

## APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DA PIRÓLISE DO SABUGO DO MILHO VISANDO USO INDUSTRIAL

Matheus Gomes Arruda<sup>1</sup>, Maria Vitória Canevari da Rocha Simão<sup>2</sup>, Lino Gabriel Mattos Caliari<sup>3</sup>,  
Marcelo Mendes Pedroza<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Estudante do Curso Superior em Engenharia Elétrica – IFTO Palmas. Bolsista do Programa de Iniciação Científica do IFTO. e-mail: <matheus.arruda@estudante.ifto.edu.br>

<sup>2</sup>Estudante do Curso Técnico em Controle Ambiental Integrado ao Ensino Médio – IFTO Palmas. Bolsista do CNPq.

<sup>3</sup>Estudante do Curso Superior em Engenharia Agrônômica – IFTO Palmas. Bolsista do Programa de Iniciação Científica do IFTO.

<sup>4</sup>Professor Orientador, Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas. email: mendes@ifto.edu.br

**Resumo:** Com a crescente busca por fontes alternativas de energia e técnicas sustentáveis e eficientes de tratamento de água, a biomassa surge como uma matéria prima em potencial para produção de carvão. Este projeto de pesquisa teve por objetivo verificar se existe a viabilidade técnica de se empregar o carvão do sabugo de milho nos tratamentos de adsorção de corante e remoção de cloro da água. A biomassa foi caracterizada pelas seguintes análises físico-químicas: umidade, material volátil, cinzas e carbono fixo. A água de abastecimento foi caracterizada pelos seguintes métodos analíticos: temperatura, pH, alcalinidade, turbidez, cloretos, cloro residual, coliformes totais e coliformes termotolerantes. No processo de pirólise foram estudados os seguintes parâmetros: temperatura (360 à 640 °C) e taxa de aquecimento (13 à 27 °C/min). O tempo de reação na planta de pirólise em cada condição foi de 30 minutos. A maior obtenção de carvão foi observada nas condições de 360 °C a 20 °C / min, tendo um rendimento da ordem de 69% aproximadamente. Dos testes de adsorção, vale ressaltar que na remoção de cloro da água para abastecimento, a eficiência foi máxima (100%) durante todo o período de operação, indicando a viabilidade técnica de se empregar o sistema de filtros obtidos no trabalho no tratamento de águas para indústrias.

**Palavras-chave:** Carvão de sabugo de milho, pirólise, tratamento de água

### 1 INTRODUÇÃO

Atualmente as fontes de energia renovável tem ganhado uma crescente força no ramo das pesquisas, seja pelos problemas ambientais existentes ou pela redução na disponibilidade de combustíveis fósseis. Nesse sentido, a biomassa imerge como uma alternativa renovável e sustentável capaz de suprir diversas necessidades do homem moderno (MACHADO, 2019).

A biomassa pode ser definida como todo material de caráter orgânico e origem vegetal (sendo lenhoso ou não), no qual pelo processo de fotossíntese, é capaz de armazenar a energia radiante do sol em sua composição química, para posteriormente, ser convertida em outras formas de energia (VIEIRA, 2012).

No quesito conversão de energia radiante e na produção de biomassa, o milho é uma das principais culturas em destaque no país. Em um intervalo de 140 dias, partindo de uma semente de aproximadamente 0,3 g, obtêm-se após o desenvolvimento da planta cerca de 1,2 kg de biomassa. Sendo que para cada tonelada de milho colhido, é gerado cerca de 2,3 toneladas de resíduo (ZAMBRZYCKI; VALE; DANTAS, 2013; PRETO; MORTOZA, 2010).

Tendo em vista os problemas causados pela destinação final incorreta desses resíduos, vários pesquisadores vêm estudando técnicas e métodos que tenham por objetivo solucionar tais adversidades,

visando assim, uma destinação ambientalmente correta e segura aos resíduos provenientes da produção do milho (MACHADO, 2019).

