, durante o ensaio em leito fixo recheado com 12.13g carvão vegetal de açai a uma vazão de 0.04 ml/s.

Figura 9 - Variação pH em função do tempo de contato durante a remoção de SDS em leito fixo com carvão vegetal de açai com granulometria de 1/18mm.

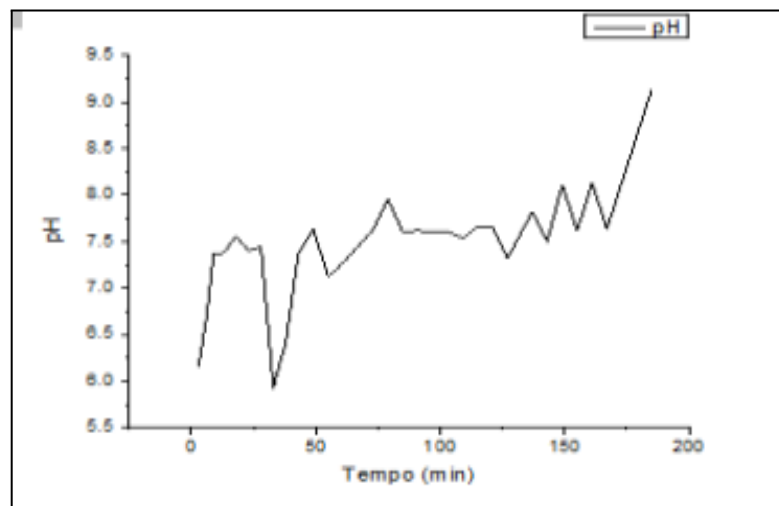


Fonte: Próprio autor, 2022.

Observou-se que o material adsorvente com uma menor granulometria apresentou uma melhor capacidade adsorvente, o qual é explicado pelo fato desse material apresentar uma área menor, fazendo com que consiga preencher de forma mais eficiente a coluna do leito fixo, aumentando, assim, a área e o tempo de contato da efluente “solução de SDS” com o material adsorvente “carvão vegetal de açai”.

Também podemos observar na figura 9, a eficiência do carvão vegetal de açai calcinado a uma temperatura de 350°C e com uma granulometria de 1.18mm, é bem maior quando comparado ao material que apresenta o dobro de sua área 2,36 mm apresentado na figura 10.

Figura 10 - Variação pH em função do tempo de contato durante a remoção de SDS em leito fixo com carvão vegetal de açaí com granulometria de 2.36mm.



Fonte: Próprio autor, 2022.

Sabendo que as condições físico-químicas do material, bem como sua acidez e basicidade, são importantes para o estudo dos fenômenos que envolvem a adsorção. Logo, o uso do carvão vegetal de açaí com granulometria de 1.18mm apresentou uma eficiência bastante significativa quando comparado ao de granulometria 2.36mm.

6. CONCLUSÃO

Os comportamentos das massas de preenchimento de 3.19 g e 6.26 g respectivamente apresentaram o que era previsto de acordo com a literatura, que foi uma queda de pH nos primeiros minutos do experimento e, após um determinado tempo, o sistema entra em equilíbrio. A eficiência do mesmo carvão vegetal, com base na granulometria, fica provado que o de menor tamanho possui uma significativa diferença quando comparado ao de maior tamanho, isso se deve ao fato de quanto maior o tempo de contato do surfactante com o adsorvente, maior será a adsorção por parte do adsorvente.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, K. C. F. **Estudo de diferentes mecanismos para produção de persulfato utilizando ânodo de diamante dopado com boro.** 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

BEZERRA, J. M. M. **Síntese de Tensoativos para a Extração de Metal Pesado.** Monografia. Rio Grande do Norte: Universidade Federal Rural Do Semiárido; 2012.

BARROS, T. V. **Estudo do potencial de adsorção de azul de metileno em escamas de peixe Cynoscionacoupa (pescada amarela) em sistemas batelada e contínuo.** 2017. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

CÂMARA, A. S. **Adsorção de cromo (VI) em leito fixo utilizando partículas de areia recobertas com quitosana.** 2014. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós Graduação em Química Tecnológica e Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014.

CORDEIRO, T. R.; PAULA, C. C. A.; SOUSA, D. R.; AMORIM, M. S. **Aproveitamento do caroço de açaí como fonte de energia térmica para as olarias do município de Bragança-Pará.** In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2017, Campo Grande. Anais eletrônicos. Bragança: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, 2017. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/XI-050.pdf>> Acesso em: 19 de maio de 2021.

COSTA, L. S. **Utilização do caroço de açaí como leito filtrante no tratamento de água de abastecimento e residuária.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

CLARK, H. L. M. **Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café.** Belo Horizonte: UFMG, 2010.

