



**CENTRO UNIVERSITÁRIO FACVEST – UNIFACVEST**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**GEOVANA ALVARENGA SILLIG**

**O USO DA CASCA DE ARROZ NA PRODUÇÃO DE CARVÃO**  
**ATIVADO**

**LAGES-SC**  
**2019**

**GEOVANA ALVARENGA SILLIG**

**O USO DA CASCA DE ARROZ NA PRODUÇÃO DE CARVÃO  
ATIVADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Química do Centro Universitário Facvest - Unifacvest, como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia Químico.

**Centro Universitário Facvest – Unifacvest**

**Supervisor:** Aldori Batista dos Anjos

**LAGES-SC  
2019**

**GEOVANA ALVARENGA SILLIG**

**O USO DA CASCA DE ARROZ NA PRODUÇÃO DE CARVÃO  
ATIVADO**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Supervisor pedagógico do Curso de Engenharia Química, do Centro Universitário Facvest – Unifacvest.

Lages, 27 de novembro de 2019.

---

Professor e Orientador, MSc ALDORI BATISTA DOS ANJOS  
Centro Universitário Facvest - Unifacvest

---

Professora e Coorientadora, Dr<sup>a</sup> NILVA REGINA ULIANA  
Centro Universitário Facvest - Unifacvest

Dedico este trabalho em especial à minha mãe Allana Cristina Alvarenga Silva, por estar sempre ao meu lado me dando suporte em tudo que precisei e força para concluir mais esta etapa.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a **DEUS** por todas as bençãos na minha vida e por ter me dado saúde e determinação para correr atrás dos meus objetivos.

A minha **família**, por sempre me apoiarem e serem o alicerce da minha caminhada, estando sempre ao meu lado dando apoio incondicional, o que me deu coragem para seguir sempre em frente.

A minha orientadora, Prof. Dr. **Nilva Regina Uliana**, pela confiança em mim depositada e por me dar assessoria sempre que precisei.

A professora **Mari Campos** por todo o suporte que me deu.

A professora **Maria Benta** pelas dicas e ideias trocadas.

A **UDESC CAV** por permitir que eu realizasse meus experimentos em seus laboratórios.

A **FACVEST**, seu corpo docente, direção e administração e que contribuíram com minha formação.

Aos amigos que fiz durante essa jornada que sempre me deram suporte em momentos difíceis.

“Numa espécie não são todos os mais fortes e nem os mais inteligentes que sobrevivem e sim os que tem a melhor capacidade de adaptação. ”

(DARWIN, CHARLES);

## RESUMO

A casca de arroz é um dos rejeitos agrícolas de maior abundância em nosso país, a sua utilização para produção de carvão ativado traria vantagens econômicas e para o meio ambiente. Este trabalho teve como objetivo a produção de carvão ativado com casca de arroz para verificar a sua eficiência na adsorção de zinco, testando 5 concentrações diferentes são elas: 0 mg; 300 mg; 600 mg; 900 mg e 1200mg. Primeiramente as cascas foram devidamente lavadas, a fim de eliminar possíveis contaminantes, após isso foi carbonizada a 600 °C por 40 minutos em uma mufla. Para fazer a ativação foi utilizado o processo químico, onde o carvão ficou em contato com Ácido Fosfórico ( $H_3PO_4$ ) concentrado a 85%.

O carvão ativado produzido apresentou um rendimento gravimétrico médio de 38,87% e através da análise de pH de ponto de carga zero foi possível determinar que ele possui uma superfície ligeiramente ácida com um pH de 6,67. No teste remoção realizado obtivemos resultados de até 96,89% adsorção do zinco presente na solução.

**Palavras-chave:** Casca de arroz, Carvão ativado, Metais pesados.

## ABSTRACT

Rice husk is one of the most abundant agricultural waste in our country, its use for production of activated charcoal would bring economic and environmental advantages. The objective of this work was to produce rice husk activated charcoal to verify its efficiency in zinc adsorption, testing 5 different concentrations: 0 mg; 300 mg; 600 mg; 900 mg and 1200mg. First the shells were properly washed in order to eliminate possible contaminants, after that it was charred at 600 °C for 40 minutes in a muffle. For the activation was used the chemical process, where the coal was in contact with Phosphoric Acid ( $H_3PO_4$ ) concentrated to 85%.

The activated charcoal produced had an average gravimetric yield of 38.87% and it was possible to determine that it has a slightly acidic surface with a pH of 6.67 by analyzing the zero charge point pH. In the removal test we obtained results of up to 96.89% adsorption of zinc present in the solution.

**Keywords:** Rice husk, Activated carbon, Heavy metals.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do grão de arroz	16
Figura 2: Principais estados produtores	17
Figura 3: Características físico-químicas da casca de arroz.	18
Figura 4: Estrutura porosa do carvão ativado.	19
Figura 5: Esquema mostrando os diferentes tipos de poros em um sólido quando à forma: (T) poro de transporte, (A) poro aberto, (F) poro fechado e (G) poro tipo gaiola.	20
Figura 6: Isotermas de adsorção	22
Figura 9: Processo de lavagem da casca de arroz	29
Figura 10: Casca de arroz após a carbonização.	30
Figura 11: Processo de ativação com ácido fosfórico	30
Figura 12: Processo de agitação.	31
Figura 13: Grupos funcionais ácidos e básicos da superfície do CA	36

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Rendimento Gravimétrico .....	34
Quadro 2: Porcentagem da remoção de zinco .....	37

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva do ponto Isoelétrico .....	35
Gráfico 2: Demonstrativo da remoção de zinco.....	37

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>16</b>
4.1 Produção de Arroz no Brasil .....	16
4.2 Material Percursor .....	17
4.3 Carvão Ativado.....	19
4.3.1 Propriedades físico-químicas do carvão ativado .....	20
4.3.1.1 Porosidade .....	20
4.3.1.2 Adsorção .....	21
4.3.1.2.1 Isotermas de adsorção.....	21
4.3.1.2.2 Isoterma de Langmuir.....	23
4.3.1.2.3 Isotermas de Freundlich .....	24
4.3.1.3 Área superficial específica .....	25
4.3.1.4 Química da superfície.....	25
4.4 Produção do Carvão Ativado .....	27
4.4.1 Determinação do ponto de carga zero .....	28
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
5.1 Produção carvão ativado.....	29
5.1.1 Ativação do material .....	30
5.2 Determinação do pH de ponto de carga zero.....	31
5.2.1 Preparo da Solução de Cloreto de Sódio .....	31
5.2.2 Preparo da Solução de Hidróxido de Sódio.....	32
5.2.3 Preparo da Solução de Ácido Clorídrico.....	32
5.3 Teste de Remoção .....	32
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>34</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A casca de arroz é um dos rejeitos agrícolas mais abundantes em nosso país, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB,2018) o Brasil produz aproximadamente 12 milhões de toneladas de arroz anualmente, sendo o estado do Rio Grande do Sul o maior produtor nacional. Cerca de 20% de todo o volume de arroz produzido pelo RS correspondem a casca, resultante do beneficiamento deste cereal. Por se tratar de um material fibroso com alto teor de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), formado por celulose, lignina e resíduos inorgânicos, possui uma grande dureza, baixo teor nutritivo, resistência a degradação, grande volume ocupado e alto teor de cinzas, características que tornam o seu reaproveitamento muito difícil, porém a sua utilização na produção de carvão ativado tem se mostrado uma alternativa muito promissora (REIS, NEVES, 2015).

O carvão ativado é um material carbonáceo com uma porosidade bem desenvolvida, possui uma alta capacidade de coletar seletivamente gases, líquidos ou impurezas no interior de seus poros, ou seja, é um ótimo adsorvente (CLAUDINO, 2003). O carvão ativado normalmente é fabricado a partir da madeira, turfa (carvão fóssil) e carvão de pedra (brasa), mas atualmente muitos rejeitos ligcelulósicos, como a casca de arroz, têm sido transformados em carvão ativo, tornando-se uma alternativa economicamente viável para o reaproveitamento deste material. Na produção do carvão geralmente é utilizado dois métodos de ativação, que seria a física e a química. A ativação química tem sido alvo de estudos por apresentar diversas vantagens como uso de menor temperatura de pirólise, maior rendimento e um produto final com maior área superficial específica, os reagentes ativantes utilizados podem ser ácidos como  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{HCl}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ou básicos como  $\text{KOH}$  e  $\text{NaOH}$  (OLIVEIRA, et. al., 2008).

