



## Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco da baía visando o armazenamento de gás natural

Ricardo Francisco Alves<sup>1</sup>; José Luiz Francisco Alves<sup>2</sup>; Erivone Soedja Veriato Mangueira<sup>3</sup>;  
Simone Ferreira Gomes<sup>4</sup>; Rênio Felix de Sena<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia de Materiais -  
[ricardo\\_alves\\_francisco@hotmail.com](mailto:ricardo_alves_francisco@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química -  
[zeluiz\\_alves@hotmail.com](mailto:zeluiz_alves@hotmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental -  
[erivone\\_soedja@hotmail.com](mailto:erivone_soedja@hotmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química -  
[simoneferreira.26@gmail.com](mailto:simoneferreira.26@gmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química -  
[rennio@ct.ufpb.br](mailto:rennio@ct.ufpb.br)

### RESUMO

O gás natural (GN) é considerado um combustível ecológico limpo constituído principalmente por metano. Para armazenamento de gás natural o processo de adsorção do gás natural permite o transporte de forma mais eficiente e econômica. O armazenamento de gás natural adsorvido (GNA) apresenta vantagens como menores pressões de trabalho, se trabalhar a temperaturas ambientes e maior segurança. Em muitas aplicações, como no armazenamento adsorvido de gás natural, o carvão ativado ganha destaque. Atualmente uma das formas de diminuir o custo de produção de carvões ativados é a utilização de precursores de fontes renováveis e de baixo custo como o endocarpo de coco, além disso agrega valor um resíduo que seria descartado no ambiente. Neste trabalho foi preparado carvão ativado utilizando como material precursor o endocarpo de coco da baía (*Cocos nucifera*) em que o  $H_3PO_4$  foi o agente químico ativante e o vapor de água o físico, sendo carbonizada a 780 °C. Para fins comparativos foi utilizado um carvão comercial. Os carvões foram caracterizados através da determinação da umidade, cinzas, pH, área superficial específica de BET, microscopia eletrônica de varredura e análise térmica. Sendo que o carvão ativado produzido apresentou área superficial de 1172 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, valor superior ao carvão comercial que foi usado como comparativo. A metodologia proposta produziu um carvão ativado com estrutura microporosa com baixo teor de cinzas e umidade e pH ácido. Por apresentar estrutura microporosa e área superficial BET elevada o carvão produzido possui potencial pra emprego no armazenamento de gás natural.

**Palavras-chave:** Carvão ativado, Gás natural adsorvido, Endocarpo de coco.

### 1. INTRODUÇÃO

O gás natural (GN) é considerado um combustível ecológico limpo oferecendo importantes vantagens ambientais quando comparado a outros combustíveis fósseis, sendo bastante

empregado como fonte de energia na maioria dos setores de energia como residencial, comercial e industrial [ANDRADE et al., 2010].

O principal componente da mistura do gás natural é o metano. Em termos de armazenamento os dois métodos mais



comuns utilizados são a liquefação à baixa temperatura, conhecido como gás natural liquefeito (GNL) e a compressão a 200-300 bar em temperatura ambiente, conhecido como gás natural comprimido (GNC) [MÉNDEZ, 2014].

O processo de adsorção do gás natural permite o transporte de forma mais eficiente e econômica [JURUMENHA, 2011]. Há, na literatura, vários estudos experimentais sobre o armazenamento de gás natural adsorvido (GNA).

Segundo Juremenha [2011] a utilização de armazenamento, via adsorção em fase gasosa, traz algumas vantagens como menor pressão interna na ordem de 35-40 bar, se trabalhar a temperaturas ambientes e maior segurança, ao ser comparado com as outras tecnologias.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de coco, estimando uma colheita de 2,8 milhões de toneladas [FENACOCO, 2013]. Logo é gerado uma grande quantidade de resíduos que se dispostos inadequadamente, contribuem no aumento dos problemas ambientais, poluindo águas e solos.

O carvão ativado é um material com estrutura altamente porosa, proporcionando uma elevada área superficial, de forma a possibilitar a adsorção de moléculas tanto em fase líquida como gasosa. Suas propriedades dependem da matéria-prima, do processo e do tempo de ativação utilizados, além da forma final do carvão (distribuição dos tamanhos de seus poros e também da geometria e tamanho da molécula do adsorvato) [YUSO et al., 2013].

