



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

HERBET LEVI COSTA MUNIZ JUNIOR

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL A PARTIR DA SEMENTE  
DO AÇAÍ (EUTERPE OLEREACEA MART.)

São Luís - MA  
2020

HERBET LEVI COSTA MUNIZ JUNIOR

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL A PARTIR DA SEMENTE  
DO AÇAÍ (EUTERPE OLEREACEA MART.)

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 Graduação em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Pereira Rodrigues

São Luís - MA

2020

HERBET LEVI COSTA MUNIZ JUNIOR

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL A PARTIR DA SEMENTE  
DO AÇAÍ (EUTERPE OLEREACEA MART.)

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 Graduação em Engenharia Química.

São Luís - MA, 16 de dezembro de 2020

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. José Roberto Pereira Rodrigues  
DEEQ - UFMA

---

Prof. Dr. Denilson Moreira Santos  
DEDET - UFMA

---

Prof. Dr. Jean Robert Pereira Rodrigues  
DEEM - UFMA

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha namorada  
que sempre me incentivaram.

## **AGRADECIMENTOS**

Acima de tudo e em primeiro lugar agradeço a Deus, razão de tudo e de todos nós e meus pais por todo esforço colocado no meu ensino.

Ao meu orientador, Prof. José Roberto Pereira Rodrigues, pelo incentivo, orientação e auxílio.

Ao Prof. Denílson, que cedeu seu laboratório para que algumas análises pudessem ser realizadas e sempre se mostrou disponível para esclarecer as dúvidas.

Aos meus amigos de curso, que não são poucos, que estiveram presentes nos momentos alegres e tristes, sendo fonte contínua de apoio e incentivo.

Aos meus pais e à minha namorada que sempre me incentivaram a concluir este trabalho.

"Por isso não tema, pois estou com você;  
não tenha medo, pois sou o seu Deus.  
Eu o fortalecerei e o ajudarei;  
eu o segurarei  
com a minha mão direita vitoriosa." (Isaías 41:10)

## RESUMO

Atualmente, há grande interesse no desenvolvimento e comercialização de materiais compósitos baseados em constituintes de origem natural. É notório o desejo de destinar subprodutos agrícolas não utilizados e excedentes das safras, fato que terá impacto do ponto de vista da redução da dependência de materiais provenientes de fontes não renováveis, assim como do ponto de vista social, ambiental e econômico. Pensando nisto, esta pesquisa teve como objetivo caracterizar e preparar os resíduos gerados pelo despulpamento do açaí, que possui descarte inadequado e gera sobrecarga desse material na natureza, transformando-o em um carvão alternativo para utilização em leito fixo no processo de remoção do Dodecil Benzeno Sulfonato de Sódio em água. O preparo ocorreu em algumas etapas. Os trabalhos iniciaram com a obtenção dos resíduos da extração da polpa do açaí. Após a coleta o material passou por lavagem, secagem e peneiramento. Na etapa seguinte foi realizada a ativação e a carbonização do material adsorvente e então foi realizada a caracterização, que mostra intrinsecamente o resultado do preparo. A partir da caracterização de TGA do caroço de açaí calcinado observou-se uma perda de massa do caroço de açaí in natura através da média nas três taxas de aquecimento da ordem de 73,29% e ocorreu em temperaturas menores que 800°C. De acordo com as curvas de DSC apresentadas, percebe-se diferenças nos comportamentos energéticos das reações que ocorrem durante processo de queima do caroço de açaí. Os dados da difração de raios-X mostram que o comportamento tanto para a ativação quanto para as temperaturas não alteram significativamente a estrutura do carvão, considerando que o perfil das curvas não se alterou drasticamente. Diante do trabalho realizado, constata-se que o caroço do açaí pode ser uma valiosa matéria-prima para a produção de carvão ativado através do método de ativação química por NaOH e a abundância dessa matéria prima no Estado do Maranhão também colabora para seu uso. As técnicas de caracterização mostraram resultados típicos de materiais lignocelulósicos e o alto teor de resíduos mostra a riqueza de carbono do material e seu potencial para produção de Carvão ativado. Dessa linha de pesquisa fica a sugestão de alterar variáveis do processo de calcinação e ativação do material, como as temperaturas de queima, o tipo de ativação e a substâncias ativantes para testar como o material reage frente a essas mudanças.

**Palavras-chave:** Caroço de Açaí. Caracterização. TGA. DSC. Difração de raios-X.

## ABSTRACT

Currently, there is great interest in the development and commercialization of composite materials based on constituents of natural origin. There is a clear desire to allocate unused agricultural by-products and crop surpluses, a fact that will have an impact from the point of view of reducing dependence on materials from non-renewable sources as well as from a social, environmental and economic point of view. With this in mind, this research aimed to characterize and prepare the waste generated by the pulping of the açai, which has inadequate disposal and generates an overload of this material in nature transforming it into an alternative coal for use in a fixed bed in the process of removing Dodecyl Benzene Sodium Sulfonate in water. The preparation took place in some stages. The work started with obtaining the residues from the extraction of the açai pulp. After collection, the material was washed, dried and sieved. In the next stage the activation and carbonization of the adsorbent material was carried out and then the characterization was carried out, which intrinsically shows the preparation result. From the TGA characterization of the calcined açai kernel, a loss of mass of the açai kernel in natura was observed through the average in the three heating rates in the order of 73.29% and occurred at temperatures below 800°C. According to the DSC curves presented, differences in the energetic behaviors of the reactions that occur during the burning process of the açai kernel are perceived. The X-ray diffraction data show that the behavior for both activation and temperatures does not significantly alter the structure of the coal, considering that the profile of the curves has not changed drastically. In view of the work carried out, it appears that the açai kernel can be a valuable raw material for the production of activated carbon through the chemical activation method by NaOH and the abundance of this raw material in the State of Maranhão also contributes to its use. The characterization techniques showed typical results of lignocellulosic materials and the high residue content shows the carbon richness of the material and its potential for Activated coal production. From this line of research is the suggestion to change variables in the process of calcination and activation of the material such as the temperatures of calcination, the type of activation and the activating substances to test how the material reacts to these changes.

**Keywords:** Açai kernel. Characterization. TGA. DSC. X-ray diffraction.

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 — .....	27
-------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — A) Açaizeiros; B) Frutos “in natura”; C) Caróços despolpados; D) Caróço seccionado e E) Esquema da secção . . . . .	17
Figura 2 — Caróços de açaí jogados à margem de rodovia no município de Axixá-MA .	19
Figura 3 — Estrutura de um carvão comum e de um carvão ativado . . . . .	20
Figura 4 — Representação de uma termobalança. . . . .	23
Figura 5 — Curva padrão de TGA e DTG. . . . .	24
Figura 6 — a) DSC com fluxo de calor; b) DSC com compensação de potência. . . . .	25
Figura 7 — Curva de DSC de fluxo de calor. . . . .	26
Figura 8 — Ilustração da Lei de Bragg . . . . .	28
Figura 9 — Esquema básico de um Difratorômetro de Raios-X. . . . .	28
Figura 10 — Etapas inicial e final da lavagem . . . . .	29
Figura 11 — Início e final do processo de secagem . . . . .	30
Figura 12 — Resultado após 24 horas de ativação química . . . . .	31
Figura 13 — Caróços após a 2ª secagem . . . . .	31
Figura 14 — Carvão ativado de caróço de açaí . . . . .	32
Figura 15 — Curva de TGA para o caróço de açaí. . . . .	33
Figura 16 — Curva de DTG para o caróço de açaí. . . . .	34
Figura 17 — Curva de DSC para o caróço de açaí. . . . .	35
Figura 18 — Curvas de DRX para o carvão sem ativação (CSA) e com ativação (CA) nas temperaturas de 300°C e 350°C . . . . .	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Composição química do caroço de açaí.....	18
Tabela 2 — Utilidades dos produtos e subprodutos do açazeiro.....	18
Tabela 3 — Aplicações do Carvão ativado .....	21

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Å	Angstrom
CA	Carvão ativado
CEA	Central de Energia e Ambiente
CeMAT	Central de Materiais
CH <sub>4</sub>	Metano
cm	Centímetro
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
C <sub>p</sub>	Calor específico
CSA	Carvão sem ativação
Cu	Cobre
DRX	Difração de raios-X
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
DTG	Termogravimetria derivada
g	Grama
H <sub>2</sub>	Hidrogênio
ICTAC	Confederação Internacional de Análise Térmica e Calorimetria
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
K	Camada K
kcal/kg	Quilocaloria por quilograma
kV	quilovolts
l	Litro
LAMEP/LEPEQ	Laboratório de Materiais e Engenharia de Processos
LDC/DEDET	Laboratório de Design Cerâmico
m	Metro
mA	Miliampère
mg	Miligrama
min	minuto
ml	mililitro
mm	Milímetro
NaOH	Hidróxido de sódio

nm	Nanômetro
TGA	Análise termogravimétrica
$\alpha$	Partícula alfa
$\lambda$	Comprimento de onda
$\mu\text{g}$	Micrograma

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	16
2.1	OBJETIVO GERAL .....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
3	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
3.1	AÇAÍ: CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA .....	17
3.2	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO AÇAÍ .....	18
3.3	PROBLEMAS DO DESCARTE INADEQUADO DOS CAROÇOS DE AÇAÍ ...	19
3.4	CARVÃO ATIVADO .....	20
3.4.1	<b>Produção de carvão ativado</b> .....	21
3.5	ANÁLISES TÉRMICAS .....	22
3.5.1	<b>Análise Termogravimétrica e Termogravimetria Derivada</b> .....	23
3.5.2	<b>Calorimetria Exploratória Diferencial</b> .....	24
3.6	DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX) .....	26
4	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	29
4.1	COLETA DA MATÉRIA PRIMA .....	29
4.2	LOCAL DA PESQUISA .....	29
4.3	PREPARO DO CAROÇO .....	29
4.4	SOFTWARES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS .....	32
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	33
5.1	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA ..	33
5.2	CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL .....	35
5.3	DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX) .....	36
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	38
7	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	39
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	40

## 1 INTRODUÇÃO

O lançamento de efluentes não tratados vem aumentando de maneira vertiginosa, com impactos severos sobre a fauna, flora e os seres humanos. Diante dessa constatação, surge a necessidade do Desenvolvimento Sustentável, buscando reafirmar o crescimento econômico com a preservação ambiental. Com tais fatos, as alterações no mundo dos negócios mostraram-se extremamente profundas, exigindo das empresas maior flexibilidade e transparência (SOUZA et al., 2011).

