

INFLUÊNCIA DA UMIDADE RELATIVA NO AUTO-AQUECIMENTO DO CARVÃO VEGETAL

Luciane Batistella¹; Antônio Aviz²; Manoel F. M. Nogueira³; Armando A.C. Pires⁴; Patrick Rousset⁵

RESUMO:

O auto-aquecimento e combustão espontânea do carvão é um problema sério em indústrias relacionadas com carvão. Os fatores que causam o auto-aquecimento são ainda pesquisados e discutidos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o auto-aquecimento do carvão vegetal submetido a diferentes umidades relativas. Para tanto, um aparato experimental foi desenvolvido para avaliar a adsorção de umidade e variação da temperatura dos carvões. A avaliação da variação da temperatura durante a adsorção de água foi capaz de indicar a ocorrência do auto-aquecimento de duas amostras de carvão vegetal (madeira de carvalho e um bambu). O ambiente com umidade relativa controlada em 90% provocou aquecimento de 5,3 °C para o carvão vegetal de carvalho e 4,4 °C para o carvão de bambu. O calor gerado durante a adsorção de água pode ser um causador de combustão espontânea do carvão vegetal.

Palavras chave: carvão; aquecimento; adsorção de água.

1.0 INTRODUÇÃO

Obtido a partir da carbonização da madeira, o carvão vegetal é uma das fontes de energia utilizadas no mundo. O carvão é empregado como combustível para lareiras, churrasqueiras, fogões a lenha e em alguns setores da indústria, como siderúrgicas e metalúrgicas. O problema enfrentado pelas indústrias que produzem ou utilizam o carvão vegetal é a possível ocorrência de auto-aquecimento, causando a combustão espontânea.

O auto-aquecimento é o processo pelo qual os materiais alcançam temperaturas mais elevadas do que o ambiente devido à ocorrência de reações exotérmicas internas. Se o aumento de temperatura interna é suficientemente elevado para causar a fuga térmica, o sistema é dito para ser capaz de auto-aquecer e entrar em combustão Wolters et al. (2003). Incêndios devido ao auto-aquecimento do material sólido constituem um risco potencial durante o armazenamento e transporte.

Para os carvões, alguns dos fatores mais importantes indicados como causadores da combustão espontânea, são a mudança no teor de umidade do ambiente, a temperatura, a taxa de fluxo de ar, o tamanho de partícula, alto conteúdo de matéria volátil, porosidade Miura (2015) e Sipilä et al. (2012). As interações entre o vapor de água e carvão podem ser exotérmica ou endotérmica, onde a água condensa ou evapora. A condensação do vapor da água na superfície e poros do carvão resulta em aumento de temperatura devido o ganho de calor de condensação Zang, et al. (2016).

Vista a correlação entre a umidade do ambiente e o aumento da temperatura do carvão vegetal, este trabalho tem como objetivo avaliar o auto-aquecimento do carvão vegetal submetido a diferentes umidades relativas. Os ambientes com umidade controlada irão reproduzir as condições de armazenamento em que o carvão pode ser armazenado na indústria.

1 Doutora em Engenharia Química - Universidade Federal do Pará - batistella.luciane@gmail.com

2 Aluno de graduação em Química Licenciatura - Universidade Federal do Pará - antonioaviz@gmail.com

3 Doutor em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Pará - mfmn@ufpa.br

4 Doutor em Engenharia Química - Universidade de Brasília - armandcp@unb.br

5 Doutor em Ciência Florestal e da Madeira - Centro Internacional de Cooperação em pesquisa Agrônômica e para o Desenvolvimento (CIRAD) - patrick.rousset@cirad.fr

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostras carbonizadas

As amostras carvão vegetal avaliadas neste trabalho foram obtidas pela carbonização de uma madeira e um bambu. A madeira trata-se de uma espécie de carvalho, chamada *Quercus pubescens Willd.* A amostra de Bambu utilizada é denominada *Dragon bamboo*. As amostras carbonizadas foram caracterizadas quanto à análise imediata, composição elementar, poder calorífico e área superficial.