Sendo assim, essa pesquisa objetiva avaliar a aplicabilidade em utilizar os resíduos da produção de milho como fonte de subprodutos de maior valor agregado, para posterior utilização na indústria em sistemas de filtração de águas residuárias empregando o carvão obtido no processo de pirólise.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Coleta da biomassa**

O resíduo a ser empregado no presente trabalho é o sabugo do milho in natura proveniente dos processos de produção e utilização do milho (*Zea mays* L). Todos os resíduos utilizados para análise e experimentos foram doados e coletados no aterro da fazenda Paraíso, localizada nas proximidades da cidade de Paraíso do Tocantins, estado do Tocantins. A caracterização química das amostras foi feita nos laboratórios de Análises Físico-químicas de Águas e Efluentes (IFTO – Palmas) e Laboratório LARSEN.

Os briquetes do sabugo do milho foram produzidos a partir material in natura triturado e peneirado, seguindo uma proporção de aproximadamente 0,9 mL de água para cada 1g de biomassa, seguindo recomendações de Machado (2019). A confecção dos Briquetes será realizada no LARSEN – IFTO (Campus Palmas).

### **2.2 Reator Pirolítico e Planejamento Experimental**

A biomassa será introduzida ao reator de pirólise da marca INTI (modelo: T1200/H-1z) na forma de briquetes. A conversão térmica será efetuada em um reator de leito fixo de aço inox, de 100 cm de comprimento e diâmetro externo de 10 cm. O reator será aquecido por forno bipartido reclinável. O reator será operado em regime de batelada, sendo usado vapor de água aquecido como gás de arraste, gerado através de autoclave. Os vapores produzidos no processo são encaminhados para o sistema de condensação, sendo os líquidos recuperados em funil de separação.

Foi realizado um planejamento experimental de maneira a avaliar a influência de dois fatores no rendimento de carvão proveniente da pirólise de biomassa de sabugo do milho. Os fatores estudados foram: temperatura de pirólise (a) e taxa de aquecimento (b), sendo que o primeiro varia de 360 a 640°C e o segundo de 13 a 27 °C / min. Os domínios das faixas dos parâmetros estudados estão de acordo com Pedroza et al. (2014) (Tabela 1).

Tabela 1 – variação nas condições empregadas no planejamento

Fatores	Níveis				
	(-1,4)	(-1)	(0)	(+1)	(+1,4)
Temperatura do processo (°C)	360	400	500	600	640
Taxa de aquecimento	13	15	20	25	27

Fonte: Autoria própria (2020)

### 2.3 Caracterização da biomassa

A biomassa foi caracterizada através das seguintes técnicas analíticas: (a) umidade (ASTM D 3173-85), (b) cinzas (ISO-1171-1976), (c) material volátil (ISO-5623-1974) e (d) densidade aparente (método gravimétrico). A caracterização físico-química das amostras foi feita nos laboratórios de Análises Físico-químicas de Águas e Efluentes (IFTO – Palmas) e Laboratório LARSEN.

### 2.4 Testes de adsorção

#### 2.4.1 Adsorção de azul de metileno em carvão

O teste foi feito em um sistema de filtros em série, sendo o primeiro composto por 30g de uma mistura de areia e o segundo composto por 6g de carvão ativado do sabugo do milho. O experimento foi realizado durante 25h em fluxo contínuo, a vazão média do sistema foi de 3,4mL/min, e como corante utilizou-se uma solução de azul de metileno a uma concentração de 5 mg/L com pH ajustado a 7,0.



Figura 1 – Filtro para adsorção de corante

Fonte: Autoria Própria (2020)

#### 2.4.2 Descloração e caracterização da água da indústria

A fim de aprimorar os diversos usos da água industrial, bem como avaliar a eficiência de remoção do carvão obtido, estudou-se a remoção do cloro residual presente nas amostras por meio da adsorção do cloro na superfície do carvão ativado do sabugo do milho.