Dentre os incontáveis contaminantes existentes, os tensoativos ganham cada vez mais notoriedade por conta de sua baixa degradabilidade no meio ambiente. Os tensoativos interferem na potabilidade da água através da alteração de parâmetros físicos, químicos e biológicos, como turbidez, pH, demanda química de oxigênio, entre outros (VON SPERLING, 2009). Esses parâmetros estão ligados aos padrões de qualidade da água, sendo estabelecidos através da Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde e da Resolução CONAMA nº 357/2005 do Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2010).

A poluição das águas naturais está entre os grandes problemas da sociedade, que acabam gerando um temor constante e conduzem à elaboração de novas regras que estipulem limites na descarga de poluentes, com o intuito de reduzir o impacto ambiental (KUNZ et al., 2002). Uma enorme quantidade de surfactantes são evacuados no ambiente, e causam problemas de poluição, sobretudo em cidades cortadas por rios, onde as pessoas consomem a água para lavar roupa, louça e veículos (MELO, 2013 apud BEZERRA, 2012). Essas substâncias são os agentes causadores das espumas nos rios, reduzem a dissolução do oxigênio e causam ameaças ambientais para organismos aquáticos (EICHHORN et al., 2002).

Por possuírem proveniência sintética e estruturas moleculares aromáticas complexas, os corantes, assim como os tensoativos, são mais estáveis nas condições ambientais, sob os efeitos da luz, pH e ataque microbiológico e têm maior dificuldade de biodegradação (FU; VIRARAGHAVAN, 2001; GULNAZ; KAYA; DINCER, 2006). Por isso, o tratamento desses poluentes através da aplicação de métodos biológicos ou tradicionais, como os biodigestores, são pouco eficientes para a remoção das espécies nos efluentes.

O uso de membranas é avaliado como uma alternativa para mitigação de resíduos nos efluentes, pois a técnica consiste numa eficiente divisão de moléculas com dimensão suficientemente grande para serem desprendidas do meio aquoso, tornando rápido e adequado o tratamento de grandes volumes de rejeito. No entanto o custo é alto e a limpeza das membranas é complexa (ANJANEYULU; CHARY; RAJ, 2005).

Os carvões ativados são comumente obtidos de materiais com alto teor de carbono e que possuem uma boa capacidade de adsorção, que é estipulada basicamente pela estrutura de seus poros. Devido à capacidade de adsorção, os carvões ativados são extremamente proveitosos na separação de misturas e purificação de líquidos (OTERO et al., 2003). A

adsorção em carvão ativado é um processo bem conhecido para eliminação de poluentes orgânicos de efluentes líquidos, incluindo águas residuais coloridas das indústrias têxteis.

Uma vasta quantidade de publicações científicas abordam a extração de corantes de soluções aquosas por adsorventes carbonáceos, entretanto, grande parte destas pesquisas referem-se ao estudo com carvão ativado comercial (VASQUES, 2008). Alguns produtos agrícolas são utilizados como adsorventes de baixo custo, como semente de girassol (SUN; XU, 1997), polpa de maçã, palha de trigo (ROBINSON; CHANDRAN; NIGAM, 2002), etc., apesar disso, esses produtos possuem cargas negativas de celulose, que repelem os tensoativos aniônicos, e ocasionam a repulsão das cargas do produto e do tensoativo, prejudicando o processo de adsorção.

Nesse contexto, o caroço de açaí desponta como uma opção encorajadora, pois além de ser um resíduo da produção do açaí e de fácil obtenção, apresenta boa capacidade adsorvente quando na forma de carvão ativado, com satisfatório poder de remoção de metais pesados (PEREIRA, 2013).

## 2 OBJETIVOS

Devido ao grande consumo de açaí, especialmente nas regiões produtoras, muitas pesquisas têm sido feitas sobre a polpa do açaí, mas raros os trabalhos com ênfase nos resíduos (fibra, caroço, etc.). O descarte é comumente feito em vias públicas, terrenos baldios ou lixões a céu aberto, sem nenhum tratamento.

Neste trabalho foi proposto o preparo e a caracterização do caroço e do carvão ativado advindo desse subproduto para posterior aplicação como adsorvente para o tratamento de águas residuais, com avaliação das características do caroço e do carvão.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar os caroços de açaí e carvões ativados e não ativados oriundos desse resíduo da extração da polpa do açaí.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as propriedades físicas e químicas do caroço de açaí e do carvão ativado produzido a partir desse resíduo;
- Definir um processo de produção do carvão a partir da queima do caroço de açaí;
- Determinar as melhores condições de obtenção do carvão, para obter um melhor produto para ser utilizado como adsorvente.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 AÇAÍ: CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é um alimento típico do Brasil e pertence à família *Arecaceae* (palmeira). A palmeira está localizada nas regiões do baixo Amazonas, Maranhão, Tocantins e Amapá, alcançando as Guianas e a Venezuela (SOUZA et al., 1996), por ser uma espécie adaptada às condições elevadas de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar (NOGUEIRA; FIGUEIRÊDO; MÜLLER, 2005).

O açaizeiro é uma árvore que pode atingir até 30 metros de altura, que cresce preferencialmente em áreas úmidas. O fruto é arredondado, com aproximadamente 1 a 2 cm de diâmetro e um peso médio de 0,8 a 2,3g. Seu epicarpo é de cor violácea-púrpura, muito fino e tem apenas 1 a 2 mm de espessura, e junto com o mesocarpo constitui a parte comestível do açaí (TEIXEIRA et al., 2006). O fruto ganhou um apelo mundial por possuir uma cor roxa escura, com sabor exótico e sem nota doce, além de ser um produto nutracêutico (FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL, 2010).

O caroço da fruta corresponde a cerca de 83% de sua massa total e é formado por um pequeno endosperma sólido ligado a um tingimento que na fase inicial é rico em lipídios e na maturidade é rico em celulose, hemicelulose e cristais de insulina. Além de um epicarpo fibroso, rico em sílica e um endocarpo pouco lenhoso (REIS et al., 2002). A Figura 1 mostra algumas características botânicas do caroço.

Figura 1 — A) Açaizeiros; B) Frutos “in natura”; C) Carochos despulpados; D) Carozo seccionado e E) Esquema da secção



Fonte: Adaptado de Oliveira (2014)

No processamento do açaí, o caroço é um subproduto desse beneficiamento e é um material de difícil decomposição em virtude de apresentar alto teor de lignina, que oscila entre

11,5% a 24% (TEIXEIRA et al., 2006). Assim, o caroço pode torna-se um problema ambiental. A composição química do caroço também apresenta alta quantidade de celulose, lignina e um baixo teor de cinza e umidade, que contribuem para sua possível aplicação na produção de carvão vegetal, e confere valor agregado para esse resíduo (CORDEIRO et al.). A Tabela 1 descreve a composição química do caroço de açaí.

Tabela 1 — Composição química do caroço de açaí.

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)

### 3.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO AÇAÍ

O açaizeiro recebe grande destaque pela sua abundância e pela produção de importante fonte de alimento para as populações locais, além de ser a principal fonte de matéria-prima para a agroindústria de palmito no Brasil (NOGUEIRA; FIGUEIRÊDO; MÜLLER, 2005).

Na Tabela 1, são apresentadas diferentes formas de utilização dos produtos e subprodutos do açaizeiro (EMBRAPA, 1995).

Tabela 2 — Utilidades dos produtos e subprodutos do açaizeiro.

COMPONENTES	FORMAS DE USO
FRUTOS	Suco, creme, sorvete, licor, geleia, mingau, adubo orgânico, produção de álcool.
PALMITO	Picles, salada, recheio, creme e ração animal.
FOLHAS	Cobertura de casa, parede, cesto, tapete, chapéu, ração animal, adubo orgânico.
CAULE	Construção de casa, ponte, cerca, curral, lenha, adubo orgânico.
RAÍZES	Vermífugo.

Fonte: Órgão de divulgação do Museu Paraense Emílio Goeldi (1985)

Segundo Oliveira, Neto e Pena (2007, p. 10):

Na Amazônia, o açaizeiro possui aproveitamento integral. Os frutos são empregados no processamento da bebida; as inflorescências na fabricação de vassouras; as raízes como vermífugo e antidiarreico; o caule na extração de palmito e celulose, na construção de casas, como lenha e como isolamento elétrico; as folhas na obtenção

de celulose e cobertura de casas rústicas; e as sementes na confecção de artesanatos ou como adubo orgânico. Apesar da grande utilidade, esta palmeira se destaca no fornecimento de dois produtos alimentares economicamente rentáveis, os frutos e o palmito.

Cerca de 80% do açaí provém do extrativismo como uma atividade típica da agricultura familiar, e apenas 20% é obtido de açais manejados e cultivados (NOGUEIRA; FIGUEIRÊDO; MÜLLER, 2005). No ano de 2018 a produção nacional de açaí chegou ao patamar de mais de 1 milhão e 600 mil toneladas e o estado do Maranhão segue como 3º maior produtor nacional, com produção correspondente a 8,1% (cerca de 18 mil toneladas) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2019; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2020).

### 3.3 PROBLEMAS DO DESCARTE INADEQUADO DOS CAROÇOS DE AÇAÍ

De acordo com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2011), os resíduos precisam ter uma destinação ambiental adequada, e para isso, pode-se utilizar a reciclagem, compostagem, recuperação, aproveitamento energético, dentre outros meios, com o intuito de evitar os danos e riscos à saúde pública e à segurança, além de minimizar possíveis impactos ambientais negativos. Entretanto, o que se observa nas cidades produtoras de açaí é um descarte totalmente inadequado do caroço da planta, como é mostrado na Figura 2 nos arredores do município de Axixá-MA uma grande quantidade de sementes jogadas às margens da rodovia e nas proximidades de uma área de mata nativa.

Figura 2 — Caroços de açaí jogados à margem de rodovia no município de Axixá-MA



Fonte: O autor (2020)

Devido à expansão da procura pela polpa do fruto do açaí a nível nacional, e um aumento da instalação de novas indústrias em várias partes do nosso estado para suprir essa necessidade, faz-se necessário o desenvolvimento da cadeia produtiva de polpa de açaí com a

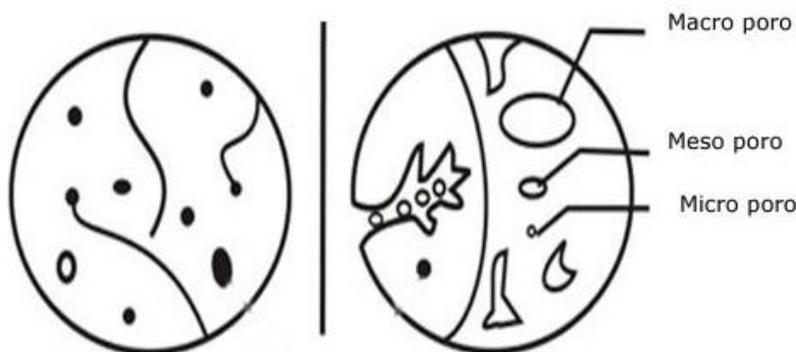
utilização de tecnologias para o manejo de açazais nativos, melhoria da qualidade e aumento da produtividade de polpa, além de descartes adequados para os resíduos desse processo (MOCHIUTTI et al., 2002).