Segundo Morais (2017) a rigidez sobre as normas que regulamentam a contaminação do meio ambiente no mundo fez com que a demanda por carvão ativado crescesse, principalmente em países como os Estados Unidos e China onde há uma grande preocupação com a emissão de gases tóxicos. Em outros países em desenvolvimento a potabilidade das águas, contaminadas com metais pesados, é um dos principais fatores que impulsionam o mercado do carvão ativado. Um método muito empregado no tratamento da água e controle das emissões de gases poluentes é a adsorção, por possuir um baixo custo, facilidade de operação e uma natureza

universal, podendo remover poluentes orgânicos, solúveis e insolúveis, visto que a capacidade de remoção através desta técnica pode chegar até a 99,9%.

Diante do que foi dito, temos a percepção que a utilização de carvão ativado produzido com casca de arroz se apresenta como uma tecnologia muito promissora para a adsorção de contaminantes como os metais pesados, por se tratar de um material de alta porosidade, superfície interna bem desenvolvida e alta capacidade de adsorção. Além disso, com o estudo empregado na realização deste trabalho será possível avaliar a eficiência do carvão ativado produzido através da casca de arroz e a sua viabilidade com o tratamento de águas contaminadas com metais pesados como o zinco.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a possibilidade da utilização da casca de arroz, um rejeito oriundo das agroindústrias processadoras de arroz, para produzir carvão ativado.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

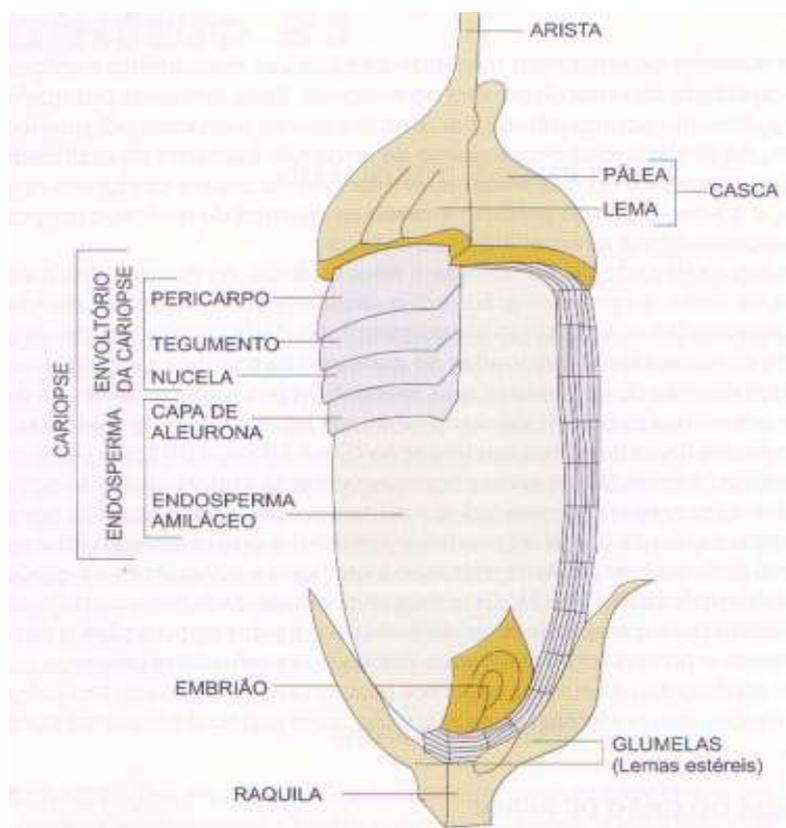
- Fabricar carvão ativado com casca de arroz.
- Determinar o Rendimento Gravimétrico.
- Determinar o ponto de carga zero do carvão ativado.
- Analisar através das isotermas se o carvão produzido possui boa adsorção de zinco.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 4.1 Produção de Arroz no Brasil

O arroz é um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, fornecendo 20% da energia e 15% da proteína necessária para o homem, e devido as suas características alimentares é considerada como uma espécie que possui grande potencial para acabar com a fome no mundo (EMBRAPA, 2004). O arroz é uma planta da família das gramíneas, que possui em torno de vinte espécies sendo que a mais cultivada é a *Oryza sativa*. O grão de arroz é uma excelente fonte de carboidratos; proteínas; vitaminas como: tiamina (B1), riboflavina (B2) e niacina (B3); sais minerais e fibras (CONAP, 2015). Na Figura 1 podemos observar a sua estrutura.

Figura 1: Estrutura do grão de arroz



Fonte: CONAP, 2015.

O arroz é um dos principais cereais produzidos e consumidos no mundo, possui cerca de 150 milhões de hectares plantados, e é considerado como o principal alimento de mais da metade da população mundial. O Brasil se destaca como maior produtor de arroz fora do continente asiático, com uma produção de cerca de 11 milhões de toneladas, onde o Rio Grande do Sul se destaca como principal produtor (EMBRAPA, 2004; MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO, 2018).

Figura 2: Principais estados produtores

<b>Arroz</b>	<b>Ano Safra 2017/2018 (mil toneladas)</b>	<b>%</b>
Produção Nacional	<b>11532</b>	100
Principais estados produtores		
Rio Grande do Sul	<b>7947</b>	<b>68,9</b>
Santa Catarina	<b>1135</b>	<b>9,8</b>
Tocantins	<b>688</b>	<b>6</b>
Mato Grosso	<b>469</b>	<b>4,1</b>
Maranhão	<b>312</b>	<b>2,7</b>
<b>Total</b>	<b>10552</b>	<b>91,5</b>

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018.

No Brasil, o arroz é consumido principalmente na forma de grãos inteiros, que primeiramente passam por um processamento pós-colheita, dando origem ao arroz branco, sendo considerado como preferido por cerca de 70%, arroz parboilizado, encontra-se em segundo lugar o qual o consumo quintuplicou nas últimas décadas e se aproxima de 25%, e arroz integral com 3 a 4%. Este beneficiamento e processamento geram subprodutos como a casca, o arroz quebrado e o farelo, os quais não são não possui grande valor nutricional nem econômico (CONAP, 2015).

#### 4.2 Material Percursor

O arroz é tradicionalmente um dos produtos alimentícios mais consumidos no país sendo o seu consumo anual estimado em torno de 12 milhões de toneladas, o

que gera aproximadamente de 2 a 3 milhões de toneladas de casca de arroz, que podem ser aproveitadas para diversas funções. A casca de arroz é um resíduo agroindustrial, subproduto do beneficiamento deste cereal, de extrema importância para o Brasil (CONAB, 2018).

A casca atua no arroz como uma capa protetora que se forma durante o crescimento dos grãos. Do ponto de vista morfológico ela é composta por quatro camadas estruturais: epiderme externa, coberta com uma espessa cutícula de células silificadas; esclerênquima ou fibra hipoderme, com parede lignificada; célula parênquima esponjosa e epiderme interna (RAMBO, 2009). A composição química média da casca, em base anidra, é de 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), sendo que a celulose e a lignina podem ser retiradas com o processo de combustão da casca. A casca de arroz também possui uma grande quantidade de material inorgânico, algo em torno de 15-20% em massa, onde a sílica pode corresponder em até 95% desse total. Também podemos encontrar alguns óxidos presentes como:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ , entre outros (LIMA, 2010).

Figura 3: Características físico-químicas da casca de arroz.

Parâmetro	Descrição/ valor
Coloração	Amarelo ouro
Tamanho	4,5mm (em média)
Massa unitária	96 – 160 $\text{kg/m}^3$
Condutividade térmica	3,3 $\text{kcal.cm/g.m}^2/\text{°C}$
Valor calorífico	2800 – 3700 $\text{kcal/kg}$

Fonte: LIMA, 2010.