O sistema de filtração (Figura 2) é constituído dos seguintes componentes: (a) reservatório de água bruta, (b) bomba peristáltica, (c) filtro com 30g de areia e (d) filtro com 6g de carvão. Sendo que o reservatório de água bruta tem uma capacidade de 50 litros.

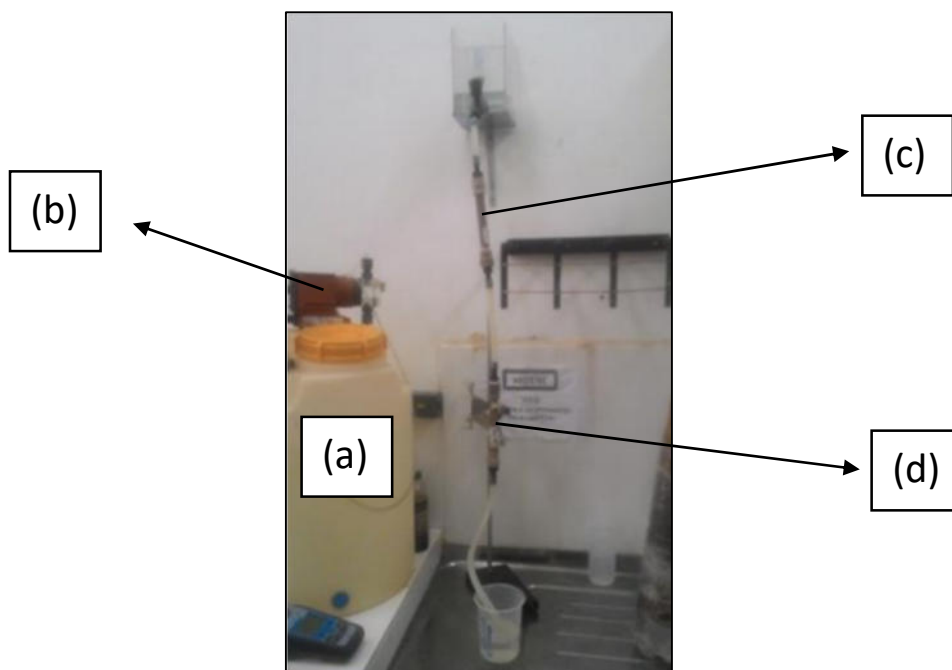


Figura 2 – Filtro para descloração da água de indústria

Fonte: Autoria Própria.

A alimentação do filtro foi controlada pela vazão programável da bomba peristáltica, em que o sistema operou com vazão média constante de 6mL/min, durante 26 dias que permitiu avaliar a eficiência do filtro. A caracterização da água industrial foi realizada conforme é apresentado na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Métodos analíticos aplicados na caracterização da água de indústria fornecida pela empresa BRK

Parâmetro analítico	Metodologia
Temperatura	Termômetro de mercúrio
pH	Eletrométrico
Alcalinidade	Volumétrico
Turbidez	Nefelométrico

---

Cloretos	Mohr
Cloro Residual	Espectrofotométrico
Coliformes Totais	Colilert
E. coli	Colilert

---

Fonte: Autoria própria (2020)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Resultado da análise química da biomassa

Na determinação dos teores de umidade, cinzas, massa volátil e carbono fixo da biomassa, realizou-se ensaios em triplicata, objetivando obter-se uma média mais precisa do real percentual de cada componente. Os resultados obtidos através das análises de umidade, densidade, cinzas, material volátil e carbono fixo, foram, respectivamente: 9,1%, 0,25 g/mL, 1,98%, 88,12% e 9,9%.