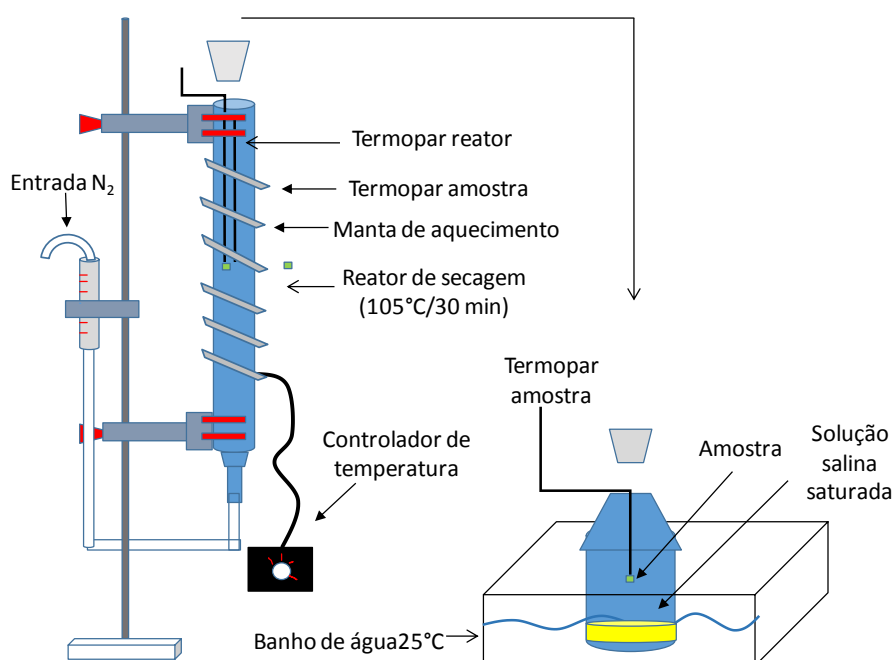
2.2 Auto-aquecimento do carvão vegetal através da adsorção de água

Os ensaios de avaliação do auto-aquecimento das amostras foram realizados através da simulação das situações em que a biomassa seca é exposta em ambiente com umidade relativa controlada. Para tanto, diferentes soluções salinas saturadas foram preparadas e armazenadas em frascos fechados sob temperatura de 25 °C. O frasco vedado e a temperatura do ambiente controlada garantem a que umidade relativa no interior do frasco seja estável. As soluções salinas saturadas e as respectivas umidades relativas obtidas a 25 °C foram preparadas com acetato de potássio (U: 22,6%), carbonato de potássio (U: 43,2%), cloreto de sódio (U: 75,3%) e cloreto de bário (U: 90,2%). As soluções foram preparadas em frascos de vidro (1,0 L) com água destilada, em seguida fechados com tampas de borracha e armazenados imerso num banho de água a 25 °C.

As amostras de madeira e bambu carbonizadas foram avaliadas na forma de pedaços (cubos) com massas de 0,1 g e 1,0 g. Para medir as alterações de temperatura durante o tempo em que a amostra foi exposta as diferentes umidades relativas, um termopar do tipo K de 0,5 mm de diâmetro foi inserido no meio do pedaço de biomassa. A variação de temperatura foi monitorada por meio de um data logger modelo A202 (Contemp).

O procedimento adotado consistiu em secar os pedaços de amostra em temperatura de 105 °C e fluxo de 0,5 L·min⁻¹ de N₂. Depois de seca, a amostra foi retirada do secador e rapidamente exposta ao ambiente com umidade controlada das soluções salinas saturadas. Todos os experimentos foram realizados em duplicata. A Figura 1 mostra um esquema da configuração utilizada para avaliar o auto-aquecimento do carvão vegetal por exposição à umidade relativa.

Figura 1: Representação esquemática do aparato experimental utilizado para a medição da alteração de temperatura da amostra por exposição à atmosfera controlada.



2.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 Caracterização das amostras de carvão vegetal

Os resultados da análise imediata, elementar, poder calorífico e área superficial (BET) das amostras de carvão vegetal de carvalho e bambu avaliadas são apresentados na Tabela 1. De maneira geral, pode ser observado que o carvão vegetal produzido com a madeira carvalho contém maior teor de carbono elementar e fixo quando comparado com o Bambu. O alto conteúdo de carbono, associado com baixa concentração de oxigênio são responsáveis pelo maior poder calorífico do carvão vegetal de carvalho. Além disso, o carvão vegetal de carvalho apresentou a maior área superficial, ou seja, esta amostra possui maior superfície de contato com o vapor de água.

Tabela 1- Resultados das análises imediata, elementar e poder calorífico das amostras carvão vegetal de carvalho (*Quercus pubescens Willd*) e bambu (*Dragon bamboo*).

| Análises | Carvalho | Bambu |
|---|----------|-------|
| Análise Imediata [% ,b.s.^a] | | |
| Matéria volátil | 12,66 | 15,57 |
| Carbono fixo | 86,81 | 77,85 |
| Cinzas | 0,53 | 6,58 |
| Análise Elementar [% , l.u.c.^b] | | |
| C | 89,60 | 82,20 |
| H | 2,33 | 1,55 |
| N | 0,52 | 0,49 |
| O ^c | 7,55 | 15,76 |
| PCS ^d [MJ·kg ⁻¹] | 33,86 | 30,37 |
| BET ^e (m ² ·g ⁻¹) | 292,00 | 40,00 |

^a Base seca; ^b Base livre de umidade e cinza; ^c Calculado por diferença; ^d Poder calorífico superior; ^e Área de superfície por isoterma Brunauer, Emmett e Teller (BET).

