



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO**  
**LICENCIATURA INTEGRADA EM BIOLOGIA E QUÍMICA**

**JOSIVALDO GODINHO DE SOUSA**

**OBTENÇÃO DE SÍLICA BIOGÊNICA EM ESPONJAS DE**  
**ÁGUA DOCE DO GÊNERO *DRULIA* COLETADAS NO RIO**  
**TAPAJÓS**

**Santarém-PA**  
**2019**

**JOSIVALDO GODINHO DE SOUSA**

**OBTENÇÃO DE SÍLICA BIOGÊNICA EM ESPONJAS DE  
ÁGUA DOCE DO GÊNERO *DRULIA* COLETADAS NO  
RIO TAPAJÓS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Licenciatura Integrada em Biologia e Química – Percurso Química da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química.

**Orientador:** Prof. Dr. Carlos Sergio Ferreira

**Santarém-PA  
2019**

Dados interacionais de catalogação-na-Publicação (CIP)

Sistema integrado de Biblioteca- SIBI/UFOPA

---

Sousa, Josivaldo Godinho de.

Obtenção de sílica biogênica em esponjas de água doce do gênero *Drulia* coletadas no rio Tapajós / Josivaldo Godinho de Sousa. - Santarém, 2019.

40f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências da Educação, Curso Integrado de Biologia e Química.

Orientador: Carlos Sérgio Ferreira.

1. Sílica biogênica. 2. Esponja de água doce. 3. Obtenção de sílica. I. Ferreira, Carlos Sérgio, orient. II. Título.

CDD 23 ed. 543

---

Bibliotecário – Documentalista: Bárbara Costa - CRB-15/806

**JOSIVALDO GODINHO DE SOUSA**

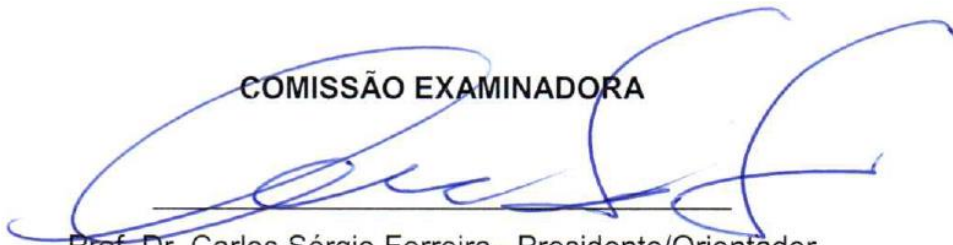
**OBTENÇÃO DE SÍLICA BIOGÊNICA EM ESPONJAS DE  
ÁGUA DOCE DO GÊNERO DRULIA COLETADAS NO RIO  
TAPAJÓS**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

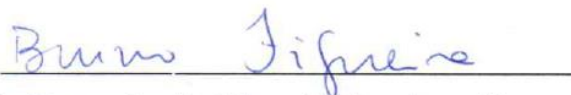
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi analisado pelos membros da Banca Examinadora, abaixo assinados, sendo considerado com conceito: 9,0

Aprovado em: 15 / 02 / 2019

**COMISSÃO EXAMINADORA**



Prof. Dr. Carlos Sérgio Ferreira – Presidente/Orientador  
*Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA*



Prof. Dr. Bruno Apollo Miranda Figueira - 1º examinador  
*Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA*

**Prof. Dr. Bruno Figueira**  
UFOPA  
CPF 214288



Prof.ª. Dr.ª. Gisele Afonso Bento Mello - 2º examinadora  
*Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA*

*Aos meus pais, Dona Néia e Seu João,  
que incansavelmente lutaram pela  
educação dos seus cinco filhos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a DEUS, que por diversas vezes me deu força para lutar e nunca desistir desse desafio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Sérgio Ferreira, pela sabedoria com que me guiou nesta longa trajetória.

Aos meus professores do curso, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Deyanira da Silva; Prof. Dr. Fábio Rogério; Prof. Dr. Júlio Fernandes; Prof. Dr. Adriano Rabelo; Fábio Aprille; Prof. Dr. Everaldo do Carmo.

À Prof<sup>a</sup>. Roseclea Bezerra, pelo conhecimento repassado em sala de aula durante os quatros anos de PIBID e o estágio supervisionado que foi realizado com a mesma, foram de suma importância para minha formação acadêmica.

Aos meus colegas, da turma da Química 2012, especialmente, a Regiane Vieira Gomes, por ter sempre me acompanhado e encorajando por todo este percurso acadêmico.

Aos meus colegas das turmas da Química 2011 e 2014: Bruno Gomes, Cintia Almeida, Samara Vieira, Victor Valentin, Samuel Carvalho, Waylla Pereira, Ellen Janaína e Simone Oliveira.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, especialmente aos meus pais, Elineia Godinho de Sousa e João Batista de Sousa, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Gostaria também agradecer aos meus amigos Deivid Martins Costa e Gabriel Almeida de Sousa, por terem me ajudado por diversas vezes, sempre que precisei nesse percurso acadêmico.

À minha amada, Oscarina dos Santos, que sempre está ao meu lado.

Ao Prof. Dr. Bruno Figueira por me auxiliar nas análises de difração de raios X disponibilizando o laboratório de síntese e caracterização de novos materiais.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez”  
(Thomas Edison).*

## RESUMO

As esponjas de água doce, conhecidas na Amazônia como cauxí são encontradas facilmente nos rios, lagos e igarapés da região. Esses animais são invertebrados aquáticos e ficam fixados, principalmente, nas vegetações que sofrem pulsos de inundação durante o período das chuvas. As esponjas pertencem ao filo porífera, que apresenta três classes: *Calcarea*, *Demospongiae* e *Hexactinellida*. O esqueleto destas esponjas é composto por espículas silicosas, exceto às pertencentes à classe *calcarea*. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi obter sílica de esponjas de água doce, utilizando a técnica de tratamento térmico em forno mufla. As esponjas foram coletadas na comunidade de Pajuçara, localizada na região do eixo-forte no município de Santarém, Pará. O material foi pré-tratado para remoção de impurezas oriundas do local da coleta e posteriormente calcinado em forno mufla nas temperaturas de 400, 600, 800 e 1000 °C para estimar a quantidade de material orgânico e determinar a melhor temperatura para extração. As amostras obtidas nas temperaturas de 600°C e 1000°C foram utilizadas para caracterização pelas técnicas de difração de raios x (DRX) e fluorescência de raios x (FRX). Os resultados de DRX mostraram características típicas de difratogramas ricos em sílica amorfa com um pico amplo correspondente ao SiO<sub>2</sub>, além das fases Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Os resultados obtidos por FRX mostraram que as porcentagens em base seca para as fases SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foram de 90,21, 4,43 e 3,40 % (m/m) para a temperatura de 600 °C e 90,35; 4,53 e 3,20% para a temperatura de 1000 °C, respectivamente, além de outros óxidos em menores quantidades.

**Palavras-chave:** Sílica biogênica. esponja de água doce. Obtenção de sílica

## ABSTRACT

Freshwater sponges, known in the Amazon as cauxí are found easily in rivers, lakes and streams of the region. These animals are aquatic invertebrates and are set mainly in the vegetations suffering pulses of flooding during the rainy season. The sponges belong to the phylum porifera, which features three classes: Calcarea, Demospongiae and Hexactinellid. The skeleton of these sponges consists of siliceous spicules, except those belonging to the class calcarea. In this way, the aim of this study was to obtain silica of freshwater sponges, using the technique of heat treatment muffle oven. The sponges were collected in the community of Pajuçara axis region-Fort in the municipality of Santarém, Pará. The material was pre-treated to remove impurities from the site collection and then calcined in muffle oven at temperatures of 400, 600, 800 and 1000° C to estimate the amount of organic material and determine the best temperature for extraction. The samples obtained at temperatures of 600° C and 1000° C were used for characterization techniques of x-ray diffraction (DRX) and x-ray fluorescence (FRX). The results of XRD showed typical characteristics of amorphous silica-rich difratogramas with a broad peak corresponding to the SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phases as well. The results obtained by FRX showed that the percentages in dry basis for phases SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were of 90,21; 4,43 and 3,40% (m/m) to the temperature of 600° C and 90,35; 4,53 and 3,20% for temperature of 1000° C, respectively, in addition to other oxides in smaller amounts.