Como formas de aproveitamento desse caroço, cita-se que após a decomposição pode ser largamente empregado como matéria orgânica, sendo considerado ótimo adubo para o cultivo de hortaliças e plantas ornamentais (GANTUSS, 2006). A partir dos estudos de Reis et al. (2002) verificou-se que a potência calorífica do caroço de açaí no processo de combustão é em média 4.500 Kcal/Kg. Então, Nagaishi (2007) afirma que o seu uso energético pode ser uma saída oportuna e se for bem analisada, pode ser considerada viável economicamente gerando benefícios sociais e ambientais. Por sua vez, Junior (2010) indica que a produção de carvão ativado seria uma solução para esse desperdício, e daria a esse resíduo valor agregado, auxiliando na renda de comunidades onde esses produtos são descartados e diminuindo o impacto dos mesmos à natureza.

### 3.4 CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado (CA) é uma substância carbonácea inerte, feita a partir de substâncias com alto teor de carbono, dentre essas cita-se os ossos, cascas e sementes de frutas, madeira, carvão mineral e polímeros sintéticos. Possuem alto poder de adsorção, característica conferida pelo elevado número de poros, e a sua área específica pode variar entre 500 e 300 m<sup>2</sup>/g (CLAUDINO, 2003). Após o processo de ativação sua área superficial pode chegar a mais de 3000 m<sup>2</sup>/g, graças a oxidação dos átomos de carbono durante a ativação (FERNANDES, 2010). Os mesmos também apresentam sua estrutura porosa interna bem desenvolvida e acessível (RODRÍGUEZ-REINOSO, 1989). A Figura 3 esquematiza a estrutura de um carvão comum à esquerda e de um CA à direita:

Figura 3 — Estrutura de um carvão comum e de um carvão ativado



Fonte: IUPAC: União Internacional de Química Pura e Aplicada (1985)

Em relação ao tamanho dos poros, a IUPAC: União Internacional de Química Pura e

Aplicada (1985) define:

- Micro poro: diâmetro do poro menor que 2 nm;
- Meso poro: diâmetro do poro entre 2 e 50 nm;
- Macro poro: diâmetro do poro maior que 50 nm.

Mucciacito (2010) afirma que os carvões ativados são utilizados nos processos em que se deseja remover substâncias de um fluido, através da adsorção. São aplicados numa extensa gama de áreas, dentre as principais, enumera-se na Tabela 3.

Tabela 3 — Aplicações do Carvão ativado

Setor	Uso
Tratamento de água	Utilizado seja para fins potáveis ou para fins industriais. O Carvão Ativado elimina cor, odor, mau gosto, remove substâncias orgânicas dissolvidas através do mecanismo de adsorção.
Adsorção de gases	Utilizado na purificação de gases. Pode-se fazer a recuperação de solventes na indústria de tintas, adesivos, têxtil, de impressão, ou fazer a purificação do gás, como por exemplo, gás carbônico.

Fonte: Adaptado de Mucciacito (2009)

No Brasil, os principais precursores para produção de CA são o carvão mineral e a madeira. Nos últimos anos, outros materiais têm ganhado importância na produção de carvão ativado, como é o caso de resíduos lignocelulósicos como a casca de coco e a casca de arroz (PEREIRA et al., 2008), além de rejeitos de café (RAMOS et al., 2009).

### 3.4.1 Produção de carvão ativado

Os carvões ativados são obtidos através de duas etapas: a carbonização do material precursor e o processo de ativação. O desempenho do carvão ativado depende principalmente de suas características químicas e da estrutura porosa. Entretanto, mesmo que as condições de processamento possam ter alguma influência na estrutura e propriedade do produto final, o fator preponderante é a natureza do material precursor (CLARK, 2010).

A carbonização é o tratamento térmico do material precursor, também conhecida como pirólise, em atmosfera inerte, e temperatura superior a 200°C. É uma etapa de preparação do material, que são removidos componentes voláteis e gases leves (CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) e produzem uma massa fixa de carbono e uma estrutura porosa primária que favorece a ativação (CLAUDINO, 2003).

A ativação visa o aumento da área superficial de carvão, proporcionando, desse modo, o aumento da sua porosidade, através de reações secundárias com o agente ativante. Deseja-se com esse processo o controle das características básicas do material como distribuição de poros, área superficial específica, a resistência mecânica, etc. O processo de ativação pode ser feito de forma química ou física (CLAUDINO, 2003; BRUM et al., 2008).

De acordo com Fernandes (2010, p. 5):

A ativação química é a impregnação de agentes ativantes, como o cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ), ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), hidróxido de sódio (NaOH), etc., no material não carbonizado, estes agentes proporcionarão a formação de ligações cruzadas, devido a sua característica de ter boa capacidade desidratante, tornando o material menos propenso a volatilização quando aquecido a alta temperatura. Já a ativação física consiste na reação do carvão com vapores de água,  $CO_2$  ou uma mistura de gases após a carbonização. Para tanto, os gases são injetados na estrutura do carvão.

De acordo com o exposto por Costa (2014), a ativação química possui suas vantagens e desvantagens em relação à ativação física. Dentre suas vantagens tem-se as baixas temperaturas para pirólise, maior rendimento, obtenção de maior área superficial, melhor controle e manutenção de distribuição das dimensões dos poros. Já em relação as desvantagens, tem-se o envolvimento de produtos altamente corrosivos e a necessidade de um passo extra de lavagem do produto final.

### 3.5 ANÁLISES TÉRMICAS

Nas últimas décadas, a instrumentação termoanalítica evoluiu extraordinariamente em virtude de vários fatores, dentre os quais destaca-se os grandes avanços da instrumentação básica e a aplicação desses métodos nos mais variados setores científicos, tecnológicos e de produção de bens de consumo. Além de ser uma importante ferramenta para a pesquisa, o desenvolvimento de novos produtos e o controle de qualidade da produção (IONASHIRO, 2004).

Quanto a importância dessas técnicas, tem-se a necessidade de se conhecer o que ocorre com esses materiais quando o calor é retirado ou recebido, quais alterações ocorrem, as mudanças físicas e químicas devido ao aquecimento, quais os limites de temperatura tolerados para que não ocorra a deterioração e queima do material, além de não perder suas propriedades. Por fim, um conhecimento detalhado das propriedades térmicas é fundamental para a melhora dos processos de produção (DENARI; CAVALHEIRO, 2012).

Segundo Ionashiro (2004, p. 7):

A definição de Análise Térmica dada pela Confederação Internacional de Análise Térmica e Calorimetria (ICTAC) é: “Um grupo de técnicas nas quais uma propriedade física de uma substância e/ou seus produtos de reação é medida como função da temperatura, enquanto a substância é submetida a um programa controlado de temperatura”. Esta definição implica que uma técnica térmica para que possa ser considerada como termoanalítica, três critérios devem ser satisfeitos: uma propriedade física tem que ser medida, a medida deve ser expressa (direta ou indiretamente) como função da temperatura e tem que ser feita sob um programa controlado de temperatura.

Nesse cenário, muitas são as vantagens que as análises térmicas proporcionam para quem as utiliza e a partir disso, destaca-se que a amostra pode ser utilizada numa ampla faixa de temperatura usando várias taxas de aquecimento, os três estados físicos são tolerados, uma pequena quantidade da amostra é necessária para os experimentos (de 0,1  $\mu g$  – 10 mg), a possibilidade de padronização da atmosfera da vizinhança, o tempo do experimento varia de

alguns minutos a poucas horas e o preço razoável dos equipamentos de análise (HATAKEYAMA; QUINN, 1999).

A partir das técnicas mais difundidas e utilizadas, neste trabalho destaca-se a: Análise Termogravimétrica (TGA), Termogravimetria Derivada (DTG) e a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).

### 3.5.1 Análise Termogravimétrica e Termogravimetria Derivada

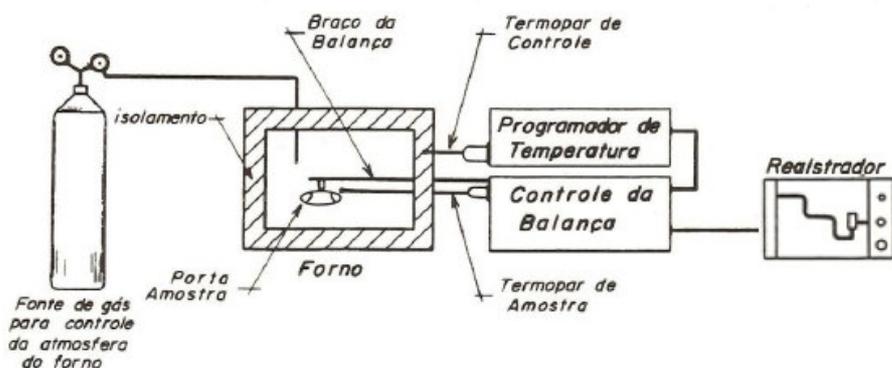
A TGA é uma técnica termoanalítica que é responsável por acompanhar a perda e/ou ganho de massa do material, medida em percentual de massa, em função do tempo ou da temperatura. A DTG é um arranjo matemático da primeira, em que a derivada da variação de massa em relação ao tempo ( $dm/dt$ ) é medida em função da temperatura ou do tempo (DENARI; CAVALHEIRO, 2012).

De acordo com Ionashiro (2004, p. 27),

As vantagens para o uso da termogravimetria derivada são que as curvas DTG indicam com exatidão, as temperaturas correspondentes ao início e ao instante em que a velocidade de reação é máxima; os picos agudos permitem distinguir claramente uma sucessão de reações que muitas vezes não podem ser claramente distinguidas nas curvas TG e as áreas dos picos correspondem exatamente à perda ou ganho de massa e podem ser utilizadas em determinações quantitativas. Dentre as aplicações da termogravimetria destaca-se o estudo da decomposição térmica de substâncias orgânicas, inorgânicas e dos mais variados tipos de materiais como: minerais, minérios, carvão, petróleo, madeira, polímeros, alimentos, materiais explosivos, etc.