2.2 Auto-aquecimento do carvão vegetal através da adsorção de água

Os perfis de variação da temperatura das amostras de carvão vegetal de carvalho e bambu (previamente secas) mantidas em ambiente com umidade relativa controlada a 25 °C são mostrados na Figura 2.

Figura 2- Variação de temperatura da amostra de carvão vegetal de carvalho exposto em diferentes umidades relativas a 25 °C. a) a) carvão de 0,1 g; b) carvão de 1,0 g.

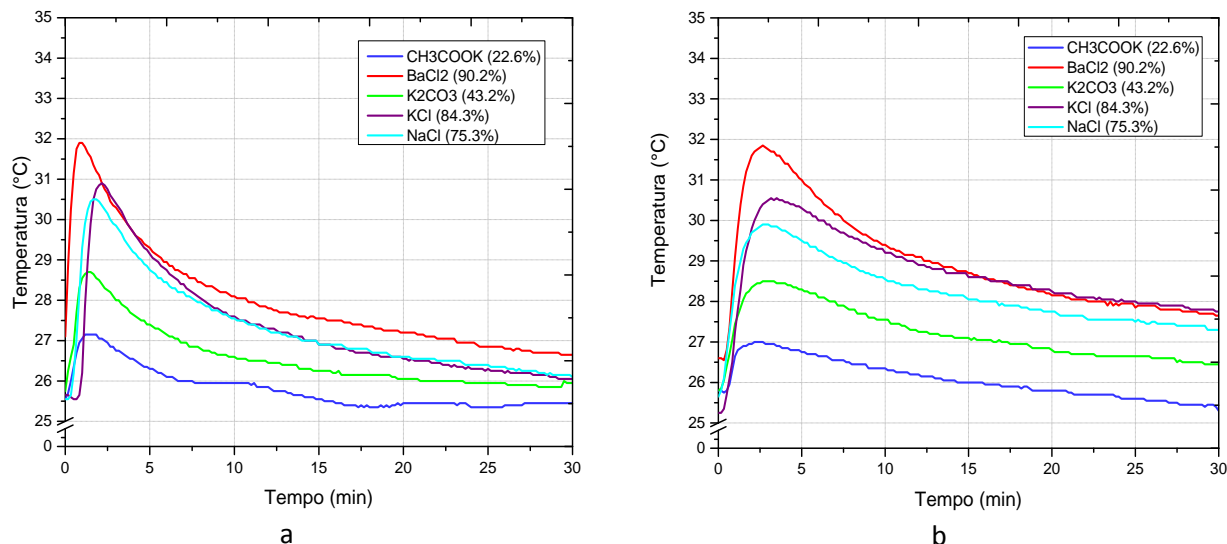
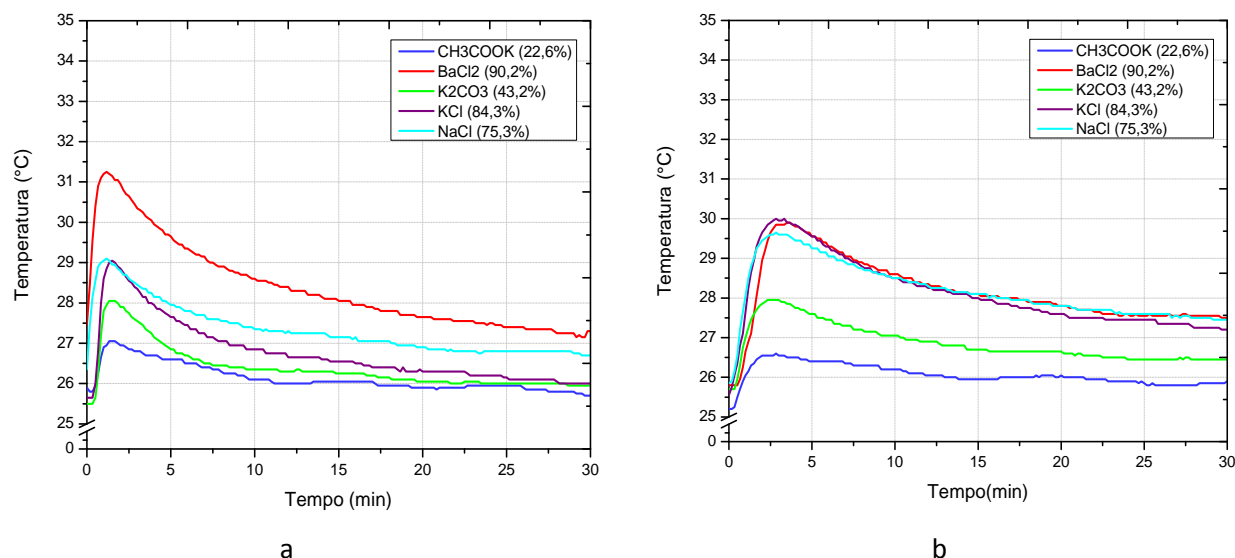


Figura 3- Variação de temperatura da amostra de carvão vegetal de bambu exposto em diferentes umidades relativas a 25 °C. a) carvão de 0,1 g; b) carvão de 1,0 g.