**Keywords:** Biogenic Silica. freshwater sponge. Obtaining of silica.

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

DRX - difração de raios X

FRX - fluorescência de raios X

WDXRF - fluorescência de raios X por dispersão de comprimento de onda

EDXRF - fluorescência de raios X por dispersão de energia

IEG - Instituto de Engenharia e Geociências

UFOPA - Universidade Federal do Oeste do Pará

MRN - Mineração Rio do Norte

JCPDS - Comitê Misto de Padrões de Difração em Pó

U.M.A - Unidade de massa atômica

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Diagrama em corte de uma esponja simples .....	<b>18</b>
<b>Figura 2-</b> Unidade básica dos tetraedros de sílica ( $\text{SiO}_4$ ) <sup>4</sup> .....	<b>20</b>
<b>Figura 3-</b> Transferência de energia no interior do átomo.....	<b>22</b>
<b>Figura 4-</b> Esquema da difração de Bragg .....	<b>23</b>
<b>Figura 5-</b> Fluorescência a nível atômico .....	<b>25</b>
<b>Figura 6-</b> Ponto de coleta das esponjas de água doce.....	<b>26</b>
<b>Figura 7- (a)</b> Coleta das amostras de esponjas de água doce durante o período da vazante, e <b>(b)</b> Amostra de esponja de água doce coletada. ....	<b>27</b>
<b>Figura 8- (a)</b> Lavagem das amostras de esponjas-de-água-doce e, <b>(b)</b> Filtração das esponjas-de-água-doce para separação dos sólidos dissolvidos.....	<b>27</b>
<b>Figura 9-</b> (a) Amostra de esponja após o processo de pré-tratamento, (b) Forno mufla utilizado, e (c) Amostras de esponja prontas para calcinação. ....	<b>28</b>
<b>Figura 10-</b> Representação esquemática do procedimento adotado .....	<b>29</b>
<b>Figura 11-</b> Materiais utilizados para realização da identificação taxonômica .....	<b>31</b>
<b>Figura 12-</b> Espículas obtidas a partir de um microscópio convencional .....	<b>32</b>
<b>Figura 13-</b> Difractogramas obtidos nas amostras calcinadas à 600 e 1000°C .....	<b>35</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-</b> Elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre .....	<b>19</b>
<b>Gráfico 2-</b> Influência da temperatura no teor de material orgânico.....	<b>34</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b> Rendimento das amostras em diferentes temperaturas .....	<b>33</b>
<b>Tabela 2-</b> Identificação dos padrões utilizados .....	<b>35</b>
<b>Tabela 3-</b> Composição percentual elementar em bases secas das amostras de esponjas determinada pela técnica de FRX.....	<b>36</b>
<b>Tabela 4-</b> Composição percentual dos óxidos presentes na amostra de esponja obtida por FRX. ....	<b>37</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
3.1. Biologia das esponjas.....	17
3.2. Silício, sua abundância e obtenção.....	18
3.3. Sílica, sua obtenção e aplicações.....	19
3.4. Raios X .....	22
3.4.1 Difração de raios X (DRX).....	23
3.4.2. Fluorescência de raios X (FRX).....	24
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>26</b>
4.1. Coleta das amostras .....	26
4.2. Pré-tratamento.....	27
4.3. Determinação do teor do material orgânico.....	29
4.4. Caracterizações do material obtido .....	30
4.4.1. Análise de Difração de Raios X.....	30
4.4.2 Análise de Fluorescência de raios x.....	30
4.5. Análise Taxonômica.....	30
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>32</b>
5.1. Identificação taxonômica .....	32
5.2. Determinação do teor de material orgânico.....	33
5.3. Caracterização da sílica obtida.....	34
5.3.1. Caracterização mineralógica: difração de raios X (DRX).....	34
5.3.2. Caracterização química: Fluorescência de Raios X (FRX) .....	36
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A floresta amazônica possui uma biodiversidade surpreendente, o que estimulou o desenvolvimento de inúmeras pesquisas nas últimas décadas na região. A Amazônia abriga uma grande variedade de espécies da flora e da fauna e é também uma importante área de endemismos, que fazem da região uma reserva genética de importância mundial para o desenvolvimento da humanidade (COSTA *et al* 2008).

Os rios amazônicos possuem uma grande diversidade biológica, e é bem comum encontrar, durante o verão amazônico uma espécie de esponja de água doce aderido à vegetação, às pedras e a outros materiais que ficam nos leitos dos rios como pontes e “*pears*” de atracação, ou seja, lugares que sofrem pulsos de inundação durante o inverno amazônico. Essas esponjas são comumente conhecidas na região com o nome de cauxí.

O cauxí é uma esponja de água doce da classe *Demospongiae*, pertencente ao filo *Porifera*. Atualmente, existe em torno de 15000 espécies, dividida em três classes: *Calcarea*, *Demospongiae* e *Hexactinellida* (BARROS *et al*, 2013). De forma geral, as esponjas secretam uma variedade de esqueletos minerais que podem consistir de calcita, aragonita e sílica amorfa (PEREIRA, 2009). A classe *Demospongiae* é encontrada exclusivamente em ambiente aquáticos dulcícolas e apresentam em seu esqueleto espículas que são majoritariamente constituídas de silício (VOLKMER-RIBEIRO, 1981).

O Silício na forma de dióxido de silício, ou sílica, é um constituinte de muitas rochas, como granito e o arenito (KOTZ, 2012) e é a matéria prima mais utilizada em diversos tipos de indústrias. Ele é um composto fundamental para aplicações em materiais como concretos, argilas e cerâmicas, e está presente ainda na composição de ligas metálicas, vidros, revestimentos e na moderna indústria de polímeros siliconados e de dispositivos eletrônicos (SILVA JÚNIOR, 2009). A sílica também tem sido obtida a partir de fontes alternativas, como os casos da casca de arroz e o bagaço da cana-de-açúcar (FERREIRA 2005 e HELENO, 2015).

Considerando a abundância desses organismos aquáticos na maior região dulcícola do mundo, que é a região amazônica, existe a possibilidade de exploração desses

organismos como fonte de renda pelas comunidades ribeirinhas (BARRO2013). Neste contexto, este trabalho teve como objetivo a obtenção do dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) pelo tratamento térmico de esponjas de água doce pertencente a classe *Demospongiae* coletadas as margens do rio Tapajós.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Obter sílica biogênica, a partir de esponjas do gênero *Drulia* através de tratamento térmico no forno mufla.

### **2.2. Objetivos específicos**

- ✓ Caracterizar a estrutura química mineral das amostras de esponjas de água doce.
- ✓ Identificar os componentes elementares majoritários presentes nas amostras de esponjas de água doce.
- ✓ Quantificar a composição inorgânica das amostras de esponjas

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Biologia das esponjas.

As esponjas são os animais multicelulares mais primitivos. Elas apresentam uma organização bem simples, com células especializadas, embora não se organizam em órgãos ou tecidos (BARROS 2013 *apud* Ruppert, Fox e Barnes, 1996; Hickman Jr, Roberts e Larson, 2000). Estes animais recebem o nome de poríferos por causa dos seus poros (MARGULIS, 2012). De acordo com Pereira (2009), as esponjas estão entre as espécies mais primitivas de metazoários do planeta e habitam os oceanos desde o período pré-cambriano, sendo que as mais antigas no registro fóssil são de cerca de 500 milhões de anos atrás (MARGULIS, 2012).

