

USO DO CARVÃO DE COCO NA REMOÇÃO DE CLORO DA ÁGUA POTÁVEL

Elaine da Cunha Silva Paz ¹, Marcelo Mendes Pedroza ¹, Ricardo Resplandes de Sousa Paz ², Luciana Rezende Alves de Oliveira³

¹ Docentes do Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia Do Tocantins - Campus Palmas. e-mail: <elaine@ifto.edu.br>, <mendes@ifto.edu.br>.

² Discente do Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia Do Tocantins - Campus Palmas. e-mail: <ricardosousapaz@gmail.com>

³ Docente da Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP <rloliveira@unaerp.br>

Resumo: O coco se destaca comercialmente nas regiões litorâneas, onde a venda de sua água é intensa, gerando uma grande quantidade de resíduos após o consumo. O presente trabalho envolve o estudo da remoção do cloro da água utilizando carvão da fibra de coco verde. A biomassa e o carvão do coco verde foram caracterizados por análise imediata, pH densidade, MEV e poder calorífico. O carvão usado foi obtido através de pirólise, com rendimento dos produtos da pirólise de 28,57% para o líquido pirolenhoso, 35,57% de carvão e 35,86% de gás. O ensaio de adsorção de cloro foi realizado em que uma coluna de adsorção com 8 gramas de carvão alimentada intermitentemente por solução de água com cloro na concentração de 2 mg/L. Após 70 dias de experimento com eficiência de 100% de adsorção, constatou-se a eficiência do carvão, evidenciando o potencial da utilização do carvão obtido durante a pirólise de coco verde em ensaios de adsorção.

Palavras-chave: adsorção, carvão, coco verde, pirólise, resíduo agroindustrial.

1 INTRODUÇÃO

A produção de coco verde em 2017 foi de 1,8 bilhão de frutos no Brasil, com o crescimento de 1,5% em relação a 2016. A Região Nordeste respondeu por 74,5% da produção nacional, destacando-se os estados da Bahia, com 552,5 mil toneladas e participação de 30,3% da produção do País; Sergipe, com 237,3 mil toneladas; Ceará, com 186,7 mil toneladas e Pernambuco, com 144,5 mil toneladas. Na Região Sudeste, o maior produtor foi o Espírito Santo, com 120,7 mil toneladas, aumento de 31,2% em relação ao ano anterior (LSPA/IBGE, 2017)

No Brasil, a lei nº 594, de 24 de dezembro de 1948 concede incentivos ao uso da fibra de coco a qualquer empresa legalmente constituída para a exploração industrial da fibra mediante a submeterem-se previamente a exames e a aprovação do Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio todos os planos, permitir visitas de alunos de determinados cursos, quando acompanhados de professores e não acarretarem perturbações do serviço entre outras obrigações.

Para atender as demandas geradas pelas industriais e uma crescente preocupação com as questões ambientais têm-se buscado pesquisar materiais que possuam potenciais em tratamento e ou redução de poluentes sejam estes em meio atmosférico e/ou aquoso.

A biomassa gerada pelas cascas do coco verde tem se mostrado como uma alternativa em potencial na produção de carvão vegetal, gás combustível ou ainda de bio-óleo por intermédio do processo termoquímico de pirólise. De acordo com Pedroza et al., (2014), o carvão também pode ser empregado na remoção de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas de efluentes, substituindo o carvão ativado comercial. Além disso, podem ser utilizados em caldeiras e fornos tubulares, fornos comerciais (pizzaria, padaria, etc.) e uso doméstico (lareiras e churrasqueiras).

A pirólise pode ser definida como a degradação térmica do material orgânico na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou mesmo num ambiente comum a concentração de oxigênio capaz de impedir a gaseificação intensiva do material orgânico. A pirólise ocorre, a partir de uma temperatura de 400 ° C, até ao início do sistema de gaseificação (PEDROZA et al., 2010; PEDROZA,2011).

O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial adsorvente em moléculas orgânicas do carvão obtido por pirólise em reator de leito fixo de resíduos sólidos do coco verde.

2 REFERENCIAL TEÓRICO/ESTADO DA ARTE

Segundo Cardoso e Gonzalez (2016), no Brasil com o crescente mercado do coco verde, a casca do coco verde, subproduto do uso e da industrialização da água de coco, ainda é em grande parte depositada em lixões e aterros sanitários. Este resíduo gera custos e impactos para a sociedade, agravados nas cidades litorâneas, onde o consumo de água de coco é mais elevado.