DINIZ, J. **Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura: produção de**

bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente. 2005. 185f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

EICHHORN, P.; RODRIGUES, S. V.; BAUMANN, W.; KNEPPER, T. P. **Incomplete degradation of linear alkylbenzene sulfonate surfactants in Brazilian surface waters and pursuit of their polar metabolites in drinking waters.** The Science of The Total Environment, v. 284, p. 123- 134. 2002.

FONTAN, R. C. I.; BONOMO, R. C. F.; COIMBRA, J. S. R. **Adsorção e troca iônica. Operações Unitárias na Indústria de Alimentos.** 1ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, p. 453-482, 2016.

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

GANTUSS, C. A. R. **Caracterização física e química de locais de ocorrência do açaizeiro (Euterpe oleracea, Mart) no Estado do Amapá e sua relação com o rendimento e qualidade do fruto.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

GOMES, M. S. S. O. NASCIMENTO, J. R.; SILVA, M. G. O. **Mesocarpo de babaçu (Orbinya sp) como adsorvente do dodecil benzeno sulfato de sódio (SDBS).** Holos. v. 7, p. 51-61, 2016.

GOMIDE, R. **Operações unitárias: Operações de transferência de massa.** 1 ed. São Paulo: Dag Gráfica e Editora Ltda., v. 4, p. 311-315, 1988.

GUELLI U. DE SOUZA, S. M. A.; LUZ, A. D. da; MELLO, J. M. M; SOUZA, A. A. U. **Removal of Toxic Contaminants from Petrochemical Effluents using Adsorption and Biodegradation Processes. In: University of Kassel. (Org.). Chapter 26 - Sustainable water management in the tropics and subtropics and Case Studies in Brazil.** 1 ed. Kassel, Vol. 1, p. 1-20. 2011.

GULNAZ, O.; KAYA, A.; DINCER, S. **The reuse of dried activated sludge for adsorption of reactive dye.**Journal of Hazardous Materials. B134, p. 190–196, 2006.

JUNQUEIRA, A. A.; BASSO, V. M.; SOUZA, N. D. **Evolução da produção de açaí no período de 2004 a 2015**. In: I SEMANA DE APERFEIÇOAMENTO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 2017, Curitiba. Anais eletrônicos. Curitiba: Departamento de Engenharia Florestal, 2017. Disponível em <<https://www.even3.com.br/anais/iseaflor/52062-evolucao-daproducao-de-acai-no-periodo-d-e-2004-a-2015>> Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

LORA, E. E. S. et al. **Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis**. *Biocombustíveis*. v. 1, p. 411-498, 2012.

MEIER, D.; FAIX, O. **State of the art of applied fast pyrolysis of lignocellulosic materials—A review**. *Bioresource technology*. v. 68, n. 1, p. 71-77, 1999.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; MELO, G. S. C. **Adsorção: Aspectos Teóricos e Aplicações Ambientais**. 1 ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 256 p, 2014.

PANNIRSELVAM, P. V. et al. **Desenvolvimento de projeto para produção de fibra de coco com inovação de tecnologia limpa e geração de energia**. *Revista Analytica*, n. 15, p. 56-61, 2005.

PARADELA, F. M. R. **Estudo da pirólise de misturas de resíduos de plásticos, pneus e biomassa**. 2012. 322f. Tese (Doutorado em Engenharia Química e Bioquímica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

PEREIRA, E.; RODRIGUES, V. **Carvão do caroço de açaí (*Euterpe oleracea*) ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo**. Relatório do Projeto de Pesquisa apresentado à Comissão Avaliadora do Prêmio Jovem Cientista, 2013.

PIRES, P. A. R. **Síntese e propriedades de soluções de tensoativos catiônicos derivados de (3-Dimetilaminopropil) amidas de ácidos carboxílicos**. 2002. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2002.

RANGEL, R. N. **Modelagem, caracterização e simulação da pirólise do caroço de açaí**.

2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia) – Faculdade do Gama, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

REIS, B. O.; SILVA, I. T.; SILVA, I. M. O.; ROCHA, B. R. P. **Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí.** In: 4º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2002, Campinas. Anais eletrônicos. Belém: Departamento de Engenharia Elétrica e da Computação, 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000200044&script=sci_arttext&tlng=pt> Acesso em: junho de 2021.

REIS, B. O.; SILVA, I. T.; SILVA, I. M. O.; ROCHA, B. R. P. **Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí.** Trabalho AGRENER 2002 - 4o Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas-SP. 2002.

RIBEIRO, T. J. B. S. **Capacidade de adsorção do azul de metileno utilizando-se carvão de babaçu como bioadsorvente.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.

SANTOS, D. N. **Investigação do potencial adsorvente do biocarvão impregnado produzido a partir da pirólise lenta do caroço de açaí.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.