Neste trabalho foi sintetizado carvão ativado utilizando um resíduo (endocarpo de coco da baía – *Cocos nucifera*) ativado quimicamente com  $H_3PO_4$  e fisicamente com vapor de água, com potencial ao armazenamento de gás natural e caracterizar sua estrutura porosa, através de análise de adsorção de  $N_2$  (g) a 77 K e MEV. Além disso, todos os carvões foram

caracterizados através da determinação de pH, teor de umidade, cinzas, densidade e análises TG.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Preparação dos carvões ativados

O resíduo sólido do fruto do coco (endocarpo) foi coletado a partir de rejeitos de padarias do comércio, localizado na cidade de João Pessoa – Paraíba. O material foi seco e triturado por meio de um moinho de martelo, resultando em uma granulometria 2,36mm. A matéria-prima foi impregnada com ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ). A concentração do agente ativante foi calculada relacionando-se a massa do agente ativante, com a massa do precursor.

A mistura foi aquecida por 40 minutos a uma temperatura de 100 °C e em seguida desidratada a 150 °C, no mesmo sistema de aquecimento. As amostras foram pirolisadas em forno elétrico rotativo (CHINO) a 780 °C, com razão de aquecimento entre 10 °C  $min^{-1}$ , sob fluxo de  $N_2$  constante de 15 L  $h^{-1}$  para manter a atmosfera inerte. O fluxo de vapor de água foi aberto quando se atingiu a temperatura do tempo de residência (780 °C), permanecendo sobre as amostras por 40 minutos. Após carbonização o material foi lavado com bastante água deionizada (quente e fria alternadamente) para eliminar o excesso do ácido. Após essa lavagem, o carvão foi seco em estufa (QUIMIS), a 110 °C, por 48 horas.

### 2.2. Caracterizações dos materiais

Os carvões preparados foram caracterizados por adsorção/dessorção de  $N_2$  a 77 K, utilizando o instrumento da MICROMERITICS, modelo ASAP 2020. A adsorção de  $N_2$  foi analisada por meio da equação BET. A morfologia dos materiais



foi estudada por análises via microscopia eletrônica de varredura (MEV), em um aparelho Jeol, CEO-1430. A análise termogravimétrica foi realizada em uma balança termogravimétrica TGA Q50 da marca TA Instruments, a razão de aquecimento foi de  $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$  com temperatura final de  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Características tais como: rendimento, pH, teor de umidade, teor de cinzas e densidade aparente também foram determinadas para todas as amostras em estudo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização Físico-Química do Carvão Ativado

##### 3.1.1. Propriedade textural: Isoterma de adsorção de nitrogênio

O comportamento da isoterma de adsorção fornece informações qualitativas preliminares sobre o mecanismo de adsorção e da estrutura porosa do carvão ativado [MEDEIROS, 2008]. As isotermas de adsorção de nitrogênio do carvão ativado proveniente do endocarpo de coco, CAE e do carvão comercial CAC são apresentada na Figura 1.

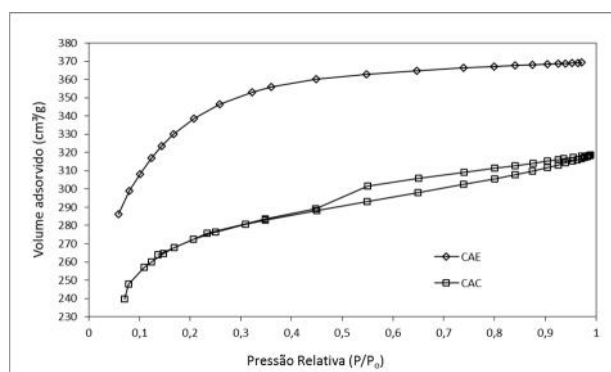


Figura 1: Isotermas de adsorção (condensação de líquido nos poros)/dessorção de  $\text{N}_2$  (g) dos carvões ativados.