O teor de umidade diz respeito a quantidade em massa, de água, perdida pela biomassa, quando esta, é submetida a temperaturas próximas a 100 °C. Esse parâmetro avalia a relação entre a umidade e o poder calorífico, sendo inversamente proporcional a capacidade de combustão, ou seja, quanto maior a umidade, menor o poder calorífico. Nesta pesquisa, o percentual de umidade da biomassa do sabugo do milho foi de 9,1%.

O teor de cinzas é referente ao percentual de compostos inorgânicos presentes na biomassa, como potássio, magnésio, ferro, cálcio, sódio, fósforo, entre outros (VALE et al., 2007). Restam-se apenas os minerais inorgânicos pois a temperatura na qual se realiza o experimento é na faixa de 800 °C, onde os compostos orgânicos são completamente degradados. O teor de cinzas presente na biomassa em estudo foi de aproximadamente 2%, e, conforme descrito por McKendry (2002), baixos teores de cinzas favorecem o processo de conversão energética, indicando um possível uso do carvão obtido para queima em caldeiras.

Já o teor de voláteis, é relativo a perda, em massa, de componentes que se volatilizam em temperaturas próximas acima de 900 °C. Esse parâmetro é relacionado com a reatividade da biomassa, ou seja, a facilidade com o resíduo tem em se degradar em altas temperaturas. Neste trabalho o teor de materiais voláteis foi de 88,1%.

### 4.2 – Planejamento Experimental

Os resultados obtidos no delineamento composto central rotacional (DCCR) de ordem 2<sup>2</sup> da biomassa do sabugo de milho está disposta na Tabela 3. No planejamento experimental empregado, analisou-se como fatores de importância a temperatura (Temp) e a taxa de aquecimento (°C / min).

Tabela 3 – Resultado do planejamento experimental

Experimentos	Fatores		Carvão (%)
	Temperatura (°C)	T.A (°C/min)	
1	-	-	36,06
2	+	-	27,68
3	-	+	46,81
4	+	+	22,03
5	0	0	28,03
6	0	0	28,00
7	0	0	28,37
8	-1,4	0	68,72
9	0	1,4	25,84
10	1,4	0	24,12
11	0	-1,4	25,07

Fonte: Autoria Própria (2020)

O maior rendimento de carvão ativado foi de 68,72%, na temperatura de 360 °C com a taxa de aquecimento de 20 °C / min e tempo de pirólise de 30 minutos. Enquanto que o rendimento mínimo foi de 22% com uma temperatura de 600 °C e com uma taxa de aquecimento de 25 °C/min e tempo de pirólise de 30 minutos. Observa-se ainda através do planejamento experimental, que a temperatura é um fator que afeta de maneira negativa o rendimento de carvão, ou seja, o rendimento da fração sólida é diminuído com a elevação da temperatura do reator e aumentado com a diminuição da mesma.

#### 4.3 Teste de remoção de azul de metileno em filtros de carvão

O sistema de adsorção do corante azul de metileno permaneceu em operação durante 25 horas, sendo medida a vazão média e a concentração do efluente filtrado a cada 1 hora nas primeiras 12 horas de experimento e nas 12 horas posteriores a medição foi efetuada a cada 30 minutos. O filtro apresentou uma remoção máxima nos primeiros 4 litros da solução do corante em estudo (relativo a 19h de operação), com vazão média ajustada à 3,4 mL/min. Já a menor eficiência de remoção foi observada ao fim do teste em bancada (25h de operação), com percentual de 55% de remoção do corante azul de metileno. A diminuição da eficiência de remoção do sistema está relacionada com a saturação do carvão empregado.

#### 4.4 Caracterização da água de uso industrial

A Tabela 4, a seguir apresenta os resultados obtidos na caracterização da água proveniente da companhia de Saneamento BRK Ambiental disponível para uso doméstico e industrial.