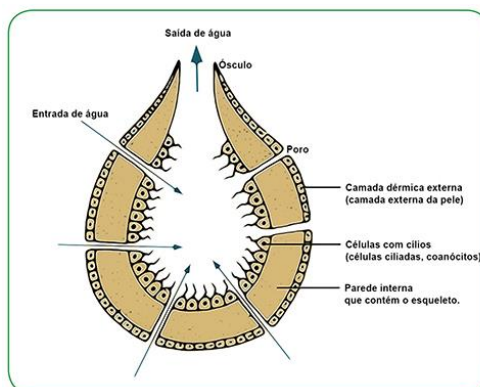
Existem 15000 espécies de esponjas divididas em três grandes classes: *Hexactinellida*, *Calcarea* e *Demospongiae*. Dentre essas, a classe *Demospongiae* apresenta seu esqueleto constituído essencialmente de espículas silicosas e em menores concentrações os elementos como Al, Ca, Cl, Cu, Fe, K, S, Zi entre outros (SCHRODER *et al* 2008).

Essa classe que apresenta maior diversidade de espécies e vivem exclusivamente em ambientes de água doce, se distribui por 200 espécies e em 45 gêneros (BARROS *et al* 2013). Na região amazônica central há predominância das espécies *Drulia Cristata* e *Drulia Uruguayenses*, com distribuição contínua e abundante (BARROS *et al* 2013).

Em termos de biodiversidade, é importante destacar que a América do Sul abriga uma das maiores diversidades mundial de esponjas de água doce, em sua maioria, detectadas para as bacias dos rios Amazonas, Paraná e Uruguai, principalmente nos seus cursos médio e inferior (KALINOVSKI *et al*, 2016).

A Figura 1 mostra o esquema do corte de uma esponja simples. Verifica-se na figura o sentido do fluxo da água, onde ocorre a filtração dos minerais necessários para sua sobrevivência.

**Figura 1**-Diagrama em corte de uma esponja simples



**Fonte:** Disponível em

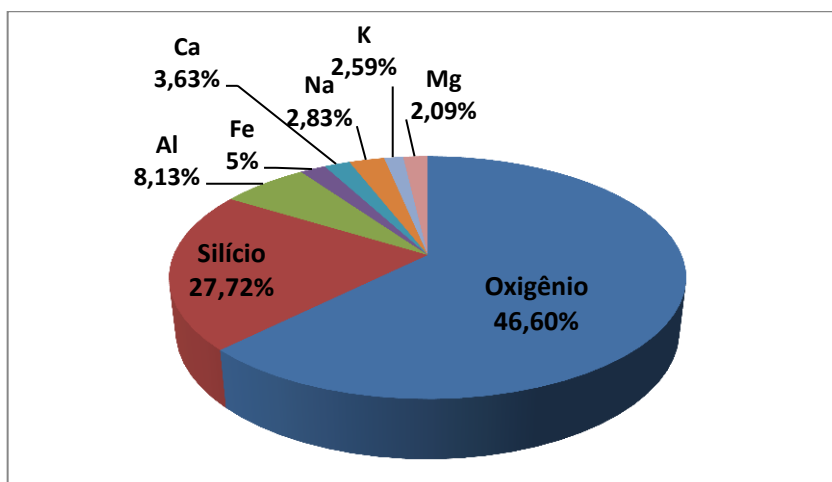
<<http://www.universiaenem.com.br/sistema/faces/pagina/publica/conteudo/texto.html.xhtml?redirect=57936498257535913758328258970>>.

Acesso em 22 dez.2018

### 3.2. Silício, sua abundância e obtenção.

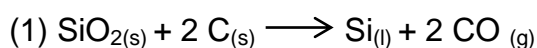
O silício é um elemento químico de símbolo Si e de número atômico 14 (14 prótons e 14 nêutrons) possui massa atômica igual a 28 u.m.a, e foi descoberto pelo químico sueco Jons Jacob Berzelius, em 1823.

O silício cristalino, em temperatura ambiente, encontra-se no estado sólido, possui uma alta dureza, baixa solubilidade, de cor cinza escuro, apresentando certo brilho metálico (GOMES et al 2018). É um elemento relativamente inerte e resistente à ação da maioria dos ácidos, reage com os halogêneos e alcalinos terrosos. Adicionalmente, é o segundo elemento químico mais abundante da crosta da terrestre, de modo que, não é surpreendente o fato de estarmos rodeados por objetos que contêm silício como, tijolos, utensílios cerâmicos, porcelana, lubrificantes, seladores, chips de computadores e células solares (KOTZ 2012). Nesse sentido Teixeira (2008) afirma que o oxigênio e o silício perfazem mais de 70% dos elementos presentes na crosta terrestre (Gráfico 1), e esse é um fator determinante para que os silicatos constituam aproximadamente 90% dos minerais hoje existentes.

**Gráfico 1-** Elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre

Fonte: TEIXEIRA et.al (2008)

O silício puro pode ser obtido em grandes quantidades por meio do aquecimento de areia de sílica pura com coque purificado em uma fornalha elétrica a uma temperatura de aproximadamente 3000 °C (KOTZ, 2012). Atualmente, todo o silício de grau metalúrgico produzido, é processado através da redução da quartzita ou da areia, em forno de arco voltaico e na presença de uma porção estequiométrica de carbono (SILVA JUNIOR 2009), de acordo com a Equação 1.



### 3.3. Sílica, sua obtenção e aplicações.

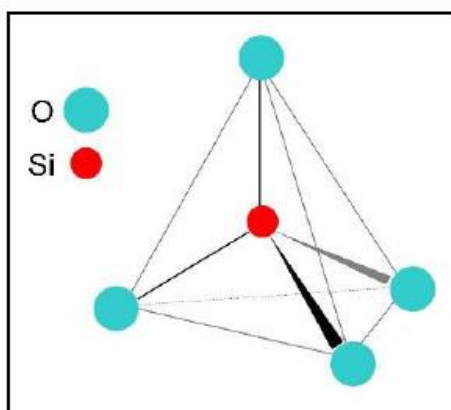
O termo sílica é utilizado como uma denominação ao composto dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) e é empregado para se referir a todas as suas formas cristalinas, amorfas, hidratadas ou hidroxiladas (SILVA JUNIOR 2009 *apud* ILLER, 1979), sendo encontrada em abundância em plantas, animais e seres vivos; a sílica solúvel é constantemente dissolvida e precipitada sobre parte da superfície terrestre, aparecendo com maior intensidade nos silicatos das rochas, minerais e constituintes dos solos (VOLKMER-RIBEIRO 2005). Silva Junior (2009) ressalva, que logo após a água, a sílica é o segundo composto químico mais estudado, e isso se dá em decorrência a grande abundância deste composto no planeta e também devido sua

grande utilidade em diferentes áreas da indústria, tais como, tecnologia, construção civil, cosméticos, utensílios entre outras.

Gomes *et al* (2018) *apud* Papirer (2000), afirma que a elevada resistência térmica da sílica se dá em decorrência à interação entre os dois elétrons  $p$  desemparelhados nos orbitais  $2p_y$  e  $2p_z$  do oxigênio e o orbital  $d$  vazio do silício, resultando em ligações de caráter  $\pi$ , que sobrepostas adequadamente às ligações  $\sigma$ , produzem o aumento de energia de todas as ligações Si-O.

A Figura 2 mostra as unidades tetraédricas ( $\text{SiO}_4$ ), constituídas de 1 átomo de silício rodeado por 4 átomos de oxigênio o que lhes dá uma carga total possível de -4 (GOMES *et al* 2018).

**Figura 2-** Unidade básica dos tetraedros de sílica ( $\text{SiO}_4$ )<sup>4</sup>



**Fonte:** GOMES *et al* (2018)

Silva Junior (2009) *apud* Junkes *et al.* (2007) afirma que a extração do dióxido de silício é realizada nas fontes minerais de quartzita de alta pureza, mas tem-se visto recentemente, trabalhos onde a  $\text{SiO}_2$  também pode ser obtida de outras maneiras, como através de fontes renováveis tais como as cascas de arroz e do bagaço da cana-de-açúcar (FERREIRA, 2005 e HELENO, 2015).