De acordo com classificação proposta por Brunauer, Emmet e Teller

(BET) apresentada em Soares [2001], as isotermas de adsorção-dessorção de  $\text{N}_2$  a  $77\text{ K}$  apresentadas na Figura 1 são classificadas como isotermas do tipo I, ou seja, estão relacionadas à adsorção em microporos com superfície externa relativamente pequena onde ocorre a adsorção em monocamada [WEBB e ORR, 1997].

A isoterma do carvão CAC apresenta histerese, revelando a presença de mesoporos em sua estrutura, porém com um pequena contribuição, pois a região de histerese da isoterma é estreita [YOUSSEF, 2005; ELSAYED e BANDOSZ, 2004; LÓPEZ et al., 2003].

A isoterma correspondente ao carvão CAE apresenta maior quantidade de gás  $\text{N}_2$  adsorvido ( $280$  a  $370\text{ cm}^3\text{ g}^{-1}$ ) seguido da isotermas do CAC ( $240$  a  $320\text{ cm}^3\text{ g}^{-1}$ ) podendo ser o método de ativação utilizado nos carvão CAE a justificativa para a superioridade da área (BET) resultante, ver Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros morfológicos dos carvões ativados.

Carvão ativado	CAE	CAC
Área de superfície específica BET ( $\text{m}^2\text{ g}^{-1}$ )	1172	926
Área de microporo ( $\text{m}^2\text{ g}^{-1}$ )	1084	642
Volume de microporo ( $\text{cm}^3\text{ g}^{-1}$ )	0,501582	0,298534
Diâmetro médio dos poros (Å)	24	27
Rendimento (%)	30,955	—

Percebeu-se, também, que o CAE apresenta uma maior microporosidade característica fundamental para armazenamento de gás natural. Com um rendimento de 31 %.

##### 3.1.2. Densidade aparente, pH, cinzas e teor de umidade

A Tabela 2 apresenta os resultados da densidade aparente, pH, teor de cinzas



e teor de umidade (TU) para as análises realizadas com os carvões CAE e CAC.

Tabela 2: Caracterização dos carvões quanto a densidade, pH, cinzas e teor de umidade.

Carvão ativado	CAE	CAC
Densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ )	0,571	0,7172
pH	3,56	9,5
Cinzas (%)	3,21	3,96
TU (%)	2,77	9,67

Segundo Silva [2009] a densidade aparente dos carvões é uma propriedade que depende da natureza da matéria prima e também do processo de manufatura. Pode-se observar na Tabela 2 que o valor de densidade aparente encontrado para o carvão comercial (CAC) foi  $0,71 \text{ g cm}^{-3}$ .

O carvão CAE apresentou menor valor de densidade ( $0,57 \text{ g cm}^{-3}$ ), possivelmente esse valor é advindo do processo de ativação com o ácido fosfórico. No entanto, tal valor está dentro do previsto, pois em estudos realizados por Medeiros [2008] e Bezerra [2012], é observada uma similaridade para o referido parâmetro.

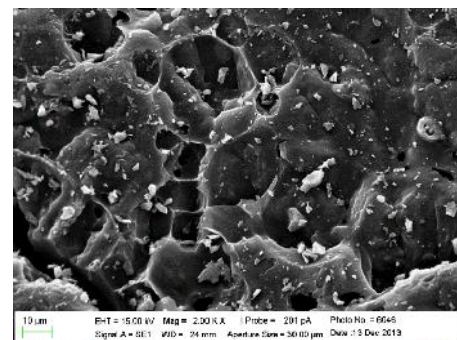
De acordo com os valores de pH dos carvões gerados em laboratório, reportados pela Tabela 2, o carvão CAE apresentou pH ácido (3,56), Já o do carvão CAC (pH= 9,50) é caracterizado por ser altamente alcalino. Os valores apresentados para pH estão concordantes com o processo realizado, visto que foi utilizado um agente ácido durante a ativação química.

Os teores de cinzas (Tabela 2) apresentaram-se satisfatórios para todos os carvões produzidos. Os baixos teores de cinzas encontrado nos carvões CAE (3,21 %) e CAC (3,96 %) é um fator positivo na obtenção de carvão ativado, pois a matéria mineral causa um efeito desfavorável sobre o processo de adsorção, adsorvendo, preferencialmente, água, devido ao caráter hidrofílico [CASTILLA, 2004; RAMOS et al., 2009].