As medições das alterações de massa da amostra são feitas com uma termobalança, esse equipamento é formado pela combinação de uma microbalança eletrônica e um forno, um programador de temperatura e um computador para controle. Esse arranjo permite que a amostra seja simultaneamente pesada e aquecida ou resfriada de maneira controlada e a massa, o tempo e os dados de temperatura sejam capturados (BROWN, 2001). A Figura 4 mostra um esquema dos constituintes de uma termobalança.

Figura 4 — Representação de uma termobalança.

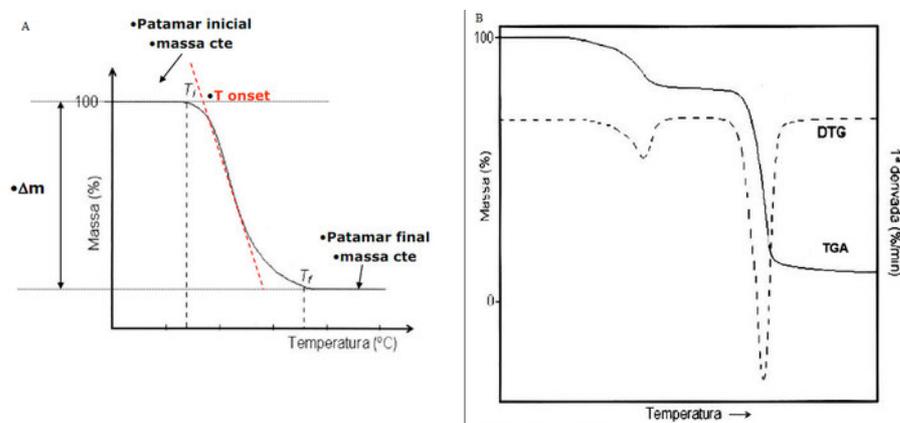


Fonte: Denari e Cavalheiro (2012)

Na parte experimental a amostra é pesada e colocada com a sua referência. O sistema é iniciado e o resultado final é registrado no computador. As variações de massa são registradas na forma de curvas TGA, onde o percentual de variação de massa é o eixo dependente, e a temperatura/tempo é o eixo independente (HENRIQUES, 2018).

A Figura 5 exemplifica uma curva padrão de TGA e DTG. A Temperatura inicial ( $T_i$ ) é o primeiro ponto em que se observa o início da variação de massa e a Temperatura final ( $T_f$ ) é representa o ponto onde o processo de variação de massa terminou. A  $T_{onset}$  é denominada de início extrapolado ou início matemático. A curva TGA deve ser analisada com auxílio da curva de DTG, com a mesma é possível identificar em quantas etapas ocorre a decomposição térmica (ANÁLISES TÉRMICAS, 2017).

Figura 5 — Curva padrão de TGA e DTG



Fonte: Adaptado de Análises Térmicas (2017)

Dentre os fatores que podem afetar o resultado do experimento, tem-se aquelas relacionadas ao equipamento, como a taxa de aquecimento/resfriamento, atmosfera do forno e geometria e composição do suporte da amostra e as relacionadas a amostra em si, como a quantidade e o tamanho das partículas da amostra, estrutura das partículas que a compõe e o calor de reação (MACHADO, 2008).

Segundo Denari e Cavalheiro (2012) a razão de aquecimento vai de 1 °C/min até 100 °C/min. A temperatura final pode atingir valores de até 2000 °C e a sensibilidade é da ordem de 0,1µg chegando a capacidade de até 1g.

### 3.5.2 Calorimetria Exploratória Diferencial

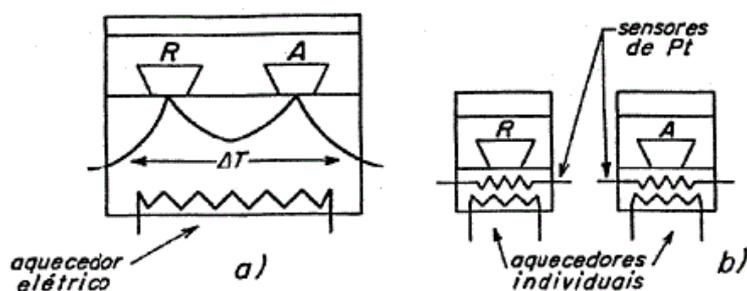
A calorimetria exploratória diferencial ou DSC mede a diferença de energia fornecida à substância e a um material de referência, em função da temperatura com programação controlada de temperatura para ambos. Com essa técnica pode-se verificar os efeitos do calor associados à alterações físicas ou químicas da amostra, que são capazes de gerar variações de

calor. Comumente, as transições de fase, desidratações, reduções e certas reações de decomposição produzem efeitos endotérmicos, enquanto que cristalizações, oxidações, algumas reações de decomposição produzem efeitos exotérmicos (IONASHIRO, 2004).

Os equipamentos de calorimetria exploratória diferencial são classificados de acordo com a fonte de aquecimento, para isso, existem dois tipos: o DSC que trabalha com o princípio de operação de compensação de potência e o que possui a operação baseada no princípio de fluxo de calor. Independentemente do tipo a ser utilizado, as grandezas físicas obtidas dos testes são as mesmas (ANÁLISES TÉRMICAS, 2017).

Na DSC por fluxo de calor, a amostra e a referência são colocadas em cápsulas idênticas, e ficam sobre um disco termoeletrico, onde serão aquecidas por uma única fonte de calor. O calor é transferido para as cápsulas através desse disco, o fluxo de calor diferencial entre as cápsulas é controlado por meio de termopares ligados ao disco. Já na DSC por compensação de potência tem-se um calorímetro que mede diretamente a energia envolvida nos eventos térmicos. A amostra e a referência são aquecidas ou resfriadas em fornos separados e idênticos. O princípio de funcionamento do equipamento presume que a amostra e a referência sejam mantidas sempre em condições isotérmicas. Assim, se a amostra sofre alteração de temperatura promovida por um evento endotérmico ou exotérmico, os termopares detectam a diferença de temperatura entre ela e a referência, e o equipamento, automaticamente, modifica a potência de entrada de um dos fornos, de modo a igualar prontamente a temperatura de ambos (JUNIOR, 2003). A Figura 6 representa de forma genérica os equipamentos dos tipos de DSC descritos.

Figura 6 — a) DSC com fluxo de calor; b) DSC com compensação de potência.

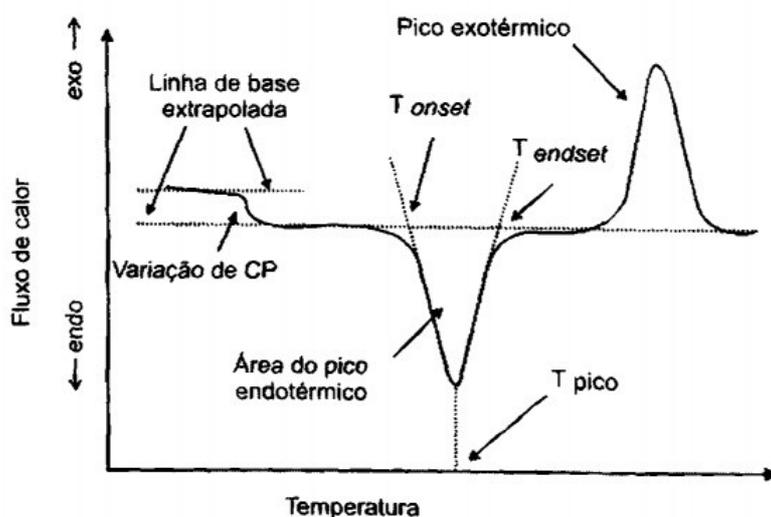


Fonte: Denari e Cavalheiro (2012)

Após a realização do experimento é formada uma curva que será registrada por um software e mostrada de forma geral na Figura 7. Esse gráfico é representado por fluxo de calor na ordenada e geralmente por temperatura na abcissa. Na curva de DSC, a linha de base é responsável por determinar a existência ou não de processos durante a análise, a existência de qualquer desvio na linha de base com formação de picos negativos ou positivos é um indicativo de que há a ocorrência de processos. A convenção do tipo de equipamento é que

determina se a orientação da concavidade para cima ou para baixo representa um evento endotérmico ou exotérmico (HENRIQUES, 2018). Na Figura abaixo tem-se a representação de uma curva de DSC de fluxo de calor, em função da temperatura. A mesma curva obtida em um DSC de compensação de potência teria a imagem oposta na vertical, com variação de  $C_p$  e pico endotérmico no sentido ascendente, e o pico exotérmico no sentido descendente. (JUNIOR, 2003)

Figura 7 — Curva de DSC de fluxo de calor



Fonte: Junior (2003, p. 232)

De acordo com Junior (2003), dentre os fatores que podem afetar os resultados de uma curva de DSC, tem-se aqueles ligados a instrumentação, como a razão de aquecimento, atmosfera do forno, o tipo e características do gás utilizado e o tipo de cápsula e seu material, além daqueles referentes a amostra, como a sua massa e a forma. As principais vantagens da técnica de DSC sobre a calorimetria clássica são a rapidez nas determinações, a utilização de pouca massa de amostra, que pode ser sólida ou líquida, além de ser aplicável ao processo de resfriamento e medidas sob alta pressão e permitir o estudo diferentes tipos de reações químicas.

Ionashiro (2004) destaca que as desvantagens da técnica são a precisão e exatidão relativamente baixas (chegando a valores de 5% a 10%), gerando a necessidade de um rígido controle das variáveis, que é algo extremamente difícil, tendo em vista que não permite a determinação da entalpia de reações sobrepostas e a exatidão na determinação da área do pico devido à mudança de linha base durante a transição ou reação.

### 3.6 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

Os raios-X são ondas eletromagnéticas de comprimento de onda compreendido na

região de 0.1 - 10Å , tornando-os indicados para analisar a estrutura do material ao nível de distâncias interatômicas. Assim, a técnica de DRX é poderosa quando aplicada como ferramenta de análise qualitativa da estrutura dos filmes em multicamadas. A existência de uma periodicidade adicional pode originar novas propriedades físicas ou modificar aquelas já existentes, como as mecânicas, magnéticas, etc., capazes de serem incluídas em aplicações tecnológicas. A difratometria de raios-X é uma técnica adequada para o estudo dessas propriedades estruturais. Comprova-se isso pelo fato de não ser destrutiva, quase não necessitar de preparação das amostras com vista à medição, e a difração pode ser realizada com o vector de difração em qualquer direção, o que permite obter informações estruturais em várias direções. Um espectro de DRX típico consiste numa série de picos caracterizados pelas suas posições, intensidades, larguras, etc. (CAPÍTULO...).