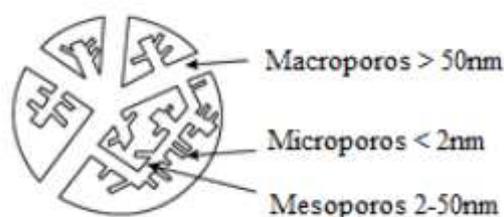
A casca de arroz é uma matéria-prima de baixo custo, que geralmente é considerada de difícil aproveitamento por causa de algumas características negativas, como abrasividade, baixas propriedades nutritivas, resistência à degradação, grande volume ocupado e alto teor de cinzas. Porém atualmente vários trabalhos tem descrito o uso da casca de arroz como matéria-prima para geração de carvão ativado, o resultado obtido tem se apresentado promissor, mostrando a viabilidade do uso desse rejeito agrícola na produção de um material carbonoso com uma excelente área superficial específica (SCHETTINO, et al, 2007).

### 4.3 Carvão Ativado

O carvão ativado era mencionado por vários povos da antiguidade, como egípcios por volta de 1500 a.C que utilizavam como adsorvente para fins medicinais além de agente purificante, os Hindus na Índia que purificavam sua água com o carvão, os índios americanos por seus efeitos no combate a intoxicação, mas foi no século XIX que apareceram os primeiros relatos de experimentações em público mostrando a capacidade de neutralização de venenos letais (FREITAS, BUENO, 2014).

Os carvões ativados são materiais compostos por pelo menos 90% de carbono com uma porosidade bem desenvolvida, com capacidade de coletar seletivamente gases, líquidos ou impurezas no interior de seus poros. Exibem uma forma microcristalina, não gráfica, que sofreram um processamento para aumentar a porosidade interna, esta porosidade diferenciada é classificada pelo tamanho dos poros e pelos princípios físico-químicos que regem o processo de adsorção em macro, meso e microporosidade (CLAUDINO, 2003).

Figura 4: Estrutura porosa do carvão ativado.



Fonte: MORAIS, 2017.

A maior parte dos materiais carbonáceos podem ser ativados, o processo de ativação pode ser físico, química ou físico-química. Normalmente são utilizados materiais como resíduos de petróleo, carvões minerais, turfa, ossos de animais, madeiras, bambus, endocarpo de coco, casca de nozes, de arroz, sementes de uva, pêsego, azeitona, amêndoa, entre outros vários materiais que contenham um alto teor de carbono (MORAIS, 2017).

### 4.3.1 Propriedades físico-químicas do carvão ativado

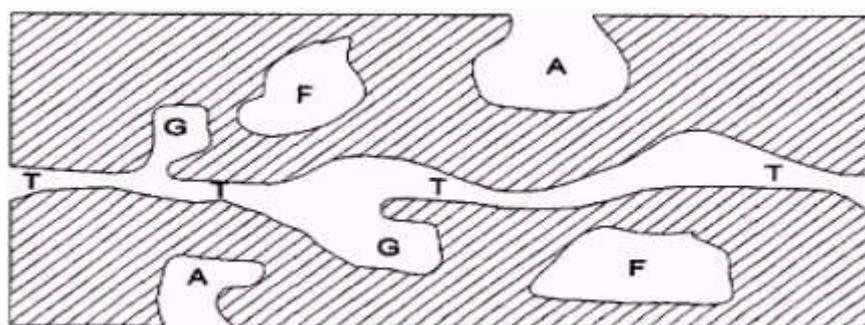
As características do carvão ativado irão depender do material precursor que pode ser mineral, animal e vegetal, e do tipo de ativação podendo ser física, química ou plasma. A eficiência da adsorção é atribuída a fatores como porosidade, área superficial específica, química da superfície, entre outros (MOLETTA, 2011).

#### 4.3.1.1 Porosidade

A porosidade do carvão ativado é uma das características mais importante para determinar o seu desempenho. As diferenças na adsorção estão ligadas com a estrutura dos poros do material, pois as propriedades adsorptivas do carvão ativado mineral ou vegetal, são atribuídas à sua elevada área superficial, alto grau de reatividade superficial, efeito de adsorção e tamanho dos poros favoráveis. Os carvões ativados mais utilizados possuem alta área superficial específica que são compostas principalmente por microporos (2nm) (LIMA, 2010).

Baseada nas propriedades de adsorção, a IUPAC (International Union of Pure and APPLIED Chemistry) estabeleceu uma classificação estabelecida quanto à forma dos poros, poros abertos e fechados utilizados para designar buracos em matérias sólidos, no qual os buracos fechados se comunicam com a superfície externa e buracos fechados corresponde a um buraco fechado; e quanto a dimensão dos poros, que podem ser microporos, mesoporos e macroporos (CLAUDINO, 2003).

*Figura 5: Esquema mostrando os diferentes tipos de poros em um sólido quando à forma: (T) poro de transporte, (A) poro aberto, (F) poro fechado e (G) poro tipo gaiola.*



Fonte: CLAUDINO, 2003.

Existem várias técnicas que são utilizadas para classificar a porosidade como: microscopia eletrônica de varredura, picnometria, porosimetria, espalhamento de raios-x a baixo ângulo e adsorção química (PINTO, SILVA, SARAIVA, 2012).

#### 4.3.1.2 Adsorção

A adsorção é um processo físico-químico em que moléculas ou partículas de gases ou líquidos (adsorvato) são transferidas para uma superfície de uma fase sólida (adsorventes), onde a migração destes componentes de uma fase para outra tem como força motriz a diferença de concentração entre o seio do fluido e a superfície do adsorvente. Existem basicamente dois tipos de adsorção: a física ou fisiosorção e adsorção química ou quimiosorção (NASCIMENTO et al., 2014).

A adsorção física ou fisiosorção ocorre pela diferença de energia ou forças de atração entre o adsorvato e a matriz adsorvente, chamada de forças de Van de Walls. Essas forças possuem um longo alcance, porém são relativamente fracas e não comprometem quimicamente os elementos envolvidos na ligação. Originam-se pela atração entre dipolos permanentes ou induzidos, sem alteração dos orbitais atômicos ou moleculares das espécies comprometidas, este tipo de adsorção será sempre exotérmico e reversível (MORGON, SOARES, 1997).

Já adsorção química ou quimiosorção corresponde a uma interação química, na qual os elétrons do adsorvato e as moléculas do sólido experimentam o rearranjo e os orbitais mudam de forma. A quimiosorção é altamente específica, pois nem todas as substâncias sólidas possuem sítios ativos capazes de adsorver quimicamente o adsorvato, além disso ela ocorre em apenas uma camada de cobertura no sólido e depende da afinidade entre os componentes (NASCIMENTO, et. al., 2014).