Tabela 4 – Caracterização da água da empresa BRK

Variável Analítica	Resultado
Temperatura (°C)	27,5
pH (-)	8,1
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> / L)	40
Turbidez (uT)	0,12
Cloretos (mg / L)	27
Cloro Residual (mg / L)	0,6
Coliformes Totais (UFC / 100 mL)	ND
E. coli (UFC / 100 mL)	ND

Fonte: Autoria Própria (2020)

O valor obtido para cloro residual na amostra analisada foi de 0,6 mg/L, quantidade inferior a esperada pela água fornecida pela companhia de abastecimento. Neste caso, para melhor avaliar a eficiência de descloração, necessitou-se de ajustar a concentração de cloro residual para 2 mg/L, quantidade máxima permitida pela PORTARIA nº 2914/2011 do Ministério da Saúde. Para o ajuste de concentração, empregou-se o uso de hipoclorito de sódio.

#### 4.5 Descloração de água de uso industrial

Durante o experimento em bancada, o sistema de descloração apresentou 100% de remoção do cloro residual presente na amostra de água de uso industrial e residencial fornecida pela BRK Ambiental. Vale ressaltar que no decorrer do experimento o sistema de descloração não chegou a saturação, mantendo por mais de 1 mês a eficiência de remoção máxima de cloro residual na água de uso industrial. Conforme foi apresentado na Tabela 4, a água de abastecimento fornecida pela BRK tinha cloro residual relativo a 0,6 mg/L, entretanto mesmo com essa concentração ajustada a 2 mg/L o carvão não saturou durante os experimentos.

Vale ressaltar que o sistema de descloração de água de uso industrial esteve em operação por um período de 26 dias, sendo que após esse período foi necessário interromper o experimento devido ao não saturamento do carvão utilizado nos filtros.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se, portanto, que existe a viabilidade técnica de se empregar os resíduos do sabugo do milho para produção de carvão ativado visando o uso industrial. Os resultados obtidos foram de grande importância para a comunidade acadêmica, tendo em vista que esse é um resíduo pouco aproveitado no cenário atual brasileiro.

Para melhor aproveitar os resíduos do milho, recomenda-se para posterior continuação de pesquisa, o uso da palha, bem como o colme do milho, aproveitando ainda os demais subprodutos

gerados no processo de pirólise: bio-óleo e bio-gás, que representam grandes alternativas energéticas no setor de energia do Brasil.

## REFERÊNCIAS

ASTM, (1991). Annual Book of ASTM Standards. Sec 05.05. Standard Test Methods for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM, D 3173-87, Filadélfia, PA, p. 326-328, 1991.

ISO 1171, (1976). Solid mineral fuels – determination of ash, 4p, (1976). ICS : 75.160.10

ISO 5326, (1974). Standard methods for determining volatile matter.

MACHADO, P. R. S. (2019). **Prospecção de bioprodutos a partir da degradação termoquímica do sabugo de milho visando aplicação industrial**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 92p, Palmas, Tocantins, 2019.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, 83, 37, 2002.

PEDROZA, M. M., SOUSA, J. F., VIEIRA, G. E. G., BEZERRA, M. B. D., Characterization of the products from the pyrolysis of sewage sludge in 1 kg/h rotating cylinder reactor. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 105, p. 108-115, 2014.

PRETO, E. V.; MORTOZA, G. L. **Geração de Energia Elétrica Utilizando Biomassa**. 2010. Monografia (TCC de Engenharia Elétrica). Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. 2010.

VALE, A. T. et al. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grão de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*), **DUKE**. Cerne, Lavras, v. 13, n. 4, p. 416-420, 2007.

VIEIRA, Ana C., (2012) **Caracterização da Biomassa Proveniente de Resíduos Agrícolas para Geração de Energia**. Dissertação de Mestrado em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Cascavel, 2012.

ZAMBRZYCKI, G. C.; VALE, A. T.; DANTAS, V. F. S. Potencial Energético Dos Resíduos Da Cultura Do Milho (*Zea mays*). **Evidência**, Joaçaba v. 13 n. 2, p. 153-164, jul./dez. 2013.