Esta técnica é baseada no fenômeno da difração que acontece quando uma rede ou obstáculo possui uma distância que seja comparável à magnitude do comprimento de onda e ocasiona o espalhamento da onda. Em seguida, as ondas sofrem uma interferência, podendo ser construtiva ou destrutiva. Os picos comumente encontrados em difratogramas de materiais resultam da interferência construtiva entre os raios X que foram espalhados por planos atômicos de cristal (JACOBSEN, 2007).

A teoria que descreve o fenômeno de difração de raios-X nos cristais, ou seja, que relaciona os parâmetros do cristal e da radiação incidente, é conhecida como Lei de Bragg, e é dada pela Equação 1:

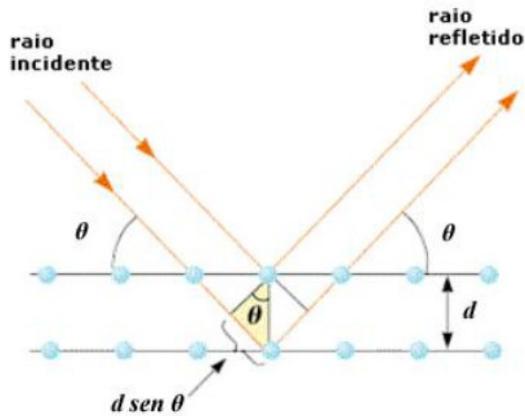
Equação 1

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (1)$$

Fonte: O autor (2020)

Em que:  $d$  é a distância entre os planos de rede;  $\theta$  é o ângulo de difração e complementar do ângulo de incidência;  $n$  é o número inteiro chamado de ordem de difração; e  $\lambda$  o comprimento de onda do raio incidente. A representação ilustrativa desta teoria pode ser observada na Figura 8.

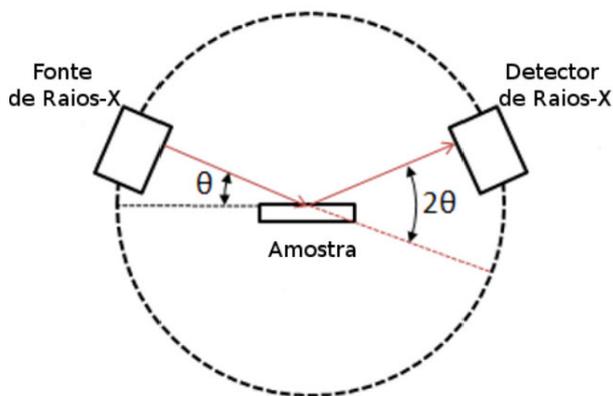
Figura 8 — Ilustração da Lei de Bragg



Fonte: Spomberg (2010)

Segundo Cullity (1978), o espectrômetro básico de raios-X é formado basicamente por dois instrumentos. Um instrumento para medir os espectros de raios-X por meio de um cristal de estrutura conhecida e outro instrumento para estudar os materiais cristalinos (e não cristalinos) através de medições da maneira como difratam raios-x de comprimento de onda conhecidos. Na Figura 9 tem-se uma representação básica de um difratômetro.

Figura 9 — Esquema básico de um Difratômetro de Raios-X



Fonte: Unicamp

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 COLETA DA MATÉRIA PRIMA

Foram realizadas análises químicas e físicas em amostras de caroço de açaí para caracterizá-lo e prepará-lo como adsorvente. O caroço foi coletado na cidade de Morros, no estado do Maranhão, logo após o seu beneficiamento, garantindo que a matéria prima fosse de boa qualidade.

### 4.2 LOCAL DA PESQUISA

As lavagens, secagens e ativação do caroço de açaí foram feitas no Laboratório de Materiais e Engenharia de Processos - LaMEP/LEPEQ, o processo de calcinação foi realizado no Laboratório de Design Cerâmico – LDC/DEDET, as análises de TGA/DTG e DSC na Central de Energia e Ambiente (CEA) e o teste de DRX na Central de Materiais (CeMAT), todos localizados na Universidade Federal do Maranhão.

### 4.3 PREPARO DO CAROÇO

Inicialmente foi pesado 1 kg de amostra do açaí coletado após o seu despolpamento. A primeira etapa, da limpeza do caroço in natura, foi a catação das impurezas e sujidades, tendo em vista a impossibilidade de peneiramento em função do tamanho das partículas. Em seguida, foi efetuada a lavagem para que se retirasse o excesso de borra remanescente. Foram efetuadas quatro lavagens até que a água gerada estivesse límpida e fosse obtido o caroço limpo. A Figura 10 representa como estavam os caroços antes das lavagens, e o resultado final após a quarta lavagem.

Figura 10 — Etapas inicial e final da lavagem



Fonte: O autor (2020)

Após este processo, o material foi levado a uma estufa para secagem em uma temperatura de 100°C com duração de 3 horas. A Figura 11 representa o início e final dessa etapa.

Figura 11 — Início e final do processo de secagem



Fonte: O autor (2020)

Para o processo de ativação química, primeiramente preparou-se a solução ativante. Então, pesou-se 80g do agente ativante Hidróxido de Sódio (NaOH) em balança analítica do LaMEP e, mediu-se 1L de água, posteriormente dissolvendo o agente ativante na água e formou-se a solução ativante na qual foi adicionando a amostra de caroço de açai desidratada que foi deixado em contato por 24 horas. O resultado desse processo é mostrado na Figura 12.

Figura 12 — Resultado após 24 horas de ativação química



Fonte: O autor (2020)

Em seguida, a amostra de caroço de açaí impregnada com o ativante químico passou por uma nova secagem para retirada do excesso dessa substância em estufa a 100°C durante 3 horas e a Figura 13 mostra como os caroços saíram dessa etapa.

Figura 13 — Caroços após a 2ª secagem



Fonte: O autor (2020)

Posteriormente, foi levado a um Forno Elétrico *Linn Elektro Therm* do LDC e submetido a uma calcinação, nas temperaturas de 300°C e 350°C, durante 3 horas e com taxa de aquecimento de 10°C por minuto. O resultado da calcinação é mostrado na Figura 14.

Figura 14 — Carvão ativado de caroço de açaí



Fonte: O autor (2020)

#### 4.4 SOFTWARES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

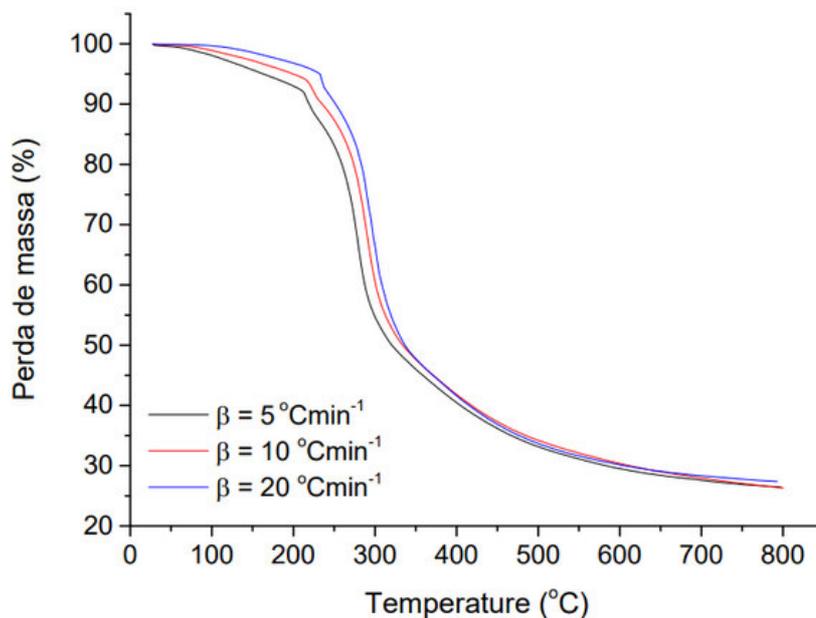
As análises de TGA/DTG e DSC foram realizadas na Central de Energia e Ambiente (CEA) e utilizou-se o equipamento SDT Q600 da TA Instruments. O gás utilizado foi o nitrogênio (gás inerte), com fluxo de 100 ml/min. A faixa de temperatura analisada foi de 25°C a 800°C, utilizando-se três taxas de aquecimento: 5°C/min, 10°C/min e 20°C/min e o teste de DRX na Central de Materiais (CeMAT) utilizou-se um difratômetro da marca Bruker, modelo D8 Advance, com radiação Cu K $\alpha$  ( $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ ) e detector LynxEye operando em 40 kV e 40 mA. Além disso, os gráficos foram plotados através do software Origin 8.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos no presente estudo. Os mesmos visam uma compreensão dos fenômenos que estão acontecendo durante a queima do caroço, e as características apresentadas do carvão sem ativação e do carvão ativado.

### 5.1 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA E TERMOGRAVIMETRIA DERIVADA

Figura 15 — Curva de TGA para o caroço de açaí.



Fonte: O autor (2020)

A perda de massa do caroço de açaí in natura através da média nas três taxas de aquecimento foi de 73,29% e ocorreu em temperaturas menores que 800°C, como mostrado na Figura 15. Nesta faixa de temperaturas, além da liberação de CO<sub>2</sub> ocorreram outros fenômenos, como a perda de matéria orgânica volátil e umidade.

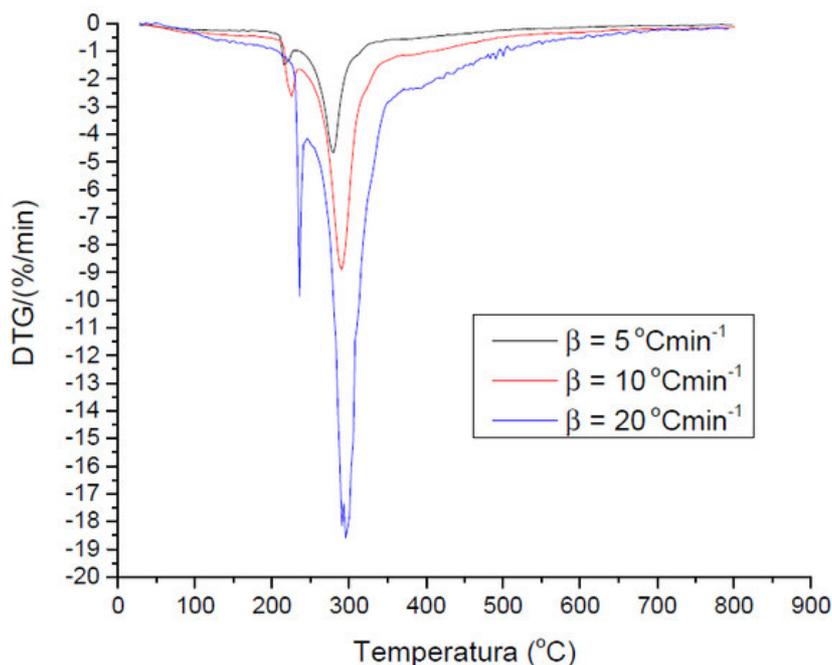
De acordo com os resultados expostos por Benedito (2012), adaptado ao presente trabalho, observa-se a existência de dois eventos de perda de massa, a primeira perda de massa ocorre devido a liberação de água da superfície do material e acontece até 212°C, e corresponde a uma perda de 8% de massa. Segundo Bentes (2017), a curva de TGA da biomassa do caroço de açaí, apresentou perfil de variação de massa típico de biomassa lignocelulósica, com perda de massa acentuada após 212 °C.