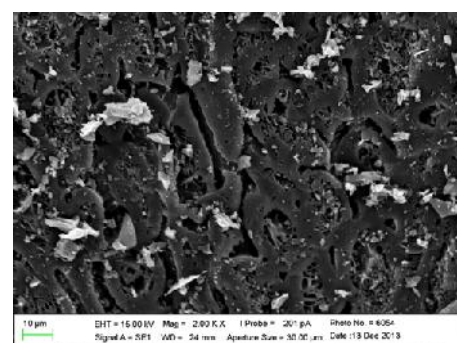
Com relação ao teor de umidade observa-se o valor obtido para o CAE (2,77 %) foi satisfatório, em comparação ao carvão comercial (9,67 %).

### 3.1.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi uma técnica empregada para observar os canais que estão relacionados ao transporte dos reagentes até a superfície dos microporos [BANDOSZ, 2006; COUTO, 2009]. As micrografias apresentadas na Figura 2 são referentes aos carvões CAE e CAC.



(a)



(b)

Figura 2: Microscopia eletrônica de varredura dos carvões: CAE (a); CAC (b).

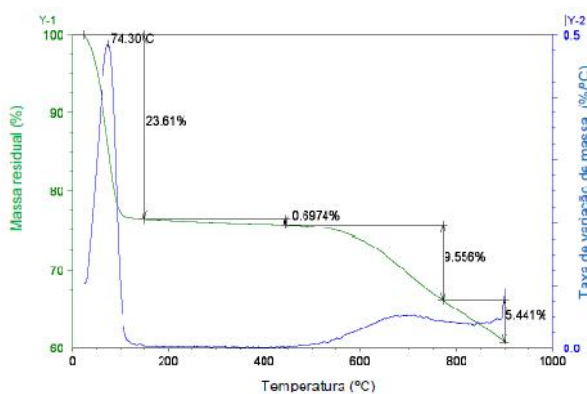
A visualização das amostras por meio de MEV, Figura 2, evidencia que o carvão CAE possui uma associação de estruturas micro e mesoporosas. Já para o CAC (b) observa-se que a superfície é mais regular e poros mais homogêneos,



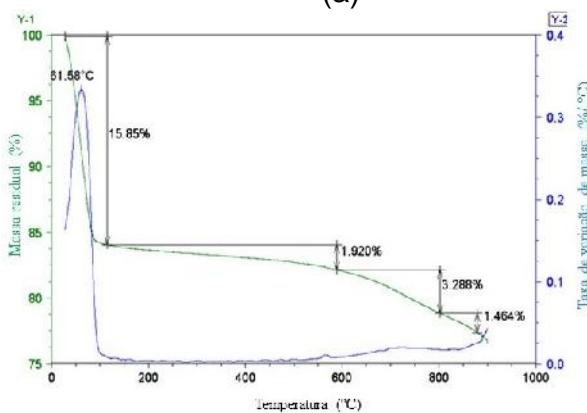
tais características podem ser provavelmente justificadas pela forma de ativação, sendo esta somente física.

### 3.1.4. Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica (TG) foi utilizada para acompanhar o perfil de degradação térmica dos materiais após a ativação. A Figura 3 apresenta a análise termogravimétrica dos carvões.



(a)



(b)

Figura 3: Curvas TG e DTG dos carvões CAE (a) e CAC (b).

Pelo gráfico (Figura 3a) ao analisar a curva do carvão ativado quimicamente com ácido fosfórico e fisicamente com vapor de água, observa-se uma perda acentuada de massa em temperatura próxima a 75 °C, a qual pode ser atribuída à perda de água e gases adsorvidos. A segunda perda de massa do carvão ocorre em aproximadamente 600 °C, devido possivelmente à degradação da

celulose e posteriormente, da lignina restante.

Como pode ser observado na Figura 3b, os eventos de degradação para o carvão comercial apresentaram estabilidade térmica similar, com temperatura de decomposição entre 600-850 °C ao ocorrido no carvão ativado com ácido fosfórico. É interessante observar também que em nenhum dos carvões estudados ocorreu 100% de perda de massa.