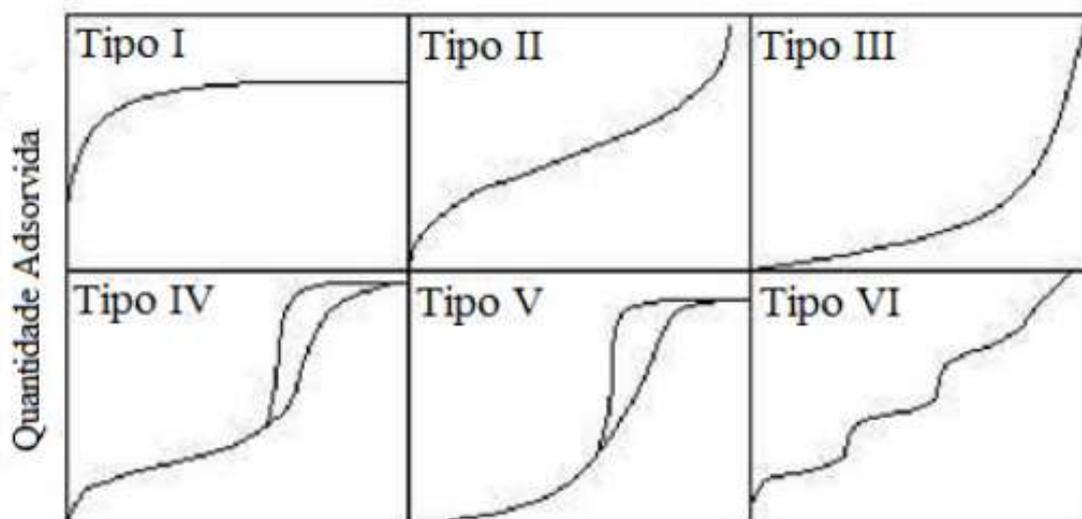
##### 4.3.1.2.1 Isotermas de adsorção

A isoterma de adsorção é a relação de equilíbrio entre a concentração na fase fluida e a concentração nas partículas adsorventes a uma dada temperatura e pH, ou seja, são curvas que indicam como o adsorvente efetivamente adsorverá o soluto, algumas características como a natureza do sólido e a natureza do adsorvato são determinantes no equilíbrio. Para gases, a concentração é dada em porcentagem

molar como uma pressão parcial e para líquidos a concentração pode ser expressa em unidades de massa, sendo que a concentração do adsorvido no sólido é dada como massa adsorvida por unidades de massa do adsorvente (LIMA, 2010).

Existem vários tipos de isotermas, mas a maioria delas pode ser agrupada e classificada em seis classes. Isotermas do tipo I pode ser limitada a poucas camadas moleculares, onde os poros excedem um pouco o diâmetro molecular do adsorvente. Isotermas do tipo II e IV são do tipo mais encontrado em medidas de adsorção, ocorrem em sistemas não porosos ou com poros no intervalo de mesoporos ou macroporos. Isotermas III e V estão relacionadas a interações muito fracas em sistemas contendo macro e mesoporos (ATKINS, PAULA, 2012).

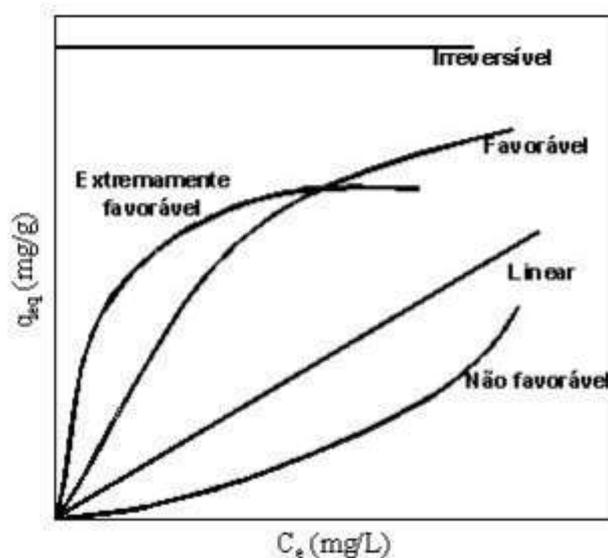
Figura 6: Isotermas de adsorção



Fonte: LIMA, 2010.

Segundo Schneider (2008) temos as isotermas lineares, convexas e côncavas. As isotermas lineares saem da origem e nos indica que a quantidade adsorvida é proporcional a concentração do fluido, mas não indica uma capacidade máxima para adsorção. As isotermas convexas são chamadas de desfavoráveis ou não favoráveis devido a sua baixa capacidade de remoção em baixas concentrações, já as isotermas côncavas são favoráveis pois extraem quantidades altas mesmo em baixos níveis de concentração de adsorvato no fluido.

Figura 7: Tipos de Isotermas



Fonte: SCHNEIDER, 2008.

Os modelos geralmente usados para adsorção em materiais carbonáceos são os modelos de Langmuir e de Freundlich, pois representam muito bem a maioria dos dados de equilíbrio em carvões para adsorção em fase líquida.

#### 4.3.1.2.2 Isoterma de Langmuir

Segundo Nascimento et. al. (2014) A equação modelo de Langmuir foi o primeiro que assumiu a formação de uma monocamada na superfície do adsorvente, este modelo prevê uma representação simples do mecanismo e fornece uma expressão matemática simples. Essa apresenta os seguintes pressupostos:

- Existe um número definido de sítios.
- Os sítios têm energia equivalente e as moléculas adsorvidas não interagem umas com as outras.
- A adsorção ocorre em uma monocamada
- Cada sítio pode comportar apenas uma molécula adsorvida.
- A adsorção é reversível.

Esta forma de isoterma é a mais utilizada e é expressa como:

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

Em que:

$q$ : quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio ( $\text{mg } g^{-1}$ );

$q_{max}$ : capacidade máxima de adsorção ( $\text{mg } g^{-1}$ );

$C_e$ : concentração do adsorvato no equilíbrio ( $\text{mg } L^{-1}$ );

$K_L$ : é a constante de integração adsorvato/adsorvente ( $L \text{ mg}^{-1}$ );

O modelo de Langmuir apresenta algumas limitações tais como, pode ocorrer falhas quando diferentes centros ativos possuem diferentes capacidades de adsorção ou quando a adsorção acontece apenas em um centro específico. Também pode ocorrer falha quando, devido a estrutura cristalina do material adsorvente, a energia da superfície das faces é diferente da energia dos cantos, o que acarreta calores de adsorção e capacidades de adsorção diferentes. Apesar disso, o modelo se ajusta bem aos dados experimentais de muitos sistemas líquidos, como no caso da adsorção em zeolitas e em carvões (SCHNEIDER, 2008).

#### 4.3.1.2.3 Isotermas de Freundlich

O modelo proposto por Freundlich foi um dos primeiros a equacionar a relação entre a quantidade de material adsorvido e a concentração do material na solução em um modelo com características empíricas, tal modelo pode ser aplicado a sistemas não ideais, em superfícies heterogêneas e adsorção em multicamadas (LIMA, 2010). A equação da isoterma de Freundlich assume a forma:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2)$$

A mesma equação pode ser expressa na forma linearizada, tomando o logaritmo de cada lado, tornando-a:

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

Em que:

$q_e$ : quantidade de soluto adsorvido ( $\text{mg } g^{-1}$ );

$C_e$ : concentração de equilíbrio em solução ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$1/n$ : constante relacionada à heterogeneidade da superfície;

$K_F$ : constante de capacidade de adsorção de Freundlich ( $\text{mg}^{1-(\frac{1}{n})} (\text{g}^{-1}) \text{L}^{1/n}$ ).

O modelo de Freundlich não prevê a saturação do adsorvente, ou seja, quando  $C_e$  e  $q_e$  tendem ao infinito. Esta equação se adapta muito bem aos dados experimentais de diversos adsorventes tais como zeólitas e carvões em sistemas líquidos (NASCIMENTO et. al, 2014).

#### 4.3.1.3 Área superficial específica

A intensidade da adsorção é proporcional à área superficial específica, pois, a adsorção é um fenômeno de superfície (NASCIMENTO et. al., 2014). A sua determinação é feita através da adsorção de um gás em equilíbrio, em condições isotérmicas, normalmente  $\text{N}_2$  a 77 K. O modelo BET é o mais utilizado para carvão ativado, pois com ele é possível determinar o volume de microporos e mesoporos, volume total do poro, a área de microporos, distribuição do tamanho do poro e diâmetro médio do poro. Como a área superficial específica é um dos parâmetros mais importantes na determinação da capacidade de adsorver, isso implica que quanto o maior o valor melhor será a adsorção. (COSTA, 2014).