Coelho *et al.*, (2001), informam que os resíduos sólidos orgânicos são materiais ricos, e servem como fonte de proteínas, enzimas e óleos essenciais, passíveis de recuperação e aproveitamento.

Para Santos (2011), o processo de pirólise ocorre da degradação da biomassa por meio do aquecimento, formando o carvão, óleo e gás pirolítico, sendo que as condições do reator são fatores determinantes no processo de rendimento dos produtos gerados.

No processo de pirólise ocorre a ruptura de ligações carbono-carbono e a formação de ligações carbono-oxigênio. Trata-se portanto de um processo de oxidação e redução no qual uma parte da biomassa é reduzida a carbono, enquanto a outra é oxidada e hidrolisada, originando compostos fenólicos, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos (GOMÉZ, 2011).

Yang et al., (2010), utilizaram cascas de coco para preparar carvão ativado utilizando agentes tais como vapor e uma mistura de vapor – CO₂ com aquecimento por microondas, de modo a comparar a estrutura porosa e rendimento do carvão ativado. A carbonização foi realizada a 1000 °C,

com taxa de aquecimento de 10 °C/min durante 2 horas, em atmosfera de nitrogênio (100 mL/min). Segundo os autores, os resultados experimentais mostraram que a área de superfície determinada, pela técnica BET, independente do agente de ativação, resultando em área de superficial de 2000 m²/ g. O tempo de ativação utilizando o aquecimento por microondas é muito mais curto quando comparado com os métodos convencionais de aquecimento.

O principal equipamento de uma pirólise é o reator. Sendo os dois tipos principais o reator leito fixo e o de leito fluidizado (ZHANG et al., 2012). O reator de leito fixo é constituído por estruturas tubulares de aço inox ou quartzo, onde o gás de arraste atravessa o compartimento da biomassa empurrando os produtos gasosos e líquidos (biogás e bio-óleo) para fora do sistema enquanto que os produtos sólidos (carvão e cinzas) permanecem estacionários.

A adsorção é um processo físico químico que ocorre através de transferência de massa de um adsorvato de um meio que na maioria das vezes consiste-se em um líquido ou gasoso para um adsorvente sólido no caso de carvões (CHAVES, 2009).

Mediante Cazetta et al., (2011) os estudos cinéticos demonstraram que os dados experimentais seguem o modelo pseudo-segunda ordem. O mecanismo do processo de adsorção foi descrito a partir do modelo de difusão intrapartícula. Esse tipo de carvão tem uma elevada área superficial e mostrou-se um adsorvente eficiente para a remoção do corante a partir de soluções aquosas. Os resultados deste estudo mostraram que o carvão com razão 3:1 apresentou boa evolução e alta superfície. Devido às suas características químicas e textura, o carvão ativado de casca de coco obtida neste trabalho é potencial para o tratamento de água e efluentes para a remoção de alguns poluentes orgânicos.

A máxima eficiência de um processo de adsorção é obtida quando algumas propriedades do adsorvente são observadas como elevada área superficial, baixo poder de aglomeração no meio submetido, estabilidade química frente ao pH e da temperatura, resistência mecânica, elevada porosidade como também apresentar seletividade para a espécie reativa (LEAL, 2003).

O equilíbrio da adsorção é obtido pela relação de massas do soluto, quantidade máxima adsorvida e a concentração remanescente na solução. De acordo com Santos (2015), a eficiência do adsorvente é avaliada quantitativamente com os parâmetros de equilíbrio que são obtidos a partir de isotermas de adsorção, as quais mostram a capacidade de adsorção de um adsorvente.

3 METODOLOGIA/MATERIAIS E MÉTODOS

O material colocado em estudo neste trabalho é o resíduo proveniente do processo de extração da água de coco verde, ou seja, o fruto verde in natura sem a água, constituídos, portanto da epiderme, mesocarpo fibroso, endocarpo e albúmen. Os resíduos de coco verde da espécie anão na condição in

natura foram coletados no parque Cesamar no setor urbano de Palmas no Tocantins. A Figura 1 apresenta a evolução metodológica dos procedimentos realizados na pesquisa.