Outra forma de se obter sílica é a partir de esponjas de água doce. As esponjas são organismos aquáticos amplamente e facilmente encontrados no período de vazantes dos rios que formam a bacia amazônica. As esponjas têm como característica básica um esqueleto de espículas compostas por dióxido de silício, em forma de opala, isto é amorfa, que pode representar mais de 75% da massa seca do

esqueleto do animal (JÚNIOR, 2013 apud VOLKMER-RIBEIRO et al, 2005) Denomina-se sílica biogênica ou opala biogênica toda sílica que é produzida a partir de organismos vivos, tais como plantas (arroz, cana-de-açúcar, cactos, algas) e animais (exoesqueletos) como exemplo as esponjas (GOMES *et al* 2018 apud CHAVES et al 2009).

Segundo Silva Junior (2009), a sílica possui uma grande variedade de propriedades químicas e físicas que são utilizadas nas tecnologias atuais, de forma que esse composto está presente na moderna indústria de polímeros siliconados e de dispositivos eletrônicos. Um dos motivos que podemos destacar para grande utilização da sílica nas diferentes áreas das indústrias é sua alta resistência, pois ela é resistente ao ataque de quase todos os ácidos, exceto HF, com o qual reage formando  $\text{SiF}_4$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (KOTZ, 2012).

Kotz (2012) afirma que, outra excelente aplicação é a síntese de polímeros de silicone, e que uma característica desses polímeros é a grande estabilidade diante do calor, da luz e do oxigênio. Adicionalmente são atóxicos e quimicamente inertes, eles apresentam propriedades antiespumantes e antiaderente, e são usados em uma variedade de produtos, como lubrificantes, rótulos de destaque fácil, batom, loção bronzeadora, cera para veículos e materiais para calafetagem na construção civil.

Outra aplicação da sílica está na fabricação de quartzo sintético, que são formados a partir da sílica em hidróxido de sódio. Nas transmissões de rádio e televisão, são usados cristais de quartzo para controlar a frequência dessas transmissões, e como nesta e em outras aplicações são utilizadas grandes quantidades de quartzo e, como o quartzo natural não consegue atender a essa demanda, é necessário sintetizar o cristal de quartzo (KOTZ, 2012).

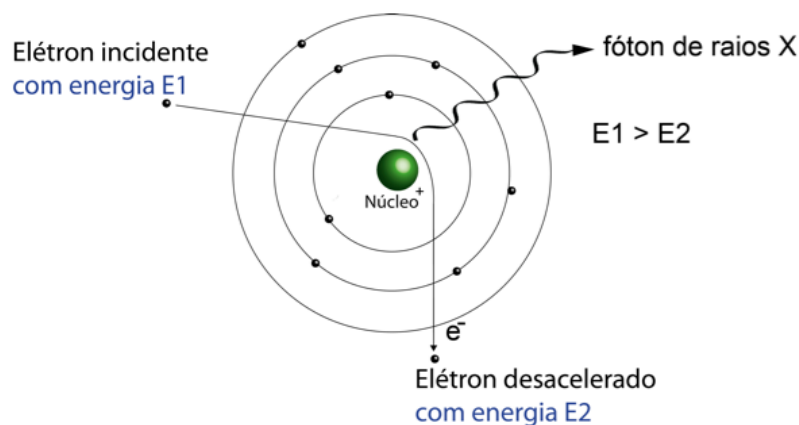
A sílica gel também é mencionada por Kotz (2012), como outra aplicação da sílica usada pela indústria em grande quantidade. Após o tratamento do silicato de sódio com o ácido forma-se um precipitado gelatinoso de dióxido de silício, chamado de sílica gel. Esse material é altamente poroso e possui muitas utilidades, dentre as quais pode se citar o uso como agente secante, pois possui uma capacidade de absorver rapidamente 40% do seu peso em água. Para esta finalidade, o material é encontrado em pequenos pacotes que são geralmente colocados em embalagens de mercadorias durante o armazenamento.

### 3.4. Raios X

Os raios X foram descobertos em 8 de novembro de 1895, pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen, quando realizava experimentos com os raios catódicos. Ele deu esse nome por não saber do que se tratava a natureza desses raios, até que mais tarde se descobriu que se tratava de ondas eletromagnéticas. A radiação era altamente energética e conseguia penetrar a matéria, escurecendo as placas fotográficas cobertas e provocando fluorescência em várias substâncias (CHANG, 2010).

Os raios X são radiações eletromagnéticas que correspondem a uma faixa do espectro que vai desde 10 nm à 0,1 nm (SKOOG, 2012) que são produzidos pela desaceleração de elétrons de alta energia e/ou transição de elétrons dos orbitais internos dos átomos (CIENFUEGOS, 2000).

**Figura 3-** Transferência de energia no interior do átomo



**Fonte:** Disponível em:

<http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/images/rx/fig48.png>.

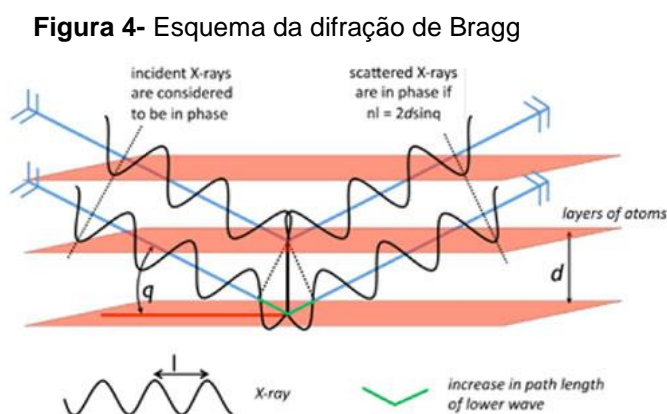
Acesso em 22 dez.2018

Para Cienfuegos (2000), para que ocorra a emissão de energia é necessário que haja energia pouco maior que a própria linha de raios X emitida, portanto, dessa forma o elétron é ejetado (Figura 3).

### 3.4.1 Difração de raios X (DRX)

De acordo com Atkins e Jones (2001), a difração de raios-x é uma importante técnica utilizada para determinar o arranjo dos átomos nos compostos sólidos bem como os ângulos de ligação. O fenômeno da difração ocorre quando há uma interferência entre ondas que surge quando existe um objeto em seu caminho (ATKINS e JONES, 2001)

A intensidade da difração depende exclusivamente dos detalhes da composição do cristal e a identidade dos átomos (SHRIVER, 2008). A Figura 4 ilustra o esquema da difração de Bragg, na qual os fótons são desviados para todas as direções. Ao incidir um feixe de raios-x em um cristal, o mesmo interage com átomos presentes, originando o fenômeno de difração (LIMA, 2010).



Fonte: Disponível em:

[https://www.scienceinschool.org/sites/default/files/articleContentImages/24/crystals/issue24crystals37\\_1.jpg](https://www.scienceinschool.org/sites/default/files/articleContentImages/24/crystals/issue24crystals37_1.jpg). Acesso em 26 dez. 2018

Essa difração ocorre quando o comprimento de onda da radiação é comparável aos espaçamentos característicos do objeto que causa a difração. Portanto, para obter padrões de difração de camadas de átomos, é necessário usar radiação de comprimentos de onda comparável aos espaçamentos das camadas. De acordo com Shriver e Atkins (2008), há duas técnicas principais de raios-X: o método em pó e o método de difração de monocristal.

Na difração em pó, um feixe de raios-x monocromático é direcionado para uma amostra que é pulverizada e espalhada em um suporte. Mede-se a intensidade da difração pelo movimento do detector em diferentes ângulos (ATKINS e JONES,

2001). O padrão obtido é característico da amostra do material e pode ser identificado por comparação com padrões de uma base de dados.