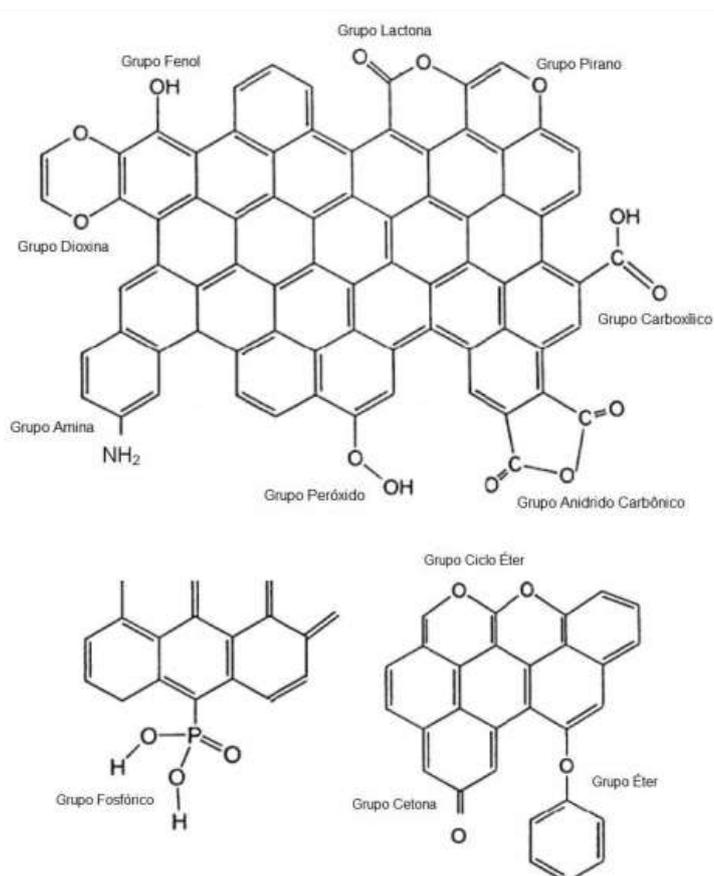
#### 4.3.1.4 Química da superfície

O desempenho do carvão ativado está diretamente ligado com a sua estrutura de poros que gera a área superficial. Além disso, um outro fator de extrema importância, que deve ser considerada na avaliação de um CA é a sua superfície química, ela nos fornece informações para o uso do material adsorvente, catalisadores e suportes para substâncias ativas. As aplicações são influenciadas por heteroátomos como, o oxigênio e o hidrogênio que estão ligados quimicamente a estrutura do carvão ativado, e componentes inorgânicos (HEYLMANN, 2015).

Os grupos de oxigênio são os mais importantes, pois influenciam diretamente na superfície do carvão. Nos planos basais da estrutura temos átomos de carbono insaturado que formam sítios que estão associados a altas concentrações de pares

de elétrons e exercem um papel muito importante na quimiossorção do oxigênio. Quando as moléculas de oxigênio são inseridas na superfície do CA, elas podem ser adsorvidas de duas formas pela superfície, fisicamente (reversível) e quimicamente (irreversível), a forma de ligação irá depender geralmente da temperatura (CLAUDINO, 2003). Na superfície do carvão ativado é possível encontrar grupos funcionais formados por ligações químicas de átomos de carbono com heteroátomos, os quais vários métodos têm sido empregos para a sua determinação. O método mais conhecido é a neutralização seletiva de grupos da superfície por uma solução alcalina com  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  ou por uma solução ácida de  $\text{HCl}$ . Os grupos da superfície serão classificados pela sua natureza acida ou básica, dependendo da sua capacidade em adicionar ou eliminar prótons. É importante lembrar que as cargas elétricas dos grupos de superfície podem dificultar ou facilitar a adsorção de moléculas na superfície do carvão (HEYLMANN, 2015).

Figura 8: Principais grupos presentes na superfície do carvão ativado



#### 4.4 Produção do Carvão Ativado

Na produção do carvão ativado normalmente são utilizados dois processos, a desidratação de seus precursores e carbonização seguida de ativação, estes processos podem ser realizados separadamente ou em uma única etapa (MORAIS, 2017). O desempenho e as propriedades do carvão ativado são relacionados com o material precursor utilizado e o método escolhido para sua preparação. Os parâmetros que irão influenciar na qualidade e no rendimento do produto são: taxa de aquecimento, temperatura final, fluxo de gás e natureza da matéria-prima (CLAUDINO, 2003).

A carbonização ou pirólise do material precursor consiste em um tratamento térmico realizado a uma temperatura mínima de 400°C em uma atmosfera inerte, nesta etapa ocorre a quebra das ligações de carbono-carbono e forma-se ligações de carbono-oxigênio. Durante a carbonização são eliminados os componentes voláteis (CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) e espécies não-carbônicas, produzindo uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa primária que favorece a ativação (COSTA, 2014).

Segundo Soares (2001) a etapa seguinte à pirólise é a ativação, que consiste em um processo fundamental, pois submete o material carbonizado a reações secundárias, visando o aumento da porosidade do carvão e da área superficial. A ativação pode ser classificada em dois grupos: ativação química e ativação física.

Ativação química consiste na impregnação do precursor com um agente químico ativante como propriedades ácidas como ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), cloreto de zinco (ZnCl<sub>2</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), além de reagentes básicos como hidróxido de potássio (KOH) e hidróxido de sódio (NaOH). A ativação química apresenta algumas vantagens em relação à ativação física como por exemplo, uso de menor temperatura de pirólise, maior rendimento e obtenção de material com maior área superficial específica (PEREIRA, et al, 2008).

Ativação física ou ativação térmica como também é conhecida consiste na reação de gaseificação do carvão com gases contendo oxigênio combinado, normalmente com H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> ou misturas de ambos, com o carvão. Ambos os gases se comportam como oxidante a temperaturas na faixa de 800 a 1000°C. De modo geral, a ativação química produz carvão com poros grandes que são mais apropriados para adsorção de líquidos, enquanto a ativação física gera uma estrutura de poro tipo

fenda muito fina, o que torna este carvão apropriado para o uso de adsorção gasosa (SOARES, 2001).

#### 4.4.1 Determinação do ponto de carga zero

Uma característica muito importante para materiais adsorventes é o ponto de carga zero (pcz), este parâmetro irá nos ajudar a avaliar qual a carga na superfície do adsorvente em relação ao pH em que a adsorção ocorre com maior eficiência (MAZETTO et. al., 2016).

O PCZ é o valor de pH em que a adsorção de íons determinantes de potencial ( $H^+$  e  $OH^-$ ) é igual, ou seja, o número de cargas positivas é igual ao número de cargas negativas. Quando o pH da solução é menor que o  $pH_{pcz}$  do material sólido a sua superfície ficará carregada positivamente, já se o pH da solução for maior do que o  $pH_{pcz}$  do material sólido a superfície do material ficará carregada negativamente (DEOLIN et. al., 2013).

Uma das formas de se determinar o ponto de carga zero baseia-se na titulação potenciométrica do adsorvente em diferentes forças iônicas do meio, onde o PCZ será o ponto de cruzamento entre diferentes curvas eletrolíticas (PÉREZ, CAMPOS, TEIXEIRA, 2017).

## 5 METODOLOGIA

Todas as análises foram realizadas no Departamento de Solos e Recursos Naturais do Centro de Ciências Agroveterinárias, UDESC, Lages-SC.

### 5.1 Produção carvão ativado

Para preparação do carvão ativado com casca de arroz foi utilizado o mesmo método aplicado por Reis e Neves (2015). Primeiramente a casca foi lavada em água corrente para remover possíveis impurezas externas. Após isso, o material foi lavado em água destilada em ebulição por 50 minutos.

Figura 7: Processo de lavagem da casca de arroz



Fonte: A autora, (2019).

No final do processo o material foi lavado com água a temperatura ambiente e filtrado, para então ser colocado na estufa a 105 °C por 24 horas. Decorrido as 24 horas a casca de arroz foi distribuída em cadinhos identificados e pesados para que depois possa ser calculado o seu rendimento gravimétrico. O material então foi colocado na mufla para carbonizar a 600 °C por 40 minutos.

Figura 8: Casca de arroz após a carbonização.