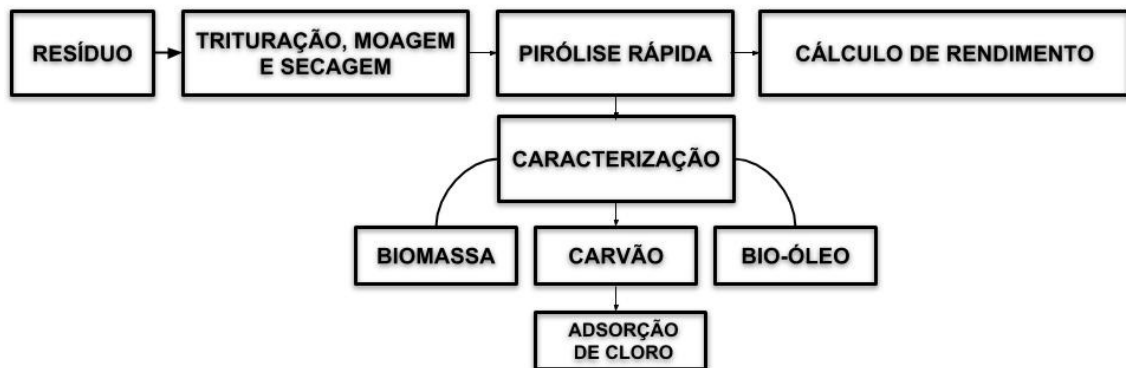


Figura 1: Evolução metodológica

3.1 Caracterização dos produtos

A caracterização da biomassa, carvão e bio-óleo estão descritas na Tabela 1 onde relaciona os parâmetros analisados e o método utilizado.

Tabela 1: Normas utilizadas da caracterização da fibra de coco, carvão e bio oleo

Parâmetros Analíticos	Método Analítico
Análise imediata	ASTMD 3173-85
Densidade aparente	Sugerido por Figueiredo, (2011)
Lignina, celulose e hemice-lulose	Método de "KLASON"
Microfotografias	Microscopia Eletrônica de Varredura
pH do Carvão	ASTMD3838-80
Poder calorífico	NBR 8633 (abnt, 1984)

3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As estruturas superficiais da biomassa e do carvão da biomassa foram avaliada através da Microscopia Eletrônica de Varredura pelo Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais (DEMAT), na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). O equipamento utilizado é da marca Hitachi, modelo TM 3000 com ampliação de 1,5k, onde foram avaliados o tamanho dos poros e sua distribuição.

3.3 Pirólise da Biomassa e Rendimento do carvão.

Foi submetido ao processo pirólise rápida briquetes da biomassa de coco verde nas dimensões de 20cm de comprimento e 30mm de diâmetro. A conversão foi efetuada em um reator de leito fixo bipartido de aço inox, marca FLYEVER do modelo FE50RPN, linha 05/50 com microcontrolador acoplado em um forno tubular 1200°C 1 zona. O reator foi aquecido por forno bipartido de aço inox nas condições de temperatura de 550°C, sendo o nitrogênio o gás de arraste com uma vazão de 4 mL/min, taxa de aquecimento de 10 °C/min. O tempo de residência da biomassa no reator foi de 60min. A Figura 2 mostra o reator de pirólise de leito fixo usado no processo de obtenção do carvão em estudo



Figura 2: Processo de pirólise do briquete da fibra de coco

O rendimento do carvão foi obtido através do balanceamento de massas dos produtos (carvão, extrato líquidos e gás) obtidos no processo de pirólise. A temperatura máxima interna no reator que fora atingida foi de 370°C.

3.4 Análise de adsorção de cloro

O ensaio para a avaliação de adsorção de cloro foi realizado de acordo com a Norma Técnica (ABNT) 16098;2012, que estabelece os requisitos e métodos de ensaios para os aparelhos para a melhoria da qualidade da água potável. Utilizou-se uma bomba dosadora da marca ProMinent, modelo D-69123 Heidelberg, que alimentou com solução de água com cloro uma coluna com 8 gramas de carvão. A bomba dosadora manteve fluxo contínuo com vazão média 5 ml/min. A solução de água com cloro utilizada no ensaio foi preparada com a concentração de 2 mg/L, concentração máxima de cloro permitida para consumo humano de acordo com a Portaria Portaria 2914 (2011) expedida pelo Ministério da Saúde, e que dispõe os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A Figura 3 é uma ilustração do sistema que foi utilizado para os ensaios de adsorção de cloro.