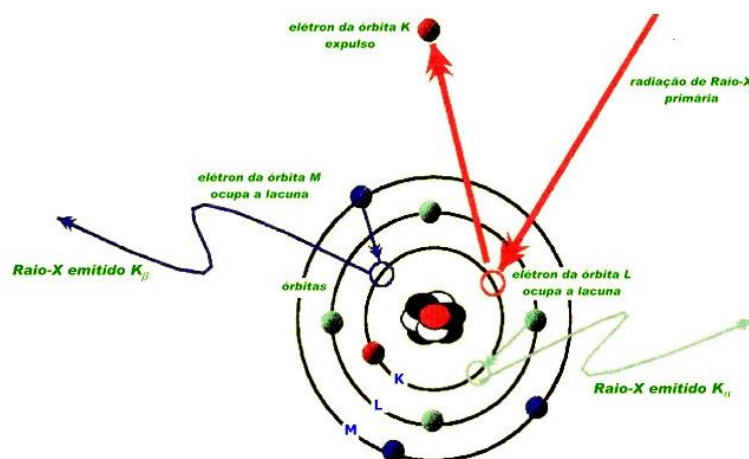
Atkins e Jones (2001) afirmam que, a técnica de difração de monocristal é muito mais complexa, porém ela é capaz de dar muito mais informações, pois permite a determinação completa da estrutura da amostra. A análise de dados de difração obtidos para monocristais é o método mais importante para a determinação das estruturas de sólidos inorgânicos. Nesse caso o cristal de um composto pode ser crescido com tamanho e qualidade necessários, para que os dados forneçam informações definitivas sobre a molécula ou a estrutura do composto (SHIRIVER e ATKINS 2008).

### **3.4.2. Fluorescência de raios X (FRX).**

Para Cienfuegos (2000), a fluorescência de raios-x é uma técnica que permite identificar e determinar a concentração de elementos presentes em amostras. O fenômeno de fluorescência ocorre em decorrência da absorção de raios-x incidentes, que pode gerar promoção de elétrons de camadas mais internas para orbitais atômicos de valência não ocupados do átomo (HIGSON, 2009).

A técnica baseia-se na emissão de raios-x que são absorvidos pelos átomos, que por sua vez, ficam excitados (LIMA 2010). Após todo esse processo acontecer, os átomos liberam a energia recebida, voltando assim, ao seu estado fundamental emitindo fluorescência (Figura 5).

**Figura 5-** Fluorescência a nível atômico



Fonte: LIMA, (2012)

De acordo com Cienfuegos (2000), as principais vantagens do FRX são: a) rapidez nas análises para algumas determinações, pois poucos segundos ou minutos são suficientes; b) é uma técnica não destrutiva, uma vez que as características das amostras não são modificadas pelos raios X, permitindo sua utilização para outras análises; c) a técnica também permite realizar análises qualitativas, permitindo identificar elementos com número atômicos superiores ao carbono ( $z=6$ ) e berílio ( $z=4$ ), em condições otimizadas nos laboratórios de pesquisa, até elementos pesados como urânio ( $z=92$ ); d) resposta seletiva permitindo a determinação direta de cada elemento sem tratamento preliminar da amostra; e) exatidão e precisão nas análises e permite a análise de frações de partes por milhão até perto de 100%. A precisão, dependendo do elemento e da matriz, é de 0,01% até 0,3%.

Uma vez que os raios X emitidos pelos átomos têm um brilho típico para cada elemento e a intensidade dessa fluorescência é adequada à concentração do elemento na amostra (LIMA, 2012 *apud* SKOOG, 2002). Entretanto, especificamente, neste processo a energia da radiação de fluorescência identifica apenas o elemento químico, enquanto sua intensidade permite que seja medida sua concentração na amostra analisada mediante uma prévia calibragem (FERRETTI e TIRELLO, 2009).

Estima-se hoje que a FRX é uma das técnicas mais difundidas e usadas em todo o mundo, especialmente para aquelas áreas em que a obtenção de rápido perfil de constituintes metálicos e não-metálicos é indispensável (SANTOS 2013 *apud* NAGATA *et al.*, 2001)

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Coleta das amostras

O ponto de coleta das amostras foi realizado na comunidade de Pajuçara (-2.4204599°,-54.8225797,17°) que fica localizada na região do Eixo Forte, no município de Santarém- PA, à aproximadamente 13 km do centro urbano da cidade (Figura 6).

**Figura 6-** Ponto de coleta das esponjas de água doce.



**Fonte:** Imagens Google

As amostras foram coletadas nas margens do Rio Tapajós durante o período da baixa das águas, quando as esponjas ficam expostas, facilitando assim a sua localização e coleta conforme pode ser visto na Figura 7a, o material foi encontrado aderido junto à vegetação que fica no leito do rio, onde estão sujeitas aos pulsos de inundação.

As amostras coletadas têm aproximadamente 15 cm e são observados galhos e folhas aderidos às esponjas, que precisam ser removidos, processo de limpeza mecânica, para posterior armazenamento e análise (Figura 7b).

**Figura 7- (a)** Coleta das amostras de esponjas de água doce durante o período da vazante, e **(b)** Amostra de esponja de água doce coletada.

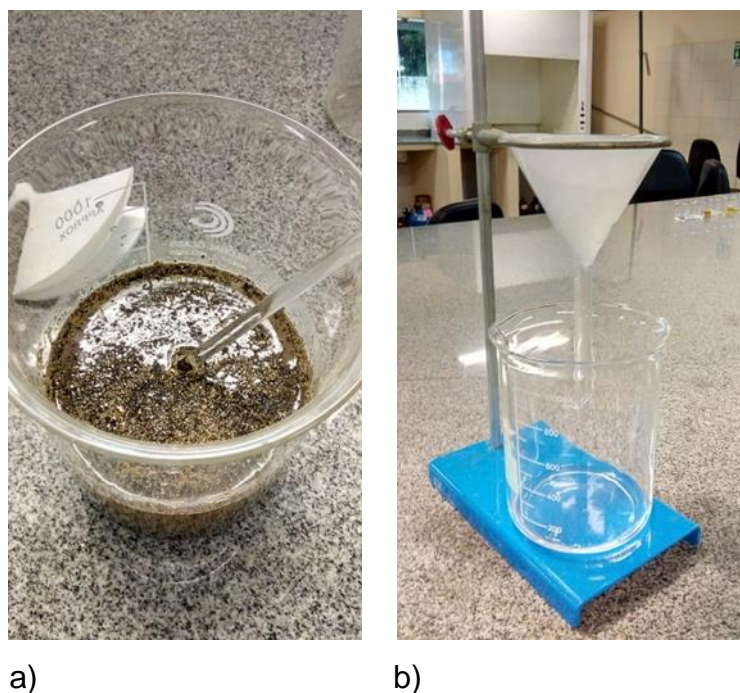


Fonte: Autor (2019)

## 4.2. Pré-tratamento

As amostras coletadas foram trituradas e moídas inicialmente com auxílio de um liquidificador e posteriormente com auxílio do conjunto almofariz/pistilo. Em seguida, o material obtido foi lavado com água destilada e na sequência filtrado para a separação das espículas e remoção dos sólidos obtidos (Figura 8a e 8b).

**Figura 8- (a)** Lavagem das amostras de esponjas-de-água-doce e, **(b)** Filtração das esponjas-de-água-doce para separação dos sólidos dissolvidos.



Fonte: Autor (2018)

Após a etapa de filtração, o material foi colocado na estufa em temperatura de 110°C para ocorrer a remoção da água residual e obtenção das amostras a serem tratadas termicamente para obtenção da sílica biogênica (Figura 9a).

Para o tratamento térmico foi utilizado um equipamento de forno mufla fabricado pela JUNG, Modelo: 2310 1000°C (Figura 9b), que está localizado no Laboratório de Síntese de Novos Materiais, vinculado ao Instituto de Engenharia e Geociências (IEG) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).