Por meio dos resultados apresentados na Figura 2 e 3 (a-b) pode ser observado que aumentando a umidade relativa do ambiente ocorre um aumento da temperatura das amostras de carvão vegetal de carvalho e bambu. Desta forma, a tendência de aumento da temperatura das amostras seguiu a seguinte ordem crescente de umidade fornecida por cada solução salina saturada: CH_3COOK (22,6%) < K_2CO_3 (81,3%) < NaCl (75,3%) < KCl (84,3%) < BaCl_2 (90,2%).

Quando as amostras dos carvões vegetais secos foram introduzidas no ambiente com umidade controlada foi observado um rápido aumento da temperatura, alcançando picos máximos de temperatura em torno de três minutos. O rápido aumento da temperatura pode ser associado à ligeira adsorção de água. De acordo com os perfis de temperatura apresentados na Figura 2 e 3, o ambiente com umidade relativa de 90% causou o maior aquecimento das amostras de carvão. A temperatura do carvão vegetal de carvalho passou de 26,6 °C para 31,85 °C, e para o carvão de bambu o aumento foi de 25,8 °C para 29,9 °C, em ambiente com umidade de 90%. O carvão de carvalho possui a maior área superficial ($292,0 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$), sendo capaz de adsorver a maior quantidade de água e conseqüentemente, apresenta o maior aumento de temperatura. O calor gerado aquece a própria amostra, bem como, as partículas que se encontram aos arredores.

Após ter alcançado o pico máximo, a temperatura da amostra decresceu vagarosamente ao longo dos 30 minutos avaliados. A temperatura diminui gradualmente, pois a taxa de dissipação de calor excede a taxa de geração de calor. Pode ser observado que a perda de calor das amostras de

1,0 g ocorre mais lentamente quando comparada com as amostras de 0,1 g, isto ocorreu devido a diferença da área de contato entre as amostras.

O aumento da temperatura das amostras de carvão está associado com a adsorção de água proveniente do ambiente produzido pela solução salina saturada. A umidade do ambiente condensa na superfície e nos poros do carvão vegetal (previamente seco) liberando energia (calor latente de condensação), isto causa o auto-aquecimento da amostra. O auto-aquecimento pode levar a uma combustão ou explosão, se a temperatura for superior a uma temperatura crítica.

3.0 CONCLUSÕES

O possível aumento da temperatura de amostras sólidas provocado pela adsorção de vapor de água foi avaliado para duas amostras de carvão vegetal (carvalho e bambu). Um aparato experimental foi desenvolvido para avaliar a adsorção de umidade e variação da temperatura dos carvões. O ambiente com umidade relativa de 90% provocou aquecimento de 5,3 °C para o carvão vegetal de carvalho e 4,4 °C para o carvão de bambu. O calor gerado durante a adsorção de água aqueceu a própria amostra aumentando o risco de combustão espontânea.

4.0 AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo apoio financeiro ao projeto e a Universidade Federal do Pará e o Cirad (Centro Internacional de Cooperação em pesquisa Agrônômica) pelo apoio a pesquisa.

4.0 REFERÊNCIAS

MIURA, K., Adsorption of water vapor from ambient atmosphere onto coal fines leading to spontaneous heating of coal stockpile. **Energy Fuels**, v. 30, p 219–229, 2016.

SIPILÄ, J., AUERKARI, P., HEIKKILÄ, A-M., TUOMINEN, R., VELA, I., ITKONEN, J., RINNE, M., AALTONEN, K., Risk and mitigation of self-heating and spontaneous combustion in underground coal storage. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 25, p. 617-622, 2012.

WOLTERS, F.C.; PAGNI,P.J.; FROST, T.R.; CUZZILLO, B.R., Size constraints on self ignition of charcoal briquets. **Fire safety science--proceedings of the seventh international symposium**, p. 593-604, 2003.

ZANG, J.; REN, T.; LIANG, Y.; WANG, Z., A review on numerical solutions to self-heating of coal stockpile: Mechanism, theoretical basis, and variable study. **Fuel**, v. 182, p. 80-109, 2016.