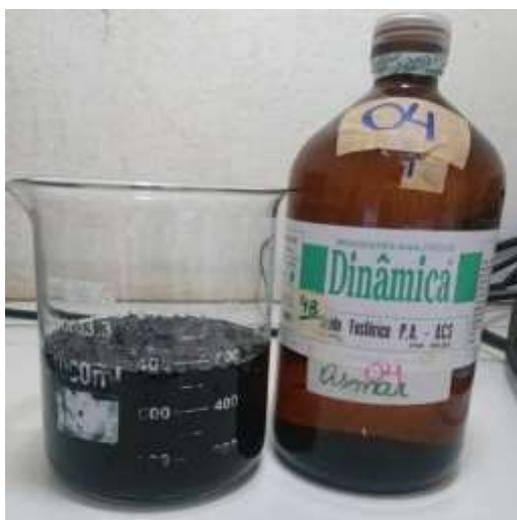


Fonte: A autora, (2019).

### 5.1.1 Ativação do material

Para ativação do carvão foi escolhido o processo químico, onde o agente ativador foi o Ácido Fosfórico ( $H_3PO_4$ ) concentrado a 85%. O carvão foi transferido dos cadinhos para um Becker de 1000 ml, onde foi adicionado o ácido até que o material sobrenadasse, foi necessário cerca de 500ml de ácido fosfórico, a manipulação do ácido ocorreu em uma capela. Em seguida o Becker foi colocado em um agitador a 100 rpm por 24 horas.

Figura 9: Processo de ativação com ácido fosfórico



Fonte: Próprio autor.

Com o passar das 24 horas o material foi lavado em água destilada e filtrado até que atingisse o pH de 5.8 e colocado na estufa para secar por 24 horas a 100 °C. Ao término das 24 horas, o carvão agora ativado foi macerado até ficar com uma textura fina.

## 5.2 Determinação do pH de ponto de carga zero

O método aplicado para determinar o ponto de carga zero (PCZ) foi baseado na metodologia utilizada por Rogalbutto e Robles (2004). Pesou-se 0,02 g de carvão ativado e adiciona-se 20 ml de uma solução aquosa de Cloreto de Sódio a 0,1 M (NaCl) com o pH variando de 1,0 a 12. O pH da solução foi ajustado utilizando soluções de ácido Clorídrico a 0,1 M (HCl) e Hidróxido de Sódio também a 0,1 M (NaOH), onde para elevá-lo é utilizado NaOH e para diminuí-lo foi utilizado HCl.

Após isso deixar em banho termostático e sob agitação de 100 rpm a 25 °C por 24 horas. Com o passar das 24 horas o material foi filtrado e lido o pH novamente.

Figura 10: Processo de agitação.



Fonte: A autora, (2019).

### 5.2.1 Preparo da Solução de Cloreto de Sódio

Em um béquer de 100ml pesou-se 5,84g de NaCl (Cloreto de sódio) e dissolveu-se com água destilada. Após isso a solução foi adicionada em um balão

volumétrico 1L, onde previamente havia sido adicionado 500 ml de água destilada, e completado com água destilada até o menisco.

### 5.2.2 Preparo da Solução de Hidróxido de Sódio

Para preparar a solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) a 0,1 M foi pesado e dissolvido 2g de NaOH em um béquer de 100ml. A solução então foi adicionada a um balão volumétrico de 500ml, onde foi completado com água destilada até o menisco.

### 5.2.3 Preparo da Solução de Ácido Clorídrico

Em uma capela de exaustão mediu 4,1 ml de ácido clorídrico (HCl), que foi adicionado lentamente a um béquer com água destilada. Após isso a solução do béquer foi transferida para um balão volumétrico de 500ml, já contendo cerca de 200ml de água destilada, em seguida o balão foi completado com água até o seu menisco.

## 5.3 Teste de Remoção

A metodologia deste experimento seguiu a descrita por Kocaoba et al. (2007) com algumas pequenas adaptações.

Inicialmente pesou-se 0,7 gramas de carvão ativado e junto a ele foi adicionado 50 ml da solução com o metal zinco. Para realização das análises é necessário que o pH da solução esteja em 5,5 e para aferi-lo foi utilizado soluções de  $\text{HNO}_3$  e NaOH, ambas a  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . O próximo passo é levar o material para centrifugar a 3000 rpm por 5 minutos, após isso o sobrenadante é retirado e lido em absorção atômica com sistema de atomização por chama ar-acetileno a quantidade do metal que foi retirado.

A quantidade removida foi calculada utilizando-se as seguintes equações:

$$M_{rem} = (C_i - C_e) * (V \div m)$$

(1)

$$M_{adc} = [(C_i) * (V \div m)]$$

(2)

$$\%M = (Mrem \div Madc) * 100$$

(3)

Onde:

*Mrem*: é a quantidade de Zn removido ( $\text{mg Kg}^{-1}$ );

*Ce*: é a concentração de equilíbrio em horas ( $\text{mg L}^{-1}$ );

*m*: massa do material (g);

*Madc*: quantidade de Zn adicionado ( $\text{mg Kg}^{-1}$  de carvão);

*Ci*: concentração inicial da solução padrão de zinco ( $\text{mg L}^{-1}$ );

*V*: volume da solução padrão de zinco (ml);

*%M*: porcentagem de Zn removido pelo material;

Para determinar a máxima capacidade de remoção de Zinco foram utilizadas 5 concentrações iniciais diferentes de 0 mg; 300 mg; 600 mg; 900 mg e 1200 mg com o pH ajustado em 5,5. Todas as análises foram feitas em triplicatas.

:

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De forma geral, qualquer matéria-prima de origem carbonácea poderia ser utilizada para a produção de carvão ativo, porém nem todas são economicamente viáveis. A casca de arroz por se tratar de um rejeito da agroindústria com alto teor de sílica aparenta ser uma alternativa promissora.

Dentre as variáveis que envolvem o processo de carbonização da matéria prima do carvão, o rendimento gravimétrico é uma das mais importantes. Ele se refere a massa de carvão final em relação a massa da matéria prima inicial dada em percentual (SOUZA, 2017). Como podemos observar na tabela abaixo o carvão ativado produzido apresentou um rendimento gravimétrico em carvão médio de 38,87%.

Quadro 1: Rendimento Gravimétrico

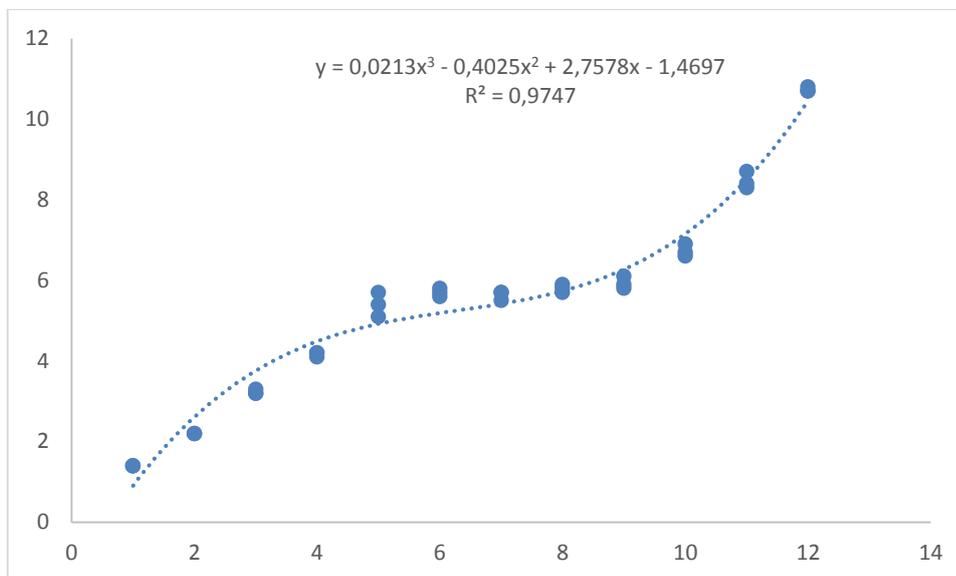
Cadinhos	Peso inicial do arroz	Peso final do arroz	Rendimento Gravimétrico (%)
1	16,6254	6,3011	37,90
2	16,4016	6,1617	37,57
3	17,1548	6,6592	38,82
4	17,2218	7,0696	41,05
5	4,5301	1,6707	36,88
6	3,0404	1,2817	42,16
Totais	74,9741	29,144	38,87

Autor: A autora, (2019).