No tratamento térmico foram utilizados 15g de amostra (Figura 9c) para as temperaturas de 400, 600, 800 e 1000 °C, o tempo de exposição do material em cada temperatura foi de 2 horas.

**Figura 9-** (a) Amostra de esponja após o processo de pré-tratamento, (b) Forno mufla utilizado, e (c) Amostras de esponja prontas para calcinação.



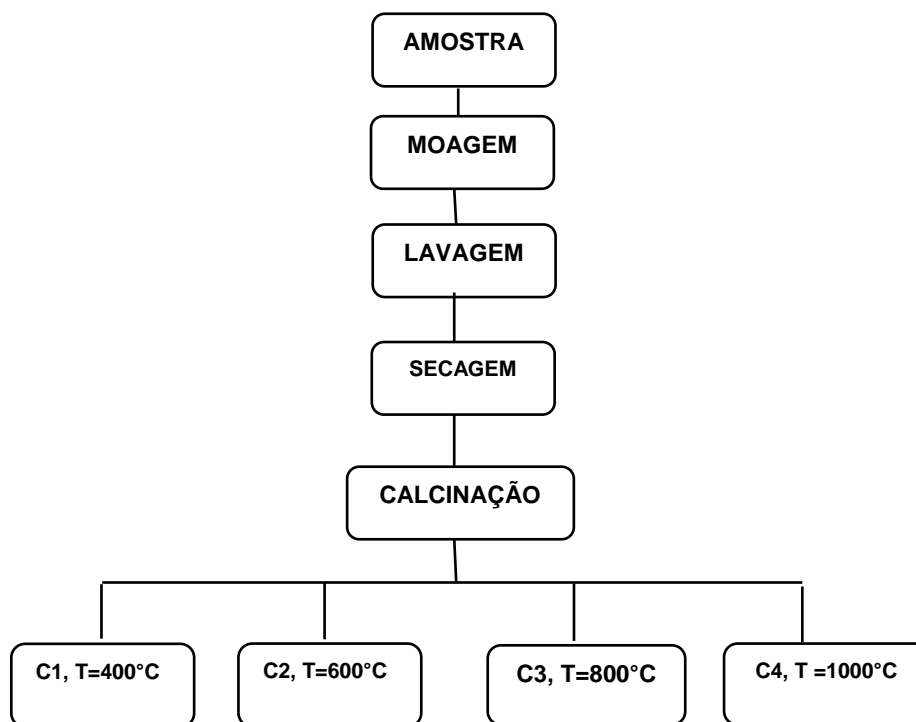
(a)

(b)

(c)

Fonte: Autor (2019)

O fluxograma simplificado de todo o processo realizado pode ser observado na Figura 10.

**Figura 10-**Representação esquemática do procedimento adotado

Fonte= Autor (2019)

### 4.3. Determinação do teor do material orgânico

As amostras de esponja tratadas termicamente nas temperaturas de 400, 600, 800 e 1000 °C tiveram suas massas aferidas antes e após o tratamento térmico. As diferenças entre as massas foram utilizadas para avaliar a perda de material orgânico com a temperatura e assim indicar a temperatura que representa a melhor relação entre os produtos desejados e dispêndio de energia. Após o resfriamento em temperatura ambiente o resíduo foi pesado e calculado o percentual de massa segundo a equação 2:

$$(2) \quad \% \text{ Cinzas} = \frac{\text{Massa resíduo restante}}{\text{Massa material de origem}} \times 100$$

#### **4.4. Caracterizações do material obtido**

##### **4.4.1. Análise de Difração de Raios X**

Para identificar os constituintes das fases e verificar a cristalinidade da sílica obtida, foram realizadas análises de difração de Raios-X (DRX) nas amostras com a utilização do difratômetro equipamento modelo D2 PHASER (BRUKER) pertencente ao laboratório de síntese e caracterização de novos materiais (IEG-UFOPA). O difratômetro apresenta radiação de  $\text{CuK}_\alpha$  (1,54184 Å) e nas amostras foi utilizadas velocidade de  $2,0^\circ\text{min}^{-1}$ ,  $0,2^\circ$  de passo, com ângulo de varredura entre 15 e  $75^\circ$ .

##### **4.4.2 Análise de Fluorescência de raios x**

As análises de fluorescência de raios x foram realizadas no laboratório químico da Mineração Rio do Norte (MRN), Porto Trombetas, município de Oriximiná. O equipamento utilizado foi do modelo Zetium (Panalytical). Foi feita uma análise semi-qualitativa denominada OMINIAN, disponível no próprio equipamento, de modo que, a amostra é lida em uma curva padrão geral. A plataforma do equipamento incorpora a tecnologia SumXcore - uma integração de WDXRF, EDXRF e XRD.

#### **4.5. Análise Taxonômica**

A análise taxonômica foi realizada no Laboratório de Ensino de Biologia 2, localizado no Instituto de Ciências da Educação (ICED), Campus Rondon, UFOPA. A figura 11 mostra os materiais utilizados para a identificação taxonômica da esponja coletada.

**Figura 11-** Materiais utilizados para realização da identificação taxonômica



**Fonte:** Autor (2019)

A metodologia utilizada para identificação taxonômica foi adaptada do Protocolo de Coleta e Preparação de Amostras de Macroinvertebrados Bentônicos em Riachos- EMBRAPA. Foram usadas duas chaves comparativas (VOLKMER-RIBEIRO, 2007), fornecida pelo Prof. Dr. José Augusto Teston e (VOLKMER-RIBEIRO, 2000).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Identificação taxonômica

A figura 12 mostra as espículas obtidas utilizando um microscópio convencional, onde fica bastante visível o tipo de espícula presente na amostra.

**Figura 12-** Espículas obtidas a partir de um microscópio convencional



**Fonte:** Autor (2019)

Levando em consideração a chave taxonômica que foi fornecida para identificação (VOLKMER-RIBEIRO, 2000), os conjuntos espiculares observados assemelham-se com o gênero *Drulia*, entretanto, não foi possível especificar a espécie da amostra coletada, pois seria necessária a análise em equipamentos mais específicos e complexos, como por exemplo o equipamento de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

De acordo com Barros *et al* (2013), que também identificaram esponjas no rio Tapajós, na região onde foram coletadas as amostras há uma predominância da família *Metanidae*, esponjas da espécies *Drulia Cristata* e *Drulia Uruguayenses*. A partir dessas evidencias podemos afirmar que as esponjas coletadas sejam do gênero *Drulia*.

## 5.2. Determinação do teor de material orgânico

As amostras de esponjas foram termicamente tratadas nas temperaturas de 400, 600, 800 e 1000 °C para avaliar a relação da perda de material orgânico com o aumento da temperatura e assim indicar a temperatura que melhor representa a relação entre o produto desejado, a sílica biogênica que o composto inorgânico majoritário nas esponjas, e o dispêndio de energia associado à proporcionalidade com a temperatura de extração de biosílica.

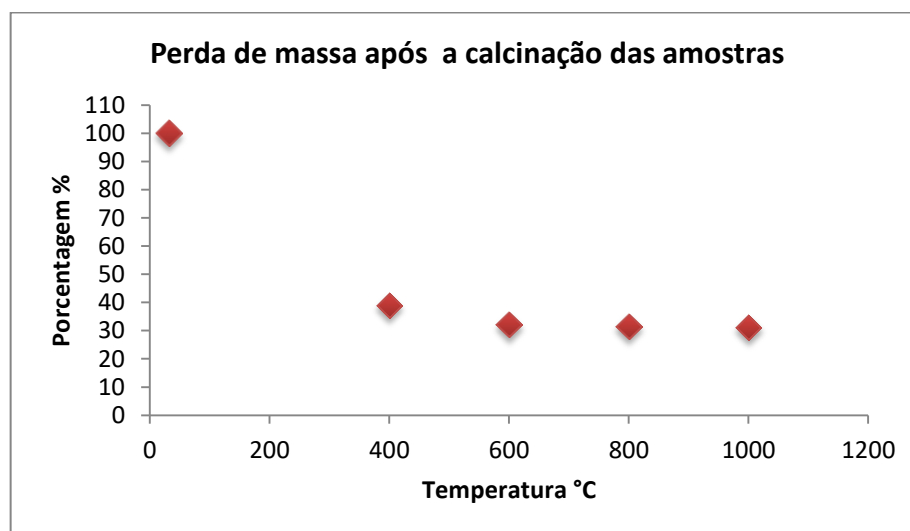
A tabela 1 mostra as porcentagens do material perdido durante o tratamento térmico. Considerou-se que o material perdido seja de origem orgânica e o material restante de origem inorgânica. Relacionando a quantidade de material perdida na temperatura de 400 °C com quantidade de material perdida na temperatura de 1000° C, constatou-se que houve uma perda de 11,45% de material entre essas duas temperaturas. Já entre as temperaturas de 600 e 1000 °C as amostras apresentaram, aproximadamente 1,6% de diferença entre as quantidades perdidas, assim indicando uma estabilização de matéria orgânica perdida.