Em seguida, tem-se as perdas sucessivas de massa que ocorrem entre 212 - 340 °C, relacionada à perda de matéria orgânica volátil leve e hidrocarbonetos leves, que

corresponde a uma perda de 47,27% e de 340 a 612°C, associada à perda de matéria orgânica volátil pesada e hidrocarbonetos pesados, nessa faixa também ocorre a degradação da celulose e lignina, e tem-se uma perda de 70,25% da massa total. A partir de 612 °C ocorre a formação de resíduo e a perda de massa é muito pequena, correspondendo a uma quantidade de aproximadamente 27% de resíduos com alta estabilidade térmica, que está relacionado à resíduos inorgânicos e representando o teor de cinzas, evidenciando que trata-se de uma biomassa rica em carbono, com elevado potencial para produção de CA (BENTES, 2017).

Ao comparar as três curvas de TGA observa-se que a medida que a taxa de aquecimento aumenta, acontece um deslocamento nas temperaturas em que as reações ocorrem, e essa diferença se torna cada vez menor à medida que a reação chega em temperaturas acima de 350°C.

Figura 16 — Curva de DTG para o caroço de açai.



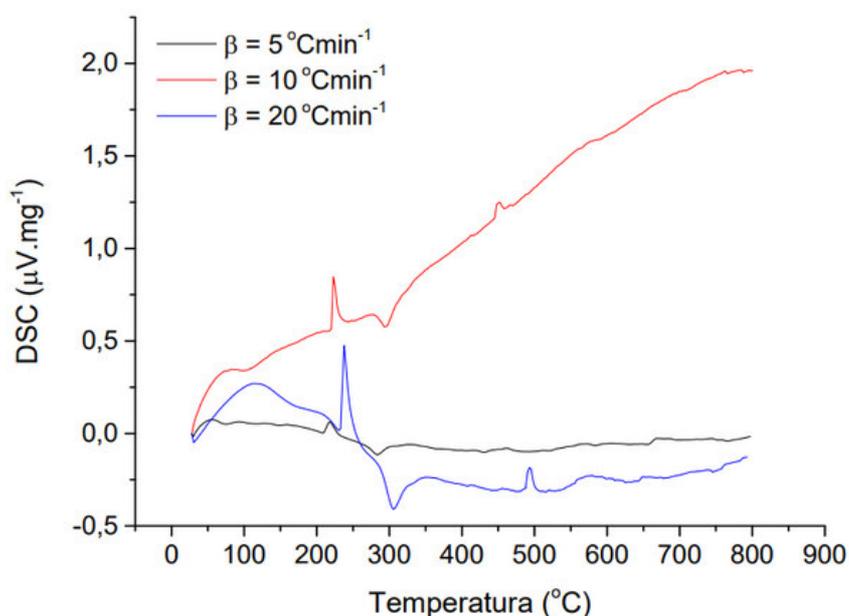
Fonte: O autor (2020)

Na Figura 16 pode-se visualizar a curva DTG, que mostra as temperaturas onde ocorreram as máximas taxas de variação da massa da amostra durante o experimento, sendo elas próximas a 212°C, 300°C, respectivamente. Nas duas faixas de aquecimento observa-se um primeiro pico onde a reação ocorre de maneira mais lenta, seguida de um pico mais pronunciado em que a reação ocorre mais rapidamente. Nas três curvas observa-se que a cada taxa de aquecimento os picos sofrem deslocamentos nas faixas de temperaturas em que

ocorrem suas reações, entretanto, as taxas de 5 e 10°C/min apresentam maior conformidade nas suas representações. Um fato bastante evidente nas curvas de DTG corresponde aos picos da taxa de aquecimento de 20°C/min serem muito maiores do que nas outras taxas, o que representa que essas reações estão ocorrendo de maneira muito mais rápida nessa taxa. Outra característica peculiar é que à taxa de 20°C o primeiro pico se torna mais estreito, fato que mostra que essa reação está ocorrendo numa faixa menor de temperaturas; (ANÁLISES TÉRMICAS, 2017).

## 5.2 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL

Figura 17 — Curva de DSC para o caroço de açaí.



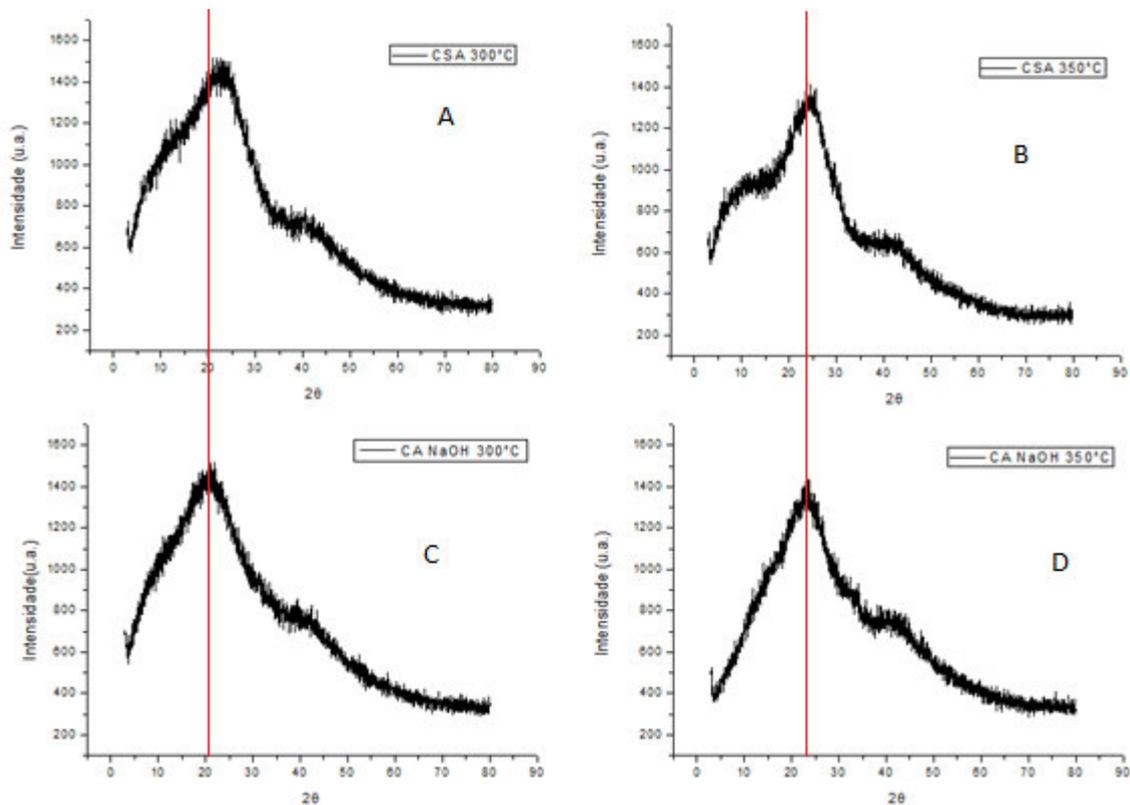
Fonte: O autor (2020)

De acordo com as curvas de DSC apresentadas na Figura 17, nota-se diferenças nos comportamentos energéticos das reações que ocorrem durante processo de queima do caroço de açaí nas três taxas de aquecimento, os picos são bem mais evidentes nas taxas de 20°C/min e 10°C/min, e nessa última taxa o processo acontece com grande quantidade de energia fornecida ao material em comparação com as outras taxas. No entanto, pode-se observar certas semelhanças, como um pico endotérmico bastante aberto que se estende até 212°C decorrente da perda de massa de água presente no material, em seguida tem-se a formação de outro pico endotérmico bem mais pronunciado, relacionada à perda de matéria orgânica volátil leve e hidrocarbonetos leves, que está em conformidade com o início da perda de massa bem mais pronunciada no gráfico de TGA da Figura 15 e acontece a partir de 212°C.

Posteriormente, por volta de 300°C há a presença de um pico exotérmico que está relacionado a degradação dos compostos orgânicos pesados presentes no material. Em 500°C tem-se a presença de outro pico endotérmico, bem menos pronunciado que o primeiro, relacionado a decomposição da celulose e lignina.

### 5.3 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

Figura 18 — Curvas de DRX para o carvão sem ativação (CSA) e com ativação (CA) nas temperaturas de 300°C e 350°C



Fonte: O autor (2020)

A partir dos dados da difração de raios-X, vê-se que o comportamento para a ativação não alterou significativamente a estrutura do carvão, considerando que o perfil das curvas não foi modificado drasticamente. A avaliação das temperaturas também demonstrou que as formas estudadas (300°C e 350°C) não afetaram as características do material, que nas duas análises realizadas, apresentaram picos característicos, com reflexões alargadas entre 20° e 30° e também entre 40° e 45° em  $2\theta$ , característicos de estrutura turbostrática dos microcristalitos tipo grafite, que correspondem as reflexões nos planos hkl (002) e (101), respectivamente, que sugere ser compatível de material não cristalino, ou seja, carvão ativado, como mostrados na Figura 18 (BENTES, 2017; SCHETTINO JUNIOR et al., 2007).

Os difratogramas dos carvões estudados mostram a formação de um material

tipicamente amorfo, característico para materiais carbonáceos submetidos à carbonização. Segundo relatado por Jiang et al. (2012), os padrões de picos registrados em região próxima de  $20^\circ$  dizem respeito a desordem no plano de carbono grafite e no pico na faixa de  $40^\circ$  indica desordem no plano de carbono. Segundo Zhang et al. (2004), os picos de difração larga observados são considerados padrões da natureza amorfa do carbono, estruturas que não possuem uma ordenação espacial a longa distância.

