

Artigo

Biochar de Palha de Cana-de-Açúcar: Caracterização e Estudo do Processo

Pires, I. C. S. A.; Nakashima, G. T.; Padilla, E. R. D.; Santos, L. R. O.;
Varanda, L. D.; Alesi, L. S.; Yamaji, F. M.*

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (4), no prelo. Data de publicação na Web: 4 de julho de 2018

<http://rvq.sbq.org.br>

Biochar of Sugarcane Straw: Characterization and Study of the Process

Abstract: Degradation of residues from plant biomass generates greenhouse gases (GHG), such as CO₂. Many researches seek to use these residues to mitigate the environmental damages of this decomposition. An alternative is to apply the pyrolysis (thermal degradation with oxygen limitation) of biomass. The residue is transformed into biochar (charcoal or biochar), a carbon rich material which decomposes more slowly than in natura. Biochar is mainly used as a conditioner, its properties can increase the pH and retain water. This work presents biochar production from sugarcane straw (residual biomass) trying conditions to obtain more expressive values for gravimetric yield and fixed carbon content. The methodology consisted of collecting the material in the field, characterize the sugarcane straw, drying, crushing and perform the granulometric distribution. Different conditions of sugarcane straw pyrolysis were carried out, changing the temperature: T1: 200°C, T2: 300°C, T3: 400°C and T4: 250°C all kept in a muffle for 3 hours. The most satisfactory condition was at 250°C, resulting in 51.39% of fixed carbon and 36,00% of gravimetric yield. The production of biochar from sugarcane straw proved to be an attractive alternative to the destination of this residue, due to its abundance in the field, thus obtaining a use of sugarcane straw.


Keywords: Biomass; Pyrolysis; Fixed Carbon.

Resumo

A degradação dos resíduos de biomassa vegetal geram gases de efeito estufa (GEE), como o CO₂. Muitas pesquisas buscam empregar estes resíduos afim de mitigar os danos causados, uma das alternativas para diminuir os impactos gerados por essa decomposição é o emprego da técnica de pirólise (degradação térmica com limitação de oxigênio) à biomassa. O resíduo é transformado em biochar (carvão vegetal ou biocarvão), material rico em carbono, esse produto, se decompõe mais lentamente que a biomassa *in natura*. O principal emprego do biochar, é de condicionador do solo, entre suas propriedades se destacam as de elevar o pH, e reter água. Este trabalho apresenta a produção de biochar a partir da palha de cana-de-açúcar (biomassa residual), onde se buscou as condições para se obter, valores mais expressivos para o rendimento gravimétrico e teor de carbono fixo. A metodologia aplicada consistiu na caracterização da palha de cana-de-açúcar, coleta de material no campo, secagem, trituração e distribuição granulométrica. Foram realizadas diferentes pirólises da palha da cana-de-açúcar variando a temperatura utilizada em T1-200°C, T2-300°C, T3-400°C e T4-250°C, todas mantidas em mufla por 3 horas. A condição mais satisfatória observada entre as temperaturas estudadas foi a de 250°C, onde se obteve 51,39% de carbono fixo e 36,00% de rendimento gravimétrico. A produção de biochar oriundo da palha de cana-de-açúcar se mostrou uma alternativa atrativa para o destino deste resíduo, devido sua abundância no campo, obtendo assim um aproveitamento da palha da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Biomassa; Pirólise; Carbono Fixo.

* Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Rodovia João Leme dos Santos, Km 110, Itinga, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil.

 fmyamaji@ufscar.br

DOI:

Biochar de Palha de Cana-de-Açúcar: Caracterização e Estudo do Processo

Isis C. S. A. Pires, Gabriela T. Nakashima, Elias R. D. Padilla, Luis R. O. Santos, Luciano D. Varanda, Letícia S. Alesi, Fábio M. Yamaji*

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Rodovia João Leme dos Santos, Km 110, Itinga, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil.

* fmyamaji@ufscar.br

Recebido em 15 de abril de 2018. Aceito para publicação em 4 de julho de 2018

1. Introdução
2. Material e Métodos
 - 2.1. Material
 - 2.2. Métodos
3. Resultados e Discussão
4. Conclusão

1. Introdução

A biomassa vegetal é todo material provindo de fonte renovável, podendo ser usada como fonte de energia, pode ser obtida a partir de plantios, resíduos das colheitas agrícolas, podas e serrarias.^{1,2}

Nem sempre as plantas são consumidas em sua totalidade, gerando resíduos, podendo citar como exemplos a cana-de-açúcar, que gera a palha e o bagaço.³ A degradação desses resíduos de biomassa *in natura* liberam gases de efeito estufa (GEE), como o CO₂.⁴

O Brasil é um grande produtor de cana-de-açúcar. A safra 2015/2016 registrou 571.344 mil toneladas, sendo que para cada tonelada de cana-de-açúcar colhida, há uma geração de 140kg de palha.^{5,6} Há vários

estudos sobre aplicações dessa palha, entre eles a utilização como biocombustível.⁷