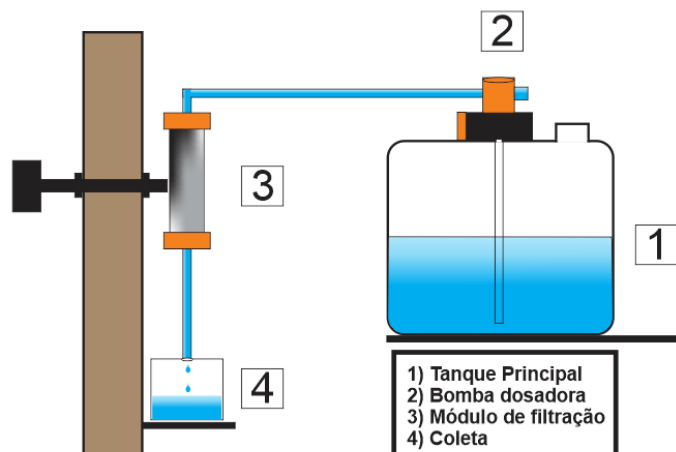


Figura 3: Esquema do sistema de filtração

A concentração de cloro foi aferida pelo clorímetro da marca Tecnal modelo YSI 900. As análises foram realizadas com amostras da solução de cloro antes e depois de ser tratada pelo carvão. O clorímetro YSI 900 é um instrumento para a medição de cloro total ou cloro livre. O período do ensaio foi de 70 dias sem interrupções.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos produtos

A caracterização da biomassa, apresentada na Tabela 2 foi de suma importância, uma vez que a composição da biomassa está diretamente relacionada com o produto final da pirólise. É interessante ressaltar que a decomposição dos compostos químicos ocorre em faixas de temperatura diferentes, enquanto que a hemicelulose e a celulose se decompõem nas faixas de temperaturas de 220 – 315°C e 315-400°C respectivamente a lignina irá se decompor em uma faixa de temperatura bem mais ampla de 160- 900C.

Tabela 2: Compostos químicos presentes na fibra de coco em análise e de outros autores

–

–

–

–

Fonte: Autor (2016); Figueiredo (2011); Cabral (2015)

Para Protásio et al., (2012) o teor de lignina, está diretamente relacionado ao poder calorífico da biomassa vegetal por apresentar um maior teor de carbono, apresenta elevada estabilidade térmica correlaciona-se com a qualidade e produção do carvão vegetal.

O carvão vegetal é produzido a partir da lenha pelo processo de carbonização ou pirólise. Os rendimentos dos produtos da pirólise foram respectivamente de 28,57% e 35,57% para líquidos e carvão, sugerindo condições mais favoráveis a produção de carvão vegetal.

A Tabela 3 informa os resultados das análises das propriedades físicas da biomassa, carvão e bio-óleo obtido por pirólise em reator de leito a partir da fibra do coco verde.

Tabela 3: Propriedades físicas da biomassa, carvão e bio-óleo obtido por pirólise em reator de leito a partir da fibra do coco verde.

Propriedades Físicas		
	Densidade (g/cm ³)	pH
Biomassa	0,1581	-----
Carvão	-----	8,95
Bio-óleo	1,62	3,4

Fonte: Autor, (2017).

A análise de pH do carvão vegetal apresentada na Tabela permite avaliar as interações eletrostáticas, fator determinante em um processo de adsorção. Sabe-se que as características ácidas ou básicas de um carvão são determinadas pelo seu modo de preparação bem como aos grupos químicos disponíveis em sua superfície. O pH do carvão analisado é de natureza básica, sugerindo a inexistência de grupos ácidos e oxigênio em sua superfície. O pH encontrado na análise do bio-óleo foi de 3,4 o que indica a presença de compostos de natureza ácida.

A densidade aparente é uma correlação entre a massa da biomassa e o espaço permitido para a circulação de ar. Segundo Brito et al. (1987) elevados valores de densidades possibilita a produção de carvões mais densos, e, portanto, de qualidade mais desejáveis. A densidade do bio-óleo apresentou valor bastante elevado para óleos sugerindo indicação para a produção de fluídos e resinas.

A Tabela 4 informa os resultados obtidos em análises imediatas da biomassa da fibra de coco bem como dos carvões produzidos nas temperaturas de 500, 525 e 550 °C.