Ao analisar as amostras ativadas, é visto que o agente ativante não alterou a estrutura amorfa do material, isso é relacionado com a etapa de lavagem para remoção do excesso de agente ativante, que comprova que a lixiviação foi suficiente para retirada dos resíduos cristalinos da ativação, proporcionando a desobstrução dos poros. Ao comparar os gráficos de DRX de CSA e CA em suas respectivas temperaturas nota-se que com a ativação ocorreu um deslocamento do máximo de difração correspondente à reflexão (002) para posições angulares menores em comparação com o precursor. Este deslocamento é uma indicação de um aumento na distância interplanar ( $d_{002}$ ) entre os planos aromáticos, demonstrando existir uma relação entre  $d_{002}$  e a elevação da temperatura de ativação correspondentes aos picos próximos de  $20^\circ$  (SCHETTINO JUNIOR et al., 2007).

## 6 CONCLUSÃO

Diante do trabalho realizado, constata-se que o caroço do açaí pode ser uma valiosa matéria-prima para a produção de carvão ativado através do método de ativação química por NaOH. A fartura de açaí no Estado do Maranhão, a não utilização desse resíduo para outros fins e o baixo custo do processo são fatores que colaboram para a sua utilização na produção desse material. Salienta-se também o fato de estar agregando valor ambiental e econômico para o caroço, já que diminui sua exposição inadequada na natureza, que causa a poluição das águas e do solo, além de ser mais uma fonte de renda para os produtores locais de açaí.

As técnicas de caracterização demonstraram que os resultados de TGA são típicos de materiais lignocelulósicos e o alto teor de resíduos mostra a riqueza de carbono do material e seu potencial para produção de CA e com os dados da difração de raios-X, verificou-se que o comportamento, tanto para a ativação quanto para as temperaturas, não alteram significativamente a estrutura do carvão, considerando que o perfil das curvas não se alterou drasticamente. Pode-se depreender também que os difratogramas dos carvões mostram a formação de um material tipicamente amorfo, característico de materiais carbonáceos submetidos à carbonização.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tento em vista que esse foi um trabalho inicial para o estudo do potencial do caroço de açaí na forma de carvão ativado, ficam aqui minhas sugestões para a melhor compreensão desse novo uso para tal resíduo. Muitas são as variáveis que podem ser estudadas nesse trabalho, dentre elas, posso citar, estudar a ativação química com outros agentes ativantes, ou a utilização da ativação física do material. O uso de taxas de aquecimento diferentes também se faz bastante pertinente e principalmente, a realização de outros ensaios, nos quais posso destacar a Microscopia Eletrônica de Varredura, que nos mostrará a superfície microscópica do carvão e a análise pelo método de BET, que permitirá a determinação da área específica, a distribuição do tamanho e do volume dos poros, e a obtenção das isotermas de adsorção/dessorção. Sendo essas análises fundamentais para comprovar a qualidade do produto formado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJANEYULU, Y.; CHARY, N. Sreedhara; RAJ, D. Samuel Suman. Decolourization of industrial effluents – available methods and emerging technologies – a review. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-005-1246-z>. Acesso em: 26 ago. 2020.

ANÁLISES TÉRMICAS. **Como interpretar curvas de TGA e DSC.**

**AanalisesTermicas.com.br**. 2017. Disponível em:

<http://www.analisestermicas.com.br/como-interpretar-curvas-de-tga-e-dsc/>. Acesso em: 7 jul. 2020.

BENEDITO, Tatiana Helena de Sá. **Coleta, análise e degradação catalítica do alcatrão produzido na gaseificação de caroço de açaí e casca de arroz**. São José dos Campos, 2012. Dissertação (Engenharia e Tecnologia Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.05.14.45/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2020.

BENTES, Vera Lucia Imbiriba. **PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS A BASE DE FOSFATOS DE FERRO SUPOSTADOS EM CARVÕES ATIVADOS DE RESÍDUOS DE CAROÇOS DE AÇAÍ E DO ENDOCARPO DE TUCUMÃ PARA APLICAÇÃO AMBIENTAL**. Manaus, 2017. Tese (Química) -

Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017. Disponível em:

<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/6182>. Acesso em: 25 jul. 2020.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. RESOLUÇÃO n. 430, de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União. DISTRITO FEDERAL, 16 de maio de 2011. Disponível em:

[http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res\\_CONAMA/Resolucao\\_CONAMA\\_430\\_2011.pdf](http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_CONAMA/Resolucao_CONAMA_430_2011.pdf). Acesso em: 3 jul. 2020.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei n. 12305, de 02 de agosto de 2010. Diário Oficial da União. Brasília, 02 de agosto de 2010.

BROWN, Michael E.. **Introduction to Thermal Analysis: Techniques and Applications**. 1. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. Disponível em:

<https://td.chem.msu.ru/uploads/files/courses/special/specprac-ta/lit/Brown%20-%20Introduction%20to%20Thermal%20Analysis.%20Techniques%20and%20Applications.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2020.

BRUM, Sarah Silva *et al.* **PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DO CAFÉ**. Lavras-MG: Química Nova, v. 31, 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/pdf/qn/v31n5/a19v31n5.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2020.

CAPÍTULO 2 - TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DAS MULTICAMADAS DE TiN/ZrN . *In*: CAPÍTULO 2 - TÉCNICAS DE

CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DAS MULTICAMADAS DE TiN/ZrN . Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/3543/7/6-CAP2A.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

CLARK, Hélia Luiza Marques. **REMOÇÃO DE FENILALANINA POR ADSORVENTE PRODUZIDO A PARTIR DA TORTA Prensada de Grãos Defeituosos de Café**. Belo Horizonte, 2010. Dissertação (Farmácia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=187719](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=187719). Acesso em: 5 jul. 2020.

CLAUDINO, Andréia. **Preparação de Carvão Ativado a partir de Turfa e sua Utilização na Remoção de Poluentes**. Florianópolis, 2003. Dissertação (Engenharia química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86346/192226.pdf?sequence>. Acesso em: 4 jul. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Açaí - Análise Mensal - Junho - 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-acai/item/13736-acai-analise-mensal-junho-2020>. Acesso em: 2 jul. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Açaí: Análise Mensal - Março 2019**. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-acai/item/11112-acai-analise-mensal-marco-2019>. Acesso em: 2 jul. 2020.

CORDEIRO, Tamires Reis *et al.*. Aproveitamento do caroço de açaí como fonte de energia térmica para as olarias do município de Bragança-Pará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, VIII*. 2017. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/XI-050.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2020.

COSTA, Leticia dos Santos. **UTILIZAÇÃO DO CAROÇO DE AÇAÍ COMO LEITO FILTRANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIA**. Belém, 2014. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2014. Disponível em: <http://ppgec.proesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2014/leticia.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2020.

CULLITY, B. D.. **Elements of X-ray diffraction**. 2. ed. USA/Canada: ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY INC., 1978. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Ahmed\\_Hassanien/post/What\\_is\\_the\\_main\\_purpose\\_of\\_XRD\\_analysis\\_of\\_materials\\_How\\_it\\_is\\_different\\_from\\_EDS\\_analysis/attachment/59d64b9279197b80779a5988/AS%3A480622478139392%401491600736594/download/B.+D.+CULLITY-Elements+of+X-RAY+DIFFRACTION-SECOND+EDITION.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ahmed_Hassanien/post/What_is_the_main_purpose_of_XRD_analysis_of_materials_How_it_is_different_from_EDS_analysis/attachment/59d64b9279197b80779a5988/AS%3A480622478139392%401491600736594/download/B.+D.+CULLITY-Elements+of+X-RAY+DIFFRACTION-SECOND+EDITION.pdf). Acesso em: 9 jul. 2020.

DENARI, Gabriela Bueno; CAVALHEIRO, Éder Tadeu Gomes. **Princípios e Aplicações de Análise Térmica**. São Carlos: IQSC/USP, 2012. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75135/tde-04042013-151955/publico/GabrielaBuenoDenari\\_Revisado\\_Anexo.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75135/tde-04042013-151955/publico/GabrielaBuenoDenari_Revisado_Anexo.pdf). Acesso em: 2 jul. 2020.

EICHHORN, Peter *et al.* 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**, 2002. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969701008737?via%3Dihub>. Acesso em: 26 ago. 2020.

EMBRAPA. **A cultura do açaí**. 1. ed. Brasília: Textonovo Editora e Serviços Editoriais Ltda, 1995. 50 p. (Plantar). Disponível em:

[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Colecao\\_Plantar\\_000gbzhkoaj02wx5ok01dx9lcub0tr75.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Colecao_Plantar_000gbzhkoaj02wx5ok01dx9lcub0tr75.pdf). Acesso em: 2 jul. 2020.

FERNANDES, Kendra D'Abreu Neto. **Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água**. Porto Alegre-RS, 2010. Disponível em:

<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/7906>. Acesso em: 4 jul. 2020.

FU, Yuzhu; VIRARAGHAVAN, T.. Fungal decolorization of dye wastewaters: a review.

**Bioresource Technology**, v. 79, 2001. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852401000281?via%3Dihub>. Acesso em: 26 ago. 2020.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Fruticultura: Açaí**. Brasília, v. 2, 2010. Disponível em: <https://www.bb.com.br/docs/pub/inst/dwn/Vol2FruticAcai.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2020.

GANTUSS, Carlos Alberto Ribeiro. **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**

. Areia - Paraíba, 2006. Dissertação (Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia - Paraíba, 2006. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp009006.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2020.

GULNAZ, Osman; KAYA, Aysenur; DINCER, Sadik. The reuse of dried activated sludge for adsorption of reactive dye. **Journal of Hazardous Materials**, 2006. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389405006746?via%3Dihub>. Acesso em: 26 ago. 2020.

HATAKEYAMA, Tetsuko; QUINN, Francis X.. **Thermal Analysis Fundamentals and Applications to Polymer Science**. 2. ed. WILEY, 1999. Disponível em:

<http://dl.iranchembook.ir/ebook/polymer-1916.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2020.

HENRIQUES, Isabelly Paula de Sousa Azevedo. **CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE SORO DE LEITE CAPRINO E BOVINO ATRAVÉS DE CALORIMETRIA**

**DIFERENCIAL DE VARREDURA (DSC) E ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS (TGA)**. Natal/RN, 2018. Dissertação () - , Natal/RN, 2018. Disponível em:

[https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/26548?locale=pt\\_BR](https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/26548?locale=pt_BR). Acesso em: 7 jul. 2020.

IONASHIRO, Massao. **Giolito. Fundamentos da Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial e Calorimetria Exploratória Diferencial**. GIZ Editorial, 2004. Disponível em:

<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=2314642>. Acesso em: 1 jul. 2020.