## 4. CONCLUSÕES

A metodologia proposta produziu resultados significativos com relação à área superficial BET, que atingiu até 1172 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> possuindo uma estrutura microporosa com baixo teor de cinzas e umidade e pH ácido. Por apresentar estrutura microporosa e área superficial BET elevada o carvão produzido possui potencial pra emprego no armazenamento de gás natural.

Além disso, o presente estudo propõe uma excelente alternativa de reaproveitamento para os resíduos do coco, possibilitando sua utilização na preparação ou produção de material de maior valor agregado e vem a minimizar o descarte inadequado desse resíduo no meio ambiente.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao programa PIBIC/CNPq e UFPB pela concessão da bolsa de Iniciação Científica e aos membros do Laboratório de Carvão Ativado (LCA) da UFPB pelo apoio durante a execução do trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. H. T.; VIEIRA, H. M.; AMORIM, J. A. de; SILVA, M. G. da; GURGEL, J. M. A. M., **Estudo teórico da caracterização do carvão ativado para adsorção de gás natural**. VI Congresso



Nacional de Engenharia Mecânica,  
Campina Grande-PB.

BANDOSZ, T. J. **Activated carbon surfaces in environmental remediation.** Academic Press, New York, USA, p. 571, 2006.

BEZERRA, A. F. **Carvão ativado de endocarpo de coco da baía produzido em forno micro-ondas.** 2012, p. 59. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. João Pessoa-PB.

CASTILLA, M. C. **Eliminación de Contaminantes Orgánicos de las aguas mediante adsorción en materiales de carbón.** Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Espanha, 2004.

COUTO, G. M. **Utilização da serragem de Eucalyptus sp. na preparação de carvões ativado.** 2009, 89p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira. Lavras-MG.

EL-SAYED, Y.; BANDOSZ, T. J. **Adsorption of valeric acid from aqueous solution onto activated carbons: role of surface basic sites.** Journal of Colloid and Interface Science, v. 273, p. 64-72, 2004.

Fenacoco: Feira Nacional do Coco, 2013. Disponível em: <<http://www.fenacoco.com.br/site/>>. Data de acesso: 29 de março de 2015. Granada, 2004.

JURUMENHA, D. de S. **Modelagem da descarga de gás natural adsorvido utilizando a técnica das equações integrais acopladas.** 2011, 88p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-

graduação em Engenharia Mecânica. Niterói-RJ.

LOPEZ, F.; MEDINA, F.; PRODANOV, M.; GÜELL, C. **Oxidation of activated carbon: application to vinegar decolorization.** Journal of Colloid and Interface Science, v. 257, p. 173-178, 2003.

MÉNDEZ, M. O. A. M. **Estudo da dinâmica de adsorção/dessorção de gás natural em carvão ativado em tanques de armazenamento.** 2014, 106p. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Campinas-SP.

RAMOS, P. H.; GUERREIRO, M. C.; DE RESENDE, E. C.; GONÇALVES M. **Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café.** Química Nova, v. 32, n. 5, p. 1139-1143, 2009.

SILVA, J. **Estudo da eficiência e aplicabilidade de carvão ativado de pirólise de casca de arroz em barreiras reativas na remoção de contaminantes em solos.** 2009, p. 202. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre-RS.

SOARES, A. G. **Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina.** 2001, 136 p. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física "Gleb Wataghin". Campinas-SP.

WEBB, P.A.; ORR, C.; **Analytical methods in fine particle technology.** Norcross: Micromeritics Instrument Corp., 1997.

YOUSSEF, A.M.; RADWAN, N. R. E.; GAWAD, I. A.; SINGER, G. A. A. **Textural properties of activated carbons from**



**apricot stones.** Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v. 252, p. 143–151, 2005.

YUSO, M. A.; IZQUIERDO, M.T.; VALENCIANO, R.; RUBIO, B. **Toluene and n-hexane adsorption and recovery behavior on activated carbons derived from almond shell wastes.** Fuel Processing Technology, v. 110, p. 1-7, 2013.