Tabela 4: Análise Imediata da biomassa de coco e de carvões.

Análise Imediata (%) da Biomassa e do Carvão				
Obtido por Pirólise				
	Cinzas	Umidade	Material Volátil	Carbono Fixo
Fibra de Coco	1,98	7,6	81,5	8,92
Carvão 500°C	8,92	4,33	42,45	44,3
Carvão a 550°C	7,23	5,76	43,79	43,22
Carvão a 525°C	7,63	6,69	42,56	43,12

Fonte: Autor, (2017)

É teor de cinzas está diretamente relacionado com a presença de substâncias minerais como: cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, sódio concentrados principalmente no mesocarpo. Entende-se que a presença de valores elevados de cinzas representa baixo poder calórico, e por consequência um carvão de baixa qualidade o qual pode provocar corrosão dos equipamentos utilizados na conversão energética.

Quanto à umidade, esta corresponde à perda em peso, sofrida pelo produto quando é aquecido em condições na qual a água é removida assim como, também outras substâncias voláteis na mesma condição.

O material volátil está diretamente relacionado ao processo de obtenção de energia. Sendo assim, a determinação de material volátil e de carbono fixo é de fundamental importância, uma vez que, valores elevados de material volátil e baixo teor de carbono fixo correspondem a uma queima rápida do combustível.

Quando se analisa um combustível o principal critério a ser levado em conta é o poder calorífico, e este sofre influência direta com o aumento da umidade. Quanto maior o conteúdo de umidade da

madeira, menor é o seu poder de combustão, devido ao processo de evaporação da umidade, o qual absorve energia em combustão.

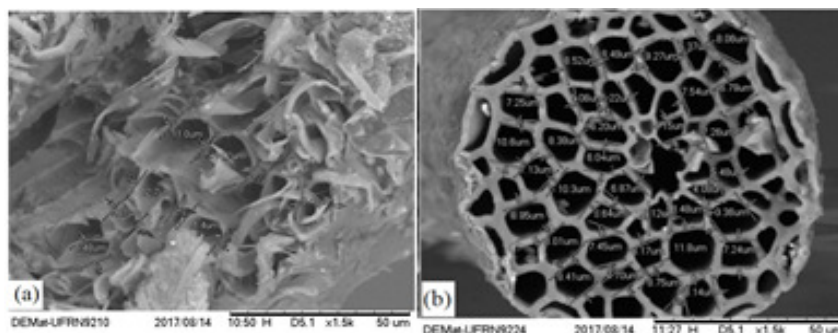
Compreende-se que o poder calorífico de combustíveis é a quantidade de energia interna contida no combustível, sendo que quanto maior poder calorífico, maior será a energia contida. O poder calorífico superior encontrado na fibra de coco em estudo foi de 17,5 (MK*kg⁻¹).

4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e adsorção de cloro em carvão de coco verde.

Na Figura 4(a) é possível observar uma superfície rugosa, com presença de fendas, assim como a presença de microcristais, que provavelmente trata-se de depósitos inorgânicos de silicatos impregnados na fibra. Os silicatos, compostos formado por átomos de silício e oxigênio (SiO₂) são minerais constituintes das rochas, logo sua presença evidencia a influência do solo na composição da fibra de coco. Pode-se inferir mediante a imagem que não se trata de uma estrutura compacta, o que sugere uma matéria com presença de espaços vazios. Estes espaços vazios, em um processo de pirólise podem contribuir na transferência de calor e, portanto, no processo de degradação termogravimétrico.

A Figura 4(b) fornece informações sobre o tamanho dos poros observados no carvão de fibra de coco obtido no processo de pirólise. Segundo Mohan et al., (2014) o processo de pirólise confere ao carvão uma estrutura microporosa ao carvão formado com potencial de filtração e adsorção de poluentes orgânicos e inorgânicos. É importante salientar que de acordo com Westerhof et al., (2009) as propriedades dos produtos formados a partir de pirólise sofrem influência significativa de acordo com a temperatura atribuída ao processo. A microfotografia do carvão sugere que o diâmetro dos poros encontrados em sua superfície é compatível para reter partículas de cloro, que foi aferido no ensaio de adsorção.