Apesar desse resíduo ser utilizado para produção de energia térmica, ainda existe um desafio para destinar de forma correta todo o excedente do resíduo de palha de cana-de-açúcar.⁸ Uma das alternativas para mitigar o impacto ambiental é a transformação desta biomassa em biochar. O biochar é definido como um biocarvão rico em carbono (carbono fixo), cuja degradação é mais lenta que a da biomassa *in-natura*, e ainda traz benefícios ao solo.^{9,10}

Há muitos estudos sobre a interação do biochar no solo. Pesquisas mostram que sua aplicação melhora o crescimento do plantio. Quando o biochar é adicionado ao solo, desempenha seu condicionamento, sendo que suas principais características são a elevação do pH e retenção de água.¹¹

O tipo de aplicação é o que diferencia o biochar do carvão comercial. Enquanto o carvão comercial é empregado como fonte de energia térmica, o biochar é aplicado ao solo como insumo agrícola.¹² Além das funções já conhecidas, o potencial de fixar carbono vem sendo investigado.¹³ Pois a transformação do resíduo de biomassa, em um material que fixa carbono pode ser muito interessante para o meio ambiente.⁹

As técnicas para a conversão da biomassa podem ser divididas em dois grupos: conversões bioquímicas e as conversões termoquímicas. As conversões termoquímicas são subdivididas em combustão, gaseificação e pirólise.¹⁴ A pirólise é uma degradação térmica da biomassa com ausência de oxigênio.¹⁵ As condições em que a pirólise é aplicada interfere diretamente no tipo de produto resultante.^{16,14} Deste modo, para a obtenção do biochar, as condições como o tempo e a temperatura podem variar.¹⁷

O objetivo desse trabalho foi encontrar as melhores condições de temperatura para a produção de biochar de palha de cana-de-açúcar, por meio da técnica de pirólise.

2. Material e Métodos

2.1. Material

O material utilizado foi a palha de cana-de-açúcar, coletado na fazenda Corredeira no município de Ibaté com coordenadas de latitude 21° 57' 17" S e longitude 47° 59' 48" W. A palha foi retirada de um silo, onde tinha sido armazenada após passar por limpeza mecânica e trituração.

A escolha se baseou na abundante disponibilidade do material, bem como os teores de compostos lignocelulósicos contidos na palha de cana-de-açúcar, lignina

19% e celulose 44,5% os quais favorecem a formação do biochar.¹⁸

2.2. Métodos

2.2.1. Secagem, trituração e distribuição granulométrica

O material teve preparação antes dos tratamentos, sendo triturado em um triturador modelo TM-05 da Marca Lippel, os tamanhos das partículas foram separados com o uso de um peneirador com batidas inermitentes modelo MA-75 da marca Marconi. As peneiras seguiram uma sequência de abertura de 4,0 mm; 2,0 mm; 1,19 mm; 0,25 mm e fundo, e o tempo de peneiração foi de 2 minutos. As partículas retidas entre as peneiras de 2,0 mm e 1,19 mm foram secas em estufa a 105±2°C até massa constante e com estas partículas deu-se sequência aos tratamentos.

2.2.2. Tratamentos

Após a preparação da palha, a mesma foi colocada em cadinhos até o limite de seu volume e tampados. Realizou-se todos os tratamentos em triplicata, permanecendo o material, no interior da mufla por três horas, com uma taxa de aquecimento de 10°C/minuto. A temperaturas de operação da mufla variaram para cada tratamento, sendo os seguintes tratamentos: T1-200°C, T2-300°C e T3-400°C. O tempo de permanência no interior da mufla começou a ser contado, a partir do momento em que a temperatura do respectivo tratamento era alcançada.

Os tratamentos foram realizados em uma mufla modelo 0212 da marca Jung, sendo anexada a mufla um pequeno sistema, para reter parte dos gases liberados na degradação, como mostra a Figura 1.



Figura 1. Mufla adaptada para captação de gases

2.2.3. Análise Imediata

Todas as amostras de biochar foram submetidas a análise imediata, seguindo a norma ASTM D1762-84.¹⁹ As amostras foram previamente secas em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante, com os cadinhos já calcinados.

Para determinar o teor de voláteis, foi pesado 1g do material. O cadinho tampado foi colocado na mufla a 950°C por 7 minutos. Após o tempo de volatilização, o cadinho resfriou em dessecador e foi pesado. A Equação (1) foi utilizada para o cálculo do teor voláteis.

$$TV = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} * 100 \quad (1)$$

Onde: TV= teor de voláteis (%); m_i = massa inicial (g); e m_f = massa final (g).