**Tabela 1:** Rendimento das amostras em diferentes temperaturas

Amostras	Temperatura (°C)	Material perdido (%)	Material restante (%)
1	400	61,01	38,99
2	600	67,82	32,18
3	800	68,56	31,44
4	1000	68,90	31,10

**Fonte:** Autor (2019)

Os resultados da tabela 1 podem ser mais bem visualizados no gráfico 1, onde verifica-se que a partir da temperatura de 600°C houve uma estabilização do material perdido no aquecimento. Esses resultados indicam que o teor de material predominantemente inorgânico presente nas esponjas estudadas está na faixa dos 31%, enquanto o teor de material orgânico está próximo de 69%.

**Gráfico 2-** Influência da temperatura no teor de material orgânico

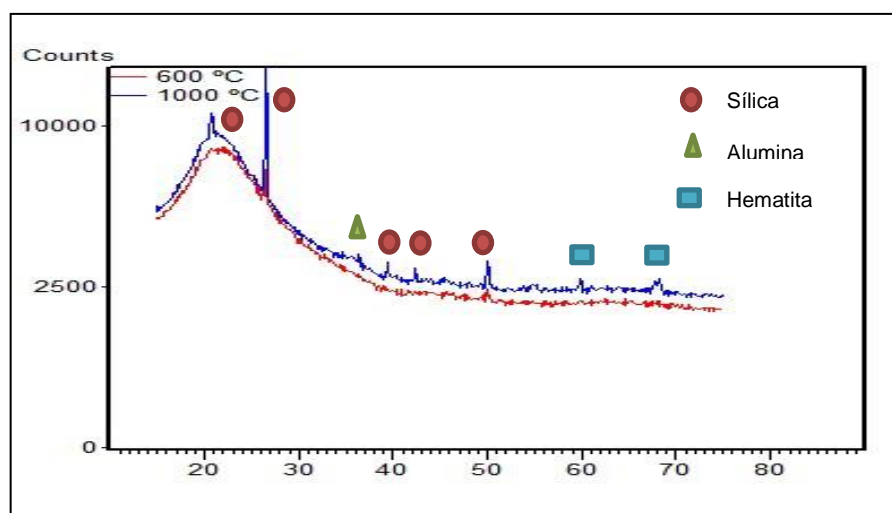
Fonte: Autor (2019)

### 5.3. Caracterização da sílica obtida.

#### 5.3.1. Caracterização mineralógica: difração de raios X (DRX)

Considerando que a estabilização da perda de matéria orgânica ocorreu próximo da temperatura de 600 °C, esta temperatura foi escolhida para a caracterização pelas técnicas de DRX e FRX das amostras obtidas. Adicionalmente utilizou-se a amostra calcinada à 1000 °C, na difração de raios x, para oferecer mais nitidez e comparar os resultados, já que nesta temperatura há praticamente a mesma quantidade de material inorgânico e maior cristalinidade que a 600°C.

Os difratogramas obtidos nas temperaturas de 600 e 1000°C, respectivamente, podem ser vistos na figura 13.

**Figura 13-** Difratogramas obtidos nas amostras calcinadas à 600 e 1000°C

Fonte: Autor (2019)

De forma de geral as curvas obtidas correspondem a um difratograma típico da sílica amorfa (FERREIRA 2015), contendo um grande e amplo pico centrado nos valores  $2\theta = 22,5^\circ$ . Além deste pico, foram encontrados, no difratograma, picos de difração aproximadamente em  $26,6^\circ$ ;  $39,5^\circ$ ;  $42,4^\circ$ ;  $50,0^\circ$  que correspondem ao padrão de  $\text{SiO}_2$  (JCPDS 33-1161).

Os valores centrados nos picos  $2\theta$  aproximados a  $60,1^\circ$  e  $68,4^\circ$  correspondem ao componente  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (JCPDS 10-0173). Já os picos de difração em  $2\theta$  aproximado de  $36,4^\circ$  corresponde ao  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (JCPDS 24-0072). A tabela 2 demonstra os componentes identificados em suas respectivas fichas de identificação cristalográfica.

**Tabela 2-** Identificação dos padrões utilizados

Ficha Padrão JCPDF	Fórmula	Composto	Sistema Cristalino
<b>33-1161</b>	$\text{SiO}_2$	Alumina	Hexagonal
<b>10-0173</b>	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Hematita	Romboédrico
<b>24-0072</b>	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Sílica	Romboédrico

Fonte: Autor (2019)

Heleno (2015) *apud* Le Blond *et al* (2010) afirma que, temperatura e o tempo de queima da esponja está relacionada diretamente com a presença da fase

crystalina da sílica nas cinzas. Geralmente, quando a temperatura de calcinação é baixa ou quando o tempo de exposição em altas temperaturas é pequeno, a sílica contida nas cinzas é predominantemente amorfa. Já em temperaturas de queima suficientemente altas, entre 900 °C a 1010 °C, a sílica amorfa é convertida em cristobalita, ou seja, um polimorfo de sílica de alta temperatura (GOMES *et al* 2018).

### 5.3.2. Caracterização química: Fluorescência de Raios X (FRX)

Os resultados obtidos em termos de porcentagem dos elementos presentes nas amostras de esponjas que foram tratadas termicamente na temperatura de 600°C são apresentados na tabela 3.

**Tabela 3** – Composição percentual elementar em bases secas das amostras de esponjas determinada pela técnica de FRX

Amostras		
	600 °C	1000 °C
Elementos	%	%
<b>Si</b>	83,5	83,7
<b>Al</b>	6,29	5,92
<b>Fe</b>	8,19	8,40
<b>Na</b>	0,08	0,04
<b>Ca</b>	0,36	0,37
<b>Ni</b>	0,00	0,00
<b>Zr</b>	0,05	0,05
<b>Zn</b>	0,02	0,02
<b>Mg</b>	0,08	0,06
<b>Mn</b>	0,24	0,21
<b>Cr</b>	0,14	0,18
<b>Ti</b>	0,65	0,66
<b>K</b>	0,41	0,39

**Fonte:** Autor (2019)

A partir da técnica de FRX foi observado que nas esponjas investigadas o elemento silício é o mais abundante, em ambas as temperaturas, aproximadamente 84%, seguido do ferro (8,19 e 8,40%) e do alumínio (6,29 e 5,92%). Os três elementos totalizam aproximadamente 98% da amostra. Além destes elementos, a amostra apresentou em menores quantidades os elementos de Sódio, Cálcio, Níquel, Zircônio, Zinco, Magnésio, Manganês, Cromo, Titânio e Potássio.

Barros (2013) *apud* K uchler, Miekeley e Forsberg, (2000); Seyler e Boaventura, (2003); Miranda *et al.*, (2009), afirmam que os dados para a concentra o de Ferro nas águas dos rios Tapajós são conflitantes. Desta forma, os teores de ferro geralmente encontrados nas esponjas de rio tapajós variam bastante, de modo que outros parâmetros devem ser considerados para descrever corretamente a composi o das esponjas.