Figura 4: Microfotografias (a) Fibra de coco verde e (b) Carvão de fibra de coco



Fonte: Autor, (2017)

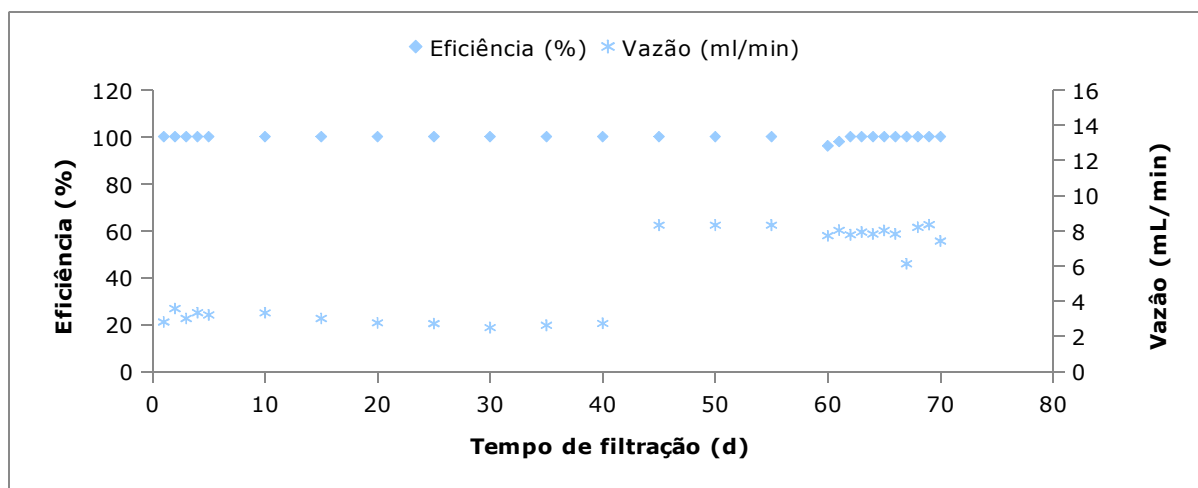
O cloro é adicionado à água para fins de desinfecção e reage com compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos na água, formando outros produtos. A quantidade de cloro que é usada durante

esse processo é chamada de demanda de cloro da água. A dosagem de cloro deve ser alta o suficiente para uma quantidade significativa de cloro permanecer na água para desinfecção. Segundo Schimidt (2011), a demanda de cloro é determinada pela quantidade de matéria orgânica na água de pH da água, tempo de contato e temperatura. O cloro reage com matéria orgânica para desinfecção de bioprodutos, tais como trihalometanos (THM) e ácido acético halogenado. De acordo com Magee (1995) a cloração da água é realizada até o ponto em que a demanda de cloro é cumprida e toda a amônia presente é oxidada, para que apenas o cloro livre permaneça.

A cloração da água pode dar origem a problemas em relação ao sabor e odor da água para consumo, para tratar este tipo de problema os filtros de carvão são um dos métodos aplicados para a remoção de cloro ou de cloração da água. O carvão adsorve o cloro e é oxidado por ele a dióxido de carbono. O cloro livre é adsorvido quando passa pela superfície ativa do carvão.

O gráfico da Figura 5 apresenta a eficiência do carvão de coco verde, que adsorveu todas as partículas de cloro da solução no período do ensaio de 70 dias. Ao fim do experimento, constatou-se que o carvão havia retido em seus poros 1192,34 mg de cloro, que corresponde a 149 miligramas de cloro retido por grama de carvão.

Figura 5: Adsorção de cloro em carvão de coco verde



Fonte: Autor, (2018)

5 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pirólise da fibra de coco apresenta-se como uma técnica vantajosa haja vista que além da

produção de carvão são gerados outros produtos como o líquido pirolenhoso e gás.

O elevado teor de lignina presente na fibra de coco contribui significativamente na estrutura do carvão e porosidade. O teor de voláteis pode ter contribuído significativamente com o tamanho e a forma dos poros observados nas microfotografias de MEV.

O carvão de coco produzido apresentou índice de remoção acima de 99% de cloro da solução, o que satisfaz a ABNT NBR 16098;2012, que estabelece os requisitos e métodos para melhoria da qualidade da água para consumo humano.

A fibra de coco se apresenta como uma fonte alternativa de uso energético, devido quantidade de calor gerado que pode ser confirmado pela análise de poder calorífico e por apresentar valor de carbono orgânico elevado.