Para determinar o teor de cinzas, foi pesado o cadinho já utilizado para teor de voláteis. O cadinho aberto foi colocado na mufla a 750°C por 6 horas. Após o tempo de carbonização, o cadinho foi pesado e resfriado em dessecador. A Equação (2) foi utilizada para o cálculo do teor de cinzas.

$$TC = \frac{m_f}{m_i} * 100 \quad (2)$$

Onde: TC= teor de cinzas (%); m_i = massa inicial (g); e m_f = massa final (g).

A partir dos teores de voláteis e cinzas, foram calculados os teores de carbono fixo das amostras utilizando a Equação (3).

$$TCF = 100 - (TV + TC) \quad (3)$$

Onde: TCF= teor de carbono fixo (%); TC= teor de cinzas (%); e TV= teor de voláteis (%).

2.2.4. Rendimento Gravimétrico

O rendimento gravimétrico (RG) de produção de biochar foi calculado empregando-se a equação 4:

$$RG = \frac{M_1}{M_2} * 100 \quad (4)$$

Onde: RG= Percentual de rendimento gravimétrico da produção de biochar; M_1 = Massa de biochar formada para cada temperatura (g); e M_2 = Massa seca (g).

3. Resultados e Discussão

Por intermédio dos resultados obtidos, tornou-se possível produzir o biochar a partir do resíduo da palha de cana-de-açúcar, conforme Figura 2.

Os teores de carbono fixo e o rendimento gravimétrico mostraram ser inversamente proporcionais conforme apresenta a Tabela

1. Quanto maior tempo de permanência e quanto mais alta a temperatura da mufla, maior a perda de massa, devido a decomposição térmica do material.^{20,21} Os resultados da análise imediata no qual as amostras foram submetidas estão expostas na Tabela 1.

As análises de variância e o teste de Tukey, mostraram que os tratamentos diferem entre si, com 95% de confiança.



Figura 2. Amostras com biochar produzido a partir da palha de cana-de-açúcar

Tabela 1. Resultado da análise imediata dos tratamentos realizados

Tratamentos	Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)	Rendimento	
				Gravimétrico (%)	
T1 - 200°C/ 3h	49,07±0,56	8,94±0,33	41,98±0,98	55,16±1,94	
T2 - 300°C/ 3h	25,10±0,78	15,30±0,21	59,59±0,95	30,40±0,49	
T3 - 400°C/ 3h	17,79±0,55	17,42±0,54	64,77±1,17	25,12±0,41	

Os resultados do teor de carbono fixo são maiores quando a biomassa é submetida a temperaturas superiores a 300°C, conforme as temperaturas utilizadas nos tratamentos T2 e T3.

A melhor condição para a produção de biochar de palha de cana-de-açúcar consiste em maior rendimento gravimétrico e maior

teor de carbono fixo. Para obtenção destes resultados, faz-se necessário confrontar estes dados. Para essa análise foi gerado um gráfico (Figura 3), onde estes resultados foram compilados, a fim de se obter um ponto de intersecção, no qual é entendido como ponto de equilíbrio entre os resultados obtidos.

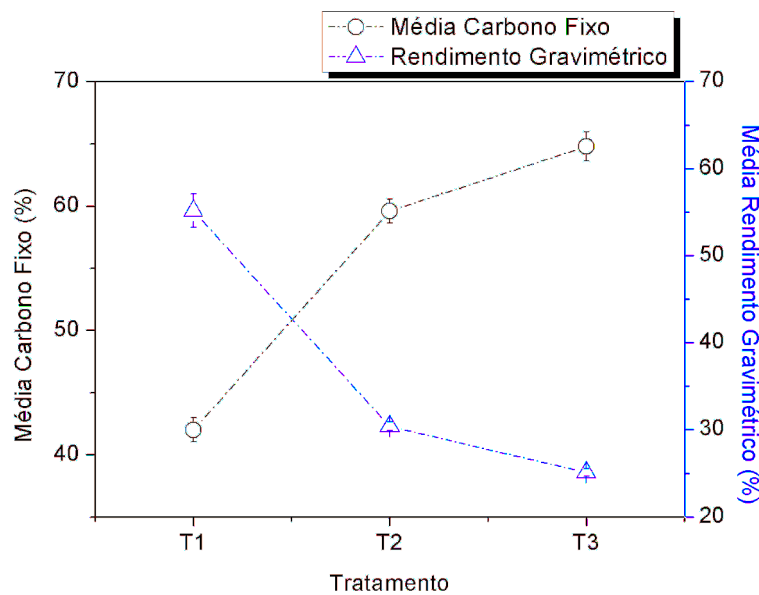


Figura 3. Gráfico do teor de carbono fixo e rendimento gravimétrico para os diferentes tratamento realizados

A partir da Figura 3, faz-se possível entender, qual a condição de pirólise é a mais adequada para aplicação na palha de cana-de-açúcar. Se traçar uma linha perpendicular ao eixo x na intersecção das retas encontra-se a temperatura aproximadamente de 250 °C.

Com a obtenção desse valor, após traçar o ponto adequado, encontrado na Figura 3, foi realizado então o T4, onde as condições de pirólise foram