Em literaturas existentes em que o carvão foi produzido com madeiras de diferentes espécies, o carvão ativado feito com casca de arroz se destacou em quesito de rendimento gravimétrico de carvão. Na metodologia utilizada por Oliveira et al. (2010) em que a matéria prima era eucalipto o rendimento gravimétrico de carvão máximo por ele atingido foi de 32,11%, já na descrita por Souza (2017) utilizando madeira de uva-do-Japão em diferentes marchas de carbonização o rendimento máximo obtido foi de 31,47%.

Outra variável importante para determinar a capacidade do carvão ativado produzido é o ponto de carga zero (PCZ) que foi realizado com o intuito de descobrir o pH da superfície do carvão ativado. Primeiramente o gráfico foi feito plotando o pH inicial versus o pH final lido a fim de se obter uma curva.

Gráfico 1: Curva do ponto Isoelétrico

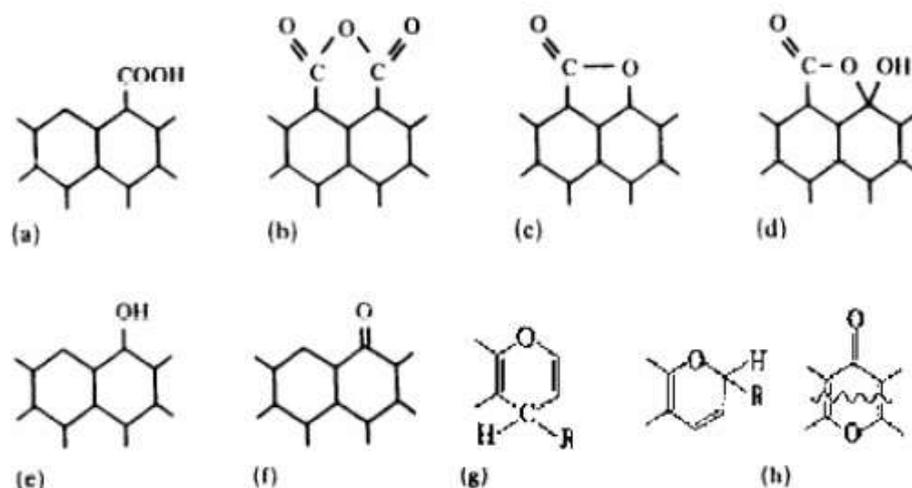


Fonte: A autora, (2019).

Após a obtenção da curva utiliza-se a expressão matemática que o Gráfico 1 nos forneceu para calcular o valor do pH da superfície do material. Temos então  $y = 0,0213x^3 - 0,4025x^2 + 2,2758x - 1,4697$  onde sua resolução nos forneceu o valor de 6,67, indicando que o material é levemente ácido.

Segundo Guimarães (2006) o caráter ácido de um carvão ativado está diretamente ligado com o conteúdo de oxigênio do mesmo, quanto maior ele for mais ácido é a dispersão aquosa do carvão ativado. O grupo ácido presente na superfície do CA dá a ele propriedades de trocadores catiônicos, já carvões ativados que apresentam uma superfície mais básica possuem propriedades de trocadores aniônicos.

Figura 11: Grupos funcionais ácidos e básicos da superfície do CA



Fonte: GUIMARÃES, 2006.

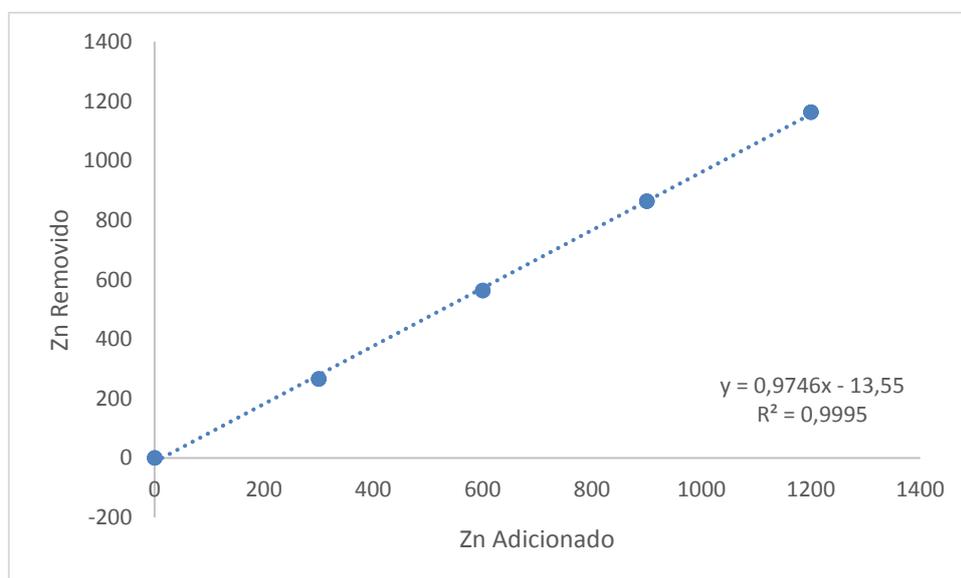
A Figura 13 apresenta diversos grupos funcionais que podem ser encontrados na superfície de carvão ativado, onde: a – grupo carboxílico; b – anidrido carboxílico; c – grupo lactônico; d – grupo lactol; e – grupo fenólico; f – grupo carbolino; g – grupo cromeno; h – grupo pirona. Desta lista os grupos a – e possuem caráter ácido e podem estar presentes na superfície do carvão produzido (GUIMARÃES, 2006).

A propriedade que mais interessa em um carvão ativado é a sua capacidade de adsorção, processo que ocorre quando partículas líquidas ou gasosas ficam retidas na superfície de sólidos, esta é influenciada pela porosidade do material, assim como pela sua área superficial específica (NASCIMENTO et al., 2014). Para testá-la foi realizado teste de remoção em soluções de zinco em diferentes concentrações. O teste de remoção foi realizado, pois tivemos a precipitação de zinco, e este método retira o zinco presente nos sítios de ligação e no precipitado (GUIMARÃES, 2006). Esta precipitação ocorreu, quando o material entrou em contato com a solução de zinco, pois o pH da superfície do carvão ativado, descoberto no ponto isoelétrico, era de 6,67, quando houve o contato entre eles ocorreu a elevação do pH e valores de pH da solução acima de 6,0 propiciam a precipitação (MAYRINCK et al., 2014).

Após a realização do método de remoção explicado na metodologia foram desenvolvidos os cálculos de remoção objetivando-se obter as porcentagens médias de zinco removido por concentração, para que seja possível determinar a capacidade

máxima de remoção. Abaixo nós temos o gráfico plotado entre a média por concentração de Zn removido ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ) versus a Zn adicionado ( $\text{Ce}$  em  $\text{mg L}^{-1}$ ).

Gráfico 2: Demonstrativo da remoção de zinco



Autor: A autora, (2019).

Já era esperado que à medida que a concentração de zinco aumentasse a remoção também aumentaria proporcionalmente e isto fica comprovado ao observarmos o gráfico onde a linha tendência se mostra linear.

Quadro 2: Porcentagem da remoção de zinco

Zn Adicionado	Zn Removido	%Media Zn Removido
0	0	0
300	265,74	88,58%
600	563,52	93,91%
900	863,93	95,99%
1200	1162,76	96,89%

Autor: A autora, (2019).

Os dados da Tabela 3 indicam que a uma concentração de 1200 mg de zinco a remoção atingiu 96,89%, o que corresponde a 1162,76 mg/kg removidos da solução, comprovando assim que o carvão ativado produzido possui uma ótima capacidade de adsorção, onde para descobrir a sua capacidade máxima de adsorção seria necessário fazer testes com concentrações mais elevadas de zinco.