A partir dos resultados obtidos, fica evidenciado o potencial da utilização do carvão de fibra de coco em ensaios de adsorção de poluentes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16098** Aparelho para melhoria da qualidade da água para uso doméstico. ABNT, 1 ed, 2012.

Brasil, IBGE. (2017). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA**. Brasília. Acesso em 08/05/2018. Disponível em www.ibge.gov.br

BRASIL. **Lei nº 594**, de 24 de dezembro de 1948. Concede favores às fábricas que se instalarem para exploração da fibra do coco, com o aproveitamento de matéria prima nacional. Diário Oficial da União - Seção 1 – Página 18461. Brasília, 29 de dezembro de 1948. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1940-1949/lei-594-24-dezembro-1948-367387-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acessado em 10 maio de 2016.

CABRAL, Mirelle Márcio Santos et al. **Aproveitamento da casca do coco verde para a produção de etanol de segunda geração**. 2015.

CARDOSO, M. S., GONÇALVEZ, J. C., **Aproveitamento da casca do coco-verde para produção de polpa celulósica**. Ciência Florestal, Santa Maria, v.26 n 1, p. 321-330. 2016

CHAVES, J. A., VIEIRA, A. P., SANTANA, S. A., BEZERRA, C. W., SILVA, H. A. de MELO, J. C., & AIROLDI, C. **Kinetics and thermodynamics of textile dye adsorption from aqueous solutions using babassu coconut mesocarp**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 166, n. 2, p. 1272-1278, 2009.

COELHO, M. A. Z., LEITE, S. G. F., ROSA, M. D. F., & FURTADO, A. A. L. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: produção de enzimas a partir da casca de coco verde. *Boletim Ceppa*, v. 19, n. 01, p. 33-42, 2001.

FIGUEIREDO, A. L. **Pirólise termoquímica de pós da fibra de coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bioóleo**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia do Petróleo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 113 p, 2011

GÓMEZ, E. O., ROCHA, J., PÉREZ, J., & PÉREZ, L **Pirólise rápida de materiais lignocelulósicos para obtenção de bioóleo**. In: CORTEZ, L.A.B; LORA, E.E.S;GOMEZ, E.O.(org). Biomassa para energia. Campinas. São Paulo. Editora Unicamp, 2011.

LEAL, C. C. A. **Avaliação da remoção do corante Remazol Black B em efluentes têxteis utilizando mesocarpo do coco verde.** Dissertação de mestrado em Engenharia Química. Universidade federal de Pernambuco, Pernambuco 2003.

MARTINS, C. R.; JESUS Jr. L. A. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio Internacional.** Documentos 184. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2014.

MOHAN, D. SARSWAT, A., Ok, Y. S., & PITTAN, C. U. **Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent—a critical review.** Bioresource technology, v. 160, p. 191-202, 2014.

PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., 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, 11, p.147-157, dez. 2014.

PEDROZA, M. M. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo.** Tese de Doutorado, Universidade do Rio Grande do Norte, 210 p, 2011.

SANTOS, G. F. de L.; ÁVILA, J. A. M. de. **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA BIOMASSA DA CASCA DO CAFÉ.** 2015.

SANTOS, K. G. **Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro: fluidodinâmica e cinética do processo.** 2011. 261 f. Tese (Doutorado em engenharia química) - Universidade Federal de Uberlândia, MG, 2011.

V. Magee; Bsc.; PhD. Thesis – London university, 1995.

Schimidt, C.G. **Desenvolvimento de Filtros de Carvão Ativado para Remoção do Cloro da Água Potável.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 10p, 2011.

WESTERHOF, R. J., BRILMAN, D. W., VAN SWAAIJ, W. P., & KERSTEN, S. R. **Effect of temperature in fluidized bed fast pyrolysis of biomass: oil quality assessment in test units.** Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 49, n. 3, p. 1160-1168, 2009.

YANG, K., PENG, J., SRINIVASAKANNAN, C., ZHANG, L., XIA, H., & DUAN, X. **Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating.** Bioresource technology, v. 101, n. 15, p. 6163-6169, 2010.

ZHANG, F; JOHNSON, D.M; JOHNSON, M.A., **Development of simulation modelo of biomass suply chain for biofuel production.** Renewable Energy. V.44, p. 380-391, 2012.