IUPAC: UNIÃO INTERNACIONAL DE QUÍMICA PURA E APLICADA. **Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity**. 1985. Disponível em:

<https://www.degruyter.com/view/journals/pac/57/4/article-p603.xml>. Acesso em: 4 jul. 2020.

JACOBSEN, Saulo Davila . **PROPRIEDADES TRIBOCORROSIVAS DE MULTICAMADAS TI/TIN : DEPENDÊNCIA DO COMPRIMENTO DE MODULAÇÃO E PROPORÇÃO DA CAMADA CERÂMICA** . Porto Alegre, 2007. Dissertação ( Engenharia e Tecnologia dos Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em:

<https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/3274/1/000390390-Texto%2BCompleto-0.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

JIANG, Nanzhe *et al.* **Effect of hydrogen spillover in decalin dehydrogenation over supported Pt catalysts**. Applied Catalysis A: General , v. 35, f. 371-376, 2012.

JUNIOR, Orlando Ferreira Cruz. **PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE PRODUTOS RESIDUAIS DE ESPÉCIES NATIVAS DA REGIÃO AMAZÔNICA**. Manaus, 2010. Dissertação (Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Manaus, 2010. Disponível em:

<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp148880.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2020.

JUNIOR, Sebastião V. Canaverolo. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. 1. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2003. Disponível em:

<https://www.passeidireto.com/arquivo/51139452/sebastiao-v-canevarolo-jr-tecnicas-de-caracterizacao-de-polimeros-2003-artliber>. Acesso em: 9 jul. 2020.

KUNZ, Airton *et al.* **NOVAS TENDÊNCIAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS**. Química Nova, v. 25, 2002. Disponível em:

<https://www.scielo.br/pdf/qn/v25n1/10428.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2020.

MACHADO, Mary Ester Santiago. **ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL E TERMOGRAVIMÉTRICA**. 2008. Disponível em:

[https://www.academia.edu/7599003/AN%C3%81LISE\\_T%C3%89RMICA\\_DIFERENCIAL\\_E\\_TERMOGRAVIM%C3%89TRICA](https://www.academia.edu/7599003/AN%C3%81LISE_T%C3%89RMICA_DIFERENCIAL_E_TERMOGRAVIM%C3%89TRICA). Acesso em: 7 jul. 2020.

MELO, Tereza Noêmia Tavares da Fonsêca. **Utilização dos tensoativos na indústria de petróleo**. Angicos, 2013. Monografia (Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Angicos, 2013. Disponível em:

<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/232/TCC%20FINAL-%20Tereza%20Noemia%20-%20depois%20da%20defesa.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2020.

MOCHIUTTI, Silas *et al.* Geração de Tecnologias para a Produção Sustentável e Processamento de Frutos de Açaí no Estuário Amazônico. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17. 2002. **Anais [...]** Belém, 2002. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/406250/1/857.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2020.

MUCCIACITO, João Carlos. **Uso eficiente do carvão ativado como meio filtrante em processos industriais**. 2009. Disponível em:

<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/uso-eficiente-do-carvao-ativado-como-meio-filtrante-em-processos-industriais/>. Acesso em: 4 jul. 2020.

NAGAISHI , Thais Yuri Rodrigues . **AÇAÍ (Euterpe oleracea Mart): EXTRATIVISMO, CARACTERÍSTICAS, ENERGIA E RENDA EM UMA COMUNIDADE NA ILHA DE MARAJÓ/ PA.** . Belém, 2007. Dissertação (Ciências Florestais) - Universidade Federal

Rural da Amazônia, Belém, 2007. Disponível em:

[http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7370/dissertacao\\_Thais%20Yuri%20Rodrigues%20Nagaishi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7370/dissertacao_Thais%20Yuri%20Rodrigues%20Nagaishi.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 3 jul. 2020.

NOGUEIRA, Oscar Lameira; FIGUEIRÊDO, Francisco José Câmara; MÜLLER, Antonio Agostinho. **Açaí**: : Sistemas de Produção 4. 1. ed. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/408196/1/SISTEMAPROD40NLINE.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2020.

OLIVEIRA, Johnatt Allan Rocha de. **Investigação das etapas para o processo de produção de etanol de segunda geração a partir da biomassa do caroço de açaí (euterpe oleracea)**. Campinas, 2014. Tese (Engenharia química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em:

[http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/266070/1/Oliveira\\_JohnattAllanRocha\\_de\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/266070/1/Oliveira_JohnattAllanRocha_de_D.pdf). Acesso em: 1 jul. 2020.

OLIVEIRA, Maria do Socorro Padilha de; NETO, João Tomé de Farias; PENA, Rosinelson da Silva. **AÇAÍ: TÉCNICAS DE CULTIVO E PROCESSAMENTO**. Fortaleza: Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria - FRUTAL, 2007. 104 p. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cursoacai\\_Frutal\\_2007\\_000gbz4ubex02wx5ok01dx9lc36pq0js.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cursoacai_Frutal_2007_000gbz4ubex02wx5ok01dx9lc36pq0js.pdf). Acesso em: 2 jul. 2020.

ORGÃO DE DIVULGAÇÃO DO MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI. **DESTAQUE AMAZÔNIA**. 1985.

OTERO, M. *et al.* Kinetic and equilibrium modelling of the methylene blue removal from solution by adsorbent materials produced from sewage sludges. **Biochemical Engineering Journal**, v. 15, 2003. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/223727438\\_Kinetic\\_and\\_equilibrium\\_modelling\\_of\\_the\\_methylene\\_blue\\_removal\\_from\\_solution\\_by\\_adsorbent\\_materials\\_produced\\_from\\_sewage\\_sludges](https://www.researchgate.net/publication/223727438_Kinetic_and_equilibrium_modelling_of_the_methylene_blue_removal_from_solution_by_adsorbent_materials_produced_from_sewage_sludges). Acesso em: 24 ago. 2020.

PEREIRA, Edivan Nascimento. **CARVÃO DO CAROÇO DE AÇAÍ (Euterpe oleracea) ATIVADO QUIMICAMENTE COM HIDRÓXIDO DE SÓDIO (NaOH) E SUA EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA O CONSUMO**. Moju - Pará, 2013. Disponível em:

[http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2013/pjc/imagens/publicacoes/ganhadores/EnsinoMedio/1Lugar\\_1671\\_Edivan\\_Nascimento\\_Pereira.pdf](http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2013/pjc/imagens/publicacoes/ganhadores/EnsinoMedio/1Lugar_1671_Edivan_Nascimento_Pereira.pdf). Acesso em: 20 ago. 2020.

PEREIRA, Elaine *et al.* **Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl<sub>3</sub> como agente ativante**. Química Nova, v. 31, 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/pdf/qn/v31n6/a04v31n6.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2020.

RAMOS, Paullize H. *et al.* **PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DO DEFEITO PRETO, VERDE, ARDIDO (PVA) DO CAFÉ**. Química Nova, v. 32, 2009. Disponível em:

[http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol32No5\\_1139\\_10-AR08196.pdf](http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol32No5_1139_10-AR08196.pdf). Acesso em: 4 jul. 2020.

REIS, Bruno de Oliveira *et al.* Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí.

In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4. 2002, Belém, 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v2/112.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2020.

ROBINSON, T.; CHANDRAN, B.; NIGAM, P.. Removal of dyes from a synthetic textile dye effluent by biosorption on apple pomace and wheat straw. **Water Research**, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135401005218?via%3Dihub>. Acesso em: 26 ago. 2020.

RODRÍGUEZ-REINOSO, Francisco. **An Overview of Methods for Characterization of Activated Carbons.**, v. 61. 1989. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.550.4131&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 4 jul. 2020.

SCHETTINO JUNIOR, Miguel Ângelo *et al.* **PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO QUIMICAMENTE A PARTIR DA CASCA DE ARROZ.** São Paulo: Química Nova, v. 30, f. 1663-1668, 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/239272070\\_Preparacao\\_e\\_caracterizacao\\_de\\_carvao\\_ativado\\_quimicamente\\_a\\_partir\\_da\\_casca\\_de\\_arroz](https://www.researchgate.net/publication/239272070_Preparacao_e_caracterizacao_de_carvao_ativado_quimicamente_a_partir_da_casca_de_arroz). Acesso em: 30 jul. 2020.

SOUZA, Aparecida das Graças Claret de *et al.* **Fruteiras da Amazônia.** Brasília: Embrapa - SPI, 1996. 204 p.

SOUZA, Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de *et al.* **Removal of Toxic Contaminants from Petrochemical Effluents using Adsorption and Biodegradation Processes.** 1. ed. Kassel: University of Kassel, v. 1, 2011, p. 1-20. Disponível em: [https://www.academia.edu/20918539/Removal\\_of\\_Toxic\\_Contaminants\\_from\\_Petrochemical\\_Effluents\\_using\\_Adsorption\\_and\\_Biodegradation\\_Processes](https://www.academia.edu/20918539/Removal_of_Toxic_Contaminants_from_Petrochemical_Effluents_using_Adsorption_and_Biodegradation_Processes). Acesso em: 8 ago. 2020.

SPOMBERG, SIMONE. **USO DE DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X NA QUANTIFICAÇÃO DE FERRITA E AUSTENITA EM AÇOS INOXIDÁVEIS DÚPLEX.** São Bernardo do Campo, 2010. Disponível em: [https://fei.edu.br/~rodrmagm/PROJETOS\\_IC/2011/SS\\_Parcial\\_2011.pdf](https://fei.edu.br/~rodrmagm/PROJETOS_IC/2011/SS_Parcial_2011.pdf). Acesso em: 8 jul. 2020.

SUN, Gang; XU, Xiangjing. Sunflower Stalks as Adsorbents for Color Removal from Textile Wastewater. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, 1997. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie9603833?src=recsys&>. Acesso em: 22 ago. 2020.

TEIXEIRA, Leopoldo Brito *et al.* **Compostagem: lixo orgânico urbano e resíduos da agroindústria do açaí.** 1. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, Albras, 2006.

UNICAMP. **Difração de Raio X. Laboratório de Física Moderna do Instituto de Física "Gleb Wataghin".** Disponível em: <https://sites.ifi.unicamp.br/lfmoderna/conteudos/difracao-de-raio-x/>. Acesso em: 10 jul. 2020.

VASQUES, Andressa Regina. **Caracterização e Aplicação de Adsorvente para Remoção de Corantes de Efluentes Têxteis em Batelada e Colunas de Leito Fixo.** Florianópolis, 2008. Dissertação (Engenharia química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/90859/251395.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 ago. 2020.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 2009.

ZHANG, Shuting *et al.* **Preparation and characterization of antibacterial silver-dispersed activated carbon aerogels**. Carbon, v. 42, f. 3209-3216, 2004.