O carvão ativado produzido com a casca de arroz apresentou resultados muito positivos e considerando o fato de cerca 20% da produção de arroz no Brasil é casca o uso dela na produção de carvão ativado para diversos fins se mostra uma ótima alternativa para dar um destino que será vantajoso para o meio ambiente e para a economia, pois será agregado valor a um rejeito que atualmente só gera problemas devido a sua dificuldade de reaproveitamento.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de carvão ativado a partir da casca de arroz foi demonstrada, utilizando-se uma técnica de ativação química com Ácido Fosfórico ( $H_3PO_4$ ) concentrado a 85%, partindo da casca de arroz previamente carbonizada. O material produzido nos apresentou um rendimento gravimétrico de 38,87%, sendo este maior do que o encontrado em outras metodologias com diferentes matérias-primas.

No teste de remoção com solução de zinco ele se mostrou muito eficiente com uma remoção máxima de 96,89%, no indicando também que é possível obter uma maior porcentagem de remoção sendo necessário apenas tentá-lo a concentrações maiores de zinco, o que dá a oportunidade para estudos futuros, aplicar o carvão ativado produzido com casca de arroz em remoção de zinco a concentrações mais elevadas, para descobrir qual a sua máxima capacidade de remoção.

De modo geral, o presente trabalho apresentou um uso alternativo para a utilização de um resíduo agrícola de difícil aproveitamento devido as suas diversas características negativas para fins comerciais, mas que apresentou um resultado muito promissor mostrando sua viabilidade na produção de carvão ativado.

## REFERÊNCIAS

ATKINS, Peter, PAULA, Júlio. Físico-química. 9. ed. Rio de Janeiro: Gen - LTC, 2012.

CLAUDINO, Andréia. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Perspectiva para agropecuária. Brasília, vol. 6, p. 1-112, ago.2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. A cultura do Arroz. Brasília, 2015.

COSTA, Silvanio Soares. **Carvão ativado a partir do endocarpo de coco baía (coccus nucifera) aplicado no tratamento de efluente têxtil**. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br>. Acesso em: 04 set. 2019.

DEOLIN, Mara Helen da Silva; FAGNANI, Héliida Monique Cordasso; ARROYO, Pedro Augusto; BARROS, Maria Angélica Simões Dornellas. **Obtenção do ponto de carga zero de materiais adsorventes**. VIII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, Maringá, 2013.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema de Produção**, Sistema de cultivo de arroz irrigado no Brasil. Pelotas, 1ª edição, vol. 1, dez/2004.

FREITAS, Leizer Cordeiro da Silva, BUENO, Sílvia Messias. **Carvão Ativo: Breve Histórico e Estudo de Sua Eficiência na Retenção de Fármacos**. 11 f. Trabalho de Conclusão de Curso; (Graduação) - Farmácia, União das Faculdades dos Grandes Lagos, 2014.

GUIMARÃES, Ivanete da Silva. **Oxidação de carvões ativados de endocarpo de coco da baía com soluções de HNO<sub>3</sub> e uma investigação sobre o método de boehm**. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Química, Universidade Federal da Paraíba, 2006.

HEYLMANN, Kelly Kathleen Almeida. **Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de caroço de pêssego no tratamento de efluente têxtil**. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Pelotas, 2015.

KOCAOBA, S., ORHAN, Y., AKYÜZ, T., “Kinetics and equilibrium studies of heavy metal ion removal by use of natural zeolite”, Elsevier, v. 214, pp. 1-10, 2007.

LIMA, Raquel Bohn. **Processos para a produção de carvão ativo a partir do subproduto resultante da lixívia alcalina da cinza da casca do arroz**. 111 f.

Dissertação (Mestrado) – Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

MAYRINCK, C.; RAPHAEL, E.; FERRARI, J.; SCHIAVON, M. A. Síntese, propriedades e aplicações de óxido de zinco nanoestruturado. *Revista Virtual de Química*, v. 6, n. 5, set à out/2014.

MAZETTO, Ingrid Antunes; KALINOSKI, Anderson; BICUDO, Milene Oliveira Pereira; ANSCHAU, Andréia. Determinação do ponto de carga zero do bioadsorvente obtido do pseudofruto de uva-do-japão (*hovenia dulcis thunberg*). **Revista Ciências Farmacêuticas Básicas e Aplicadas**, Araraquara, vol. 37, nº. 1, agos/2016.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do Agronegócio**, Brasil 2017/18 a 2027/28. Brasília, 9ª edição, 2018.  
MOLETTA, Nathalia Rodrigues. **Caracterização e aplicação de carvão ativado produzido a partir de biomassa amilácea**. 62 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Tecnologia em Processos Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

MORGON, Nelson Henrique; SOARES, Álvaro Guedes. Modelo teórico quântico para o processo de adsorção física. **Revista Química Nova**, São Paulo, vol. 21, nº. 3, 1997.

MORAIS, Rayssa de Medeiros. **Produção de carvões ativados preparados a partir de diferentes materiais precursores**. 50 f. Dissertação (Mestrado) – Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2017.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira; LIMA, Ari Clecius Alves; VIDAL, Carla Bastos; MELO, Diego de Quadros; RAULINO, Giselle Santiago Cabral. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza, **Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará**, 2014.

OLIVEIRA, Aylson Costa; CARNEIRO, Angelica de Cássia Oliveira; VITAL, Benedito Rocha; ALMEIDA, Wellington; PEREIRA, Barbara Luísa Corradi Pereira; CARDOSO, Marco Túlio. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n.87, setembro/2010.

PEREIRA, Elaine; OLIVEIRA, Luiz C. A.; VALLONE, Andrea; SAPAG, Karim; PEREIRA, Marcio. Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de  $FeCl_3$  como reagente ativante. **Química Nova**, São Paulo, vol. 31, nº. 6, 2008.

PÉREZ, Daniel Vidal; CAMPOS, David Vilas Boas; TEIXEIRA, Paulo César. Manual de métodos de análise de solo - Ponto de carga zero (PCZ). **Revista Embrapa**, Brasília, 3ª edição, 2017.

PINTO, Marcos Vinícios de Souza; SILVA, Denilson Luz; SARAIVA, Augusto César Fonseca. Obtenção e caracterização de carvão ativado de caroço de buriti (*Mauritia flexuosa* L.f) para a avaliação do processo de adsorção de cobre (II). **ACTA Amazônica**, vol. 42, nº. 4, 2012.

RAMBO, Magale Karine Diel. **Aproveitamento da casca de arroz para a produção de xilitol e sílica xerogel**. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Química, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

REGALBO, J. R.; ROBLES, J. O. **The engineering of Pt/ carbono catalyst preparation for application on próton Exchange fuel cell membrane (PEFCM)**. Catalysis Laboratory, University of Illinois at Chigago, 2004.

REIS, Amanda da Silva; NEVES, Niléia Cristina. Produção de carvão ativado a partir de casca de arroz. Desafios: Revista interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, v. 2, nº especial, Tocantins, 2015.

SCHETTINO, Miguel A.; FREITAS, Jair C. C.; CUNHA, Alfredo G.; EMMERICH, Francisco G.; SOARES, Ana B.; SILVA, Paulo R. N. Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz. **Química Nova**, São Paulo, vol. 30, nº 7, 2007.

SOARES, Álvaro Guedes. **Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina**. 154 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Física “GlebWataghin”, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

SCHNEIDER, Eduardo Luiz. Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

SOUZA, Evelyn Raphaela Naegeler; NOVAES, Davidson da Silva; NUNES, Luana Campos; CASTIANE, Raquel Priscila; GUYSS, Fernanda; REBOLHO, Ariane Sommer; PEREIRA, Flavia; ESCOBAR, Cintia Golçalves. Rendimento gravimétrico, rendimento líquido e rendimento em gases não condensáveis da madeira de uva-do-japão (*Hovenia dulcis*) em diferentes marchas de carbonização. **Congresso Brasileiro de Ciencia e Tecnologia da Madeira**, Florianópolis, 2017.