De acordo com Barros *et al* (2013) *apud* Rainbow (2002), afirmam que em invertebrados aquáticos são relatados vários mecanismos de acumula o de oligoelementos, de modo que esses mecanismos podem explicar a alta concentra o de alumínio nessas esponjas.

A tabela 4 apresenta o percentual dos óxidos dos elementos presentes nas cinzas das esponjas.

**Tabela 4-** Composi o percentual dos óxidos presentes na amostra de esponja obtida por FRX.

COMPOSTOS	Amostras	
	600 � C	1000 � C
	%	%
<b>SiO<sub>2</sub></b>	90,21	90,35
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,43	4,53
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,40	3,20
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,70	0,71
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,22	0,21
<b>Outros</b>	1,04	1,00

Fonte: Autor (2019)

Como esperado, foi observado que a sílica que   o principal composto constituinte das espículas que formam o esqueleto desse tipo de esponja, representando 90,21%(m/m) da amostra na temperatura de 600  C e 90,35% (m/m) na temperatura de 1000  C, seguidos do Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>O que juntos somam aproximadamente 9%(m/m) da amostra total. Esses resultados estão próximos descrito por Barros *et al* (2013) que em sua pesquisa, realizada em alguns pontos do rio Tapajós, encontrou 85,2% para o teor de sílica em esponjas da espécie *Drulia Uruguayenses* e *Drulia cristata*.

## 6. CONCLUSÕES

As esponjas de água doce do gênero *Drulia* coletadas no rio Tapajós foram previamente tratadas para retirada de galhos e folhas, e utilizadas com sucesso na obtenção da sílica biogênica de origem amorfa por tratamento térmico em forno mufla. Os resultados obtidos através das técnicas utilizadas foram satisfatórios, e ficaram dentro dos parâmetros de outras técnicas de obtenção da sílica biogênica, já existentes, como é o caso da cinza da casca de arroz e cana de açúcar.

O resultado da queima das esponjas em diferentes temperaturas indicou um teor de material orgânico da ordem de 69%. A técnica de difração de raios X permitiu a identificação das principais fases presentes  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , além de caracterizar a natureza amorfa da sílica biogênica presente nas esponjas. Os resultados de fluorescência de raios X comprovaram o alto teor de sílica de aproximadamente 90% da amostra seca, foi encontrado em menores quantidades as fases  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O}$  com porcentagens de 4,43, 3,40, 0,70 e 0,22%, respectivamente, além de outros elementos em pequeníssimas quantidades que somadas totalizaram 1%.

Levando em consideração a baixa energia utilizada necessária para queima da esponja, a facilidade da obtenção da sílica biogênica de origem amorfa, abre uma possibilidade do aprofundamento das pesquisas posteriores a fim de esclarecer a totalidade de aplicações desse material, seja na substituição de outras fontes de sílica, seja na elucidação de novas aplicabilidades.

## REFERÊNCIAS

- ATKINS, P.; JONES, L. Em. **Princípios de química**: Questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto alegre: Bookman, 2001.
- BARROS, I. B. de et al. **Estudos químicos de aproveitamento do cauxí, esponja-de-água-doce da Amazônia**. 2013.
- BARROS, I. B. et al. Elemental composition of freshwater sponges *Drulia uruguayensis* and *Drulia cristata* collected in the Tapajós river. **X-Ray Spectrometry**, v. 42, n. 2, p. 59-62, 2013.
- BEQUER, Bertha K. **Ensaio sobre geografia e sociedade na região amazônica**; vol:3- Rio de Janeiro: Garamond, 2015.
- CHANG, R. **Química Geral: conceitos essenciais**. 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.
- CIENFUEGOS, F.; VAITSMAN, D. **Análise Instrumental**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2000.
- COSTA, kelerson, **GeoAmazônia- Perspectiva do meio ambiente na Amazônia**. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/\\_arquivos/geoamaznia\\_28.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/geoamaznia_28.pdf)>. Acesso em: 7 jan. 2019
- FERREIRA, C. S. et al. Rice Husk Reuse in the Preparation of SnO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>Nanocomposite. **Materials Research**, v. 18, n. 3, p. 639-643, 2015.
- FERREIRA, Carlos Sergio et al. Desenvolvimento do processo de obtenção de filme polimérico a partir da cinza da casca de arroz. 2005.
- FERRETTI, M.; TIRELLO, R. A. Princípios e aplicações de espectroscopia de fluorescência de Raios X (FRX) com instrumentação portátil para estudo de bens culturais. **Revista CPC**, n. 7, p. 74-98, 2009.
- Gomes, L. S.; Furtado, A. C. R.; Souza, M. C. A Sílica e suas Particularidades. **Revista Virtual de Química**, July-August 2018, Vol.10(4), pp.1018-1038
- HELENO, R. A. et al. **Síntese de sílica gel obtida a partir das cinzas de resíduo de biomassa da cana-de-açúcar por diferentes processos**. 2015
- JÚNIOR, O. da S. L. et al. Síntese do material mesoporoso MCM-41 usando esponja de água-doce como fonte de sílica. **Quím. Nova**, v. 36, n. 9, p. 1348-1353, 2013.

KALINOVSKI, Elaine Cristina Zavadovski; PAROLIN, Mauro; DE SOUZA FILHO, Edvard Elias. Esponjas de água doce na América do Sul: o estado da arte da produção científica no Brasil. **Terrae Didactica**, v. 12, n. 1, p. 4-18, 2016.

KOTZ, J. C. **Química geral e reações químicas**. vol.2. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

LIMA, Raquel Bohn et al. Processo para a produção de carvão ativo a partir do subproduto resultante da lixívia alcalina da cinza da casca do arroz. 2010

MARGULIS, L. **Cinco reinos**: Um guia ilustrado dos filões da vida na terra. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

PEREIRA, R. C. **Biologia marinha**. 2. ed.- Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

PELEJA, J. R. P.; MOURA, J. M. S. **Estudos integrativos da Amazônia–EIA**. São Paulo: Acquerello, 2012.

SANTOS, Elenir Souza et al. Espectrometria de Fluorescência de Raios-X na determinação de espécies químicas. **Enciclopédia Biofera**, v. 9, n. 17, p. 3413-3432, 2013.

SCHRODER, H C. [et al]. Currents developments in natural products chemistry. **Natural Product Reports**, v.25, p.433-636, 2008

SKOOG, D A. **Fundamentos da química analítica**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SILVA JUNIOR, José da et al. Obtenção de xerogel de sílica a partir das cascas de arroz em uma aproximação bottom-up para produção de materiais em eletrônica. 2009.

SILVEIRA, M. P.; DE QUEIROZ, J. F.; BOEIRA, R. C. Protocolo de coleta e preparação de amostras de macroinvertebrados bentônicos em riachos. **Embrapa Meio Ambiente-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2004.

SHRIVER, D. **Química inorgânica**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

TEIXEIRA, W. [et al]. **Decifrando a terra**. São Paulo: Companhia editora nacional, 2008.

VOLKMER-RIBEIRO, Cecilia; BATISTA, Twiggy CA. Levantamento de cauxi (Porifera, Demospongiae), provável agente etiológico de doença ocular em humanos, Araguatins, rio Araguaia, Estado do Tocantins, Brasil Survey for cauxi (Porifera, Demospongiae), urged by the outbreak of human ocular injuries at Araguatins, Araguaia river, Tocantins State, Brazil. **Revista Brasileira de zoologia**, v. 24, n. 1, p. 133-143, 2007.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; ALMEIDA, F. B. **Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central: As esponjas do lago Tupé.** 2005.

VOLKMER-RIBEIRO, Cecilia; PAULS, Sheila M. Esponjas de agua dulce (Porifera, Demospongiae) de Venezuela. **Acta Biologica Venezuelica**, v. 20, n. 1, p. 1-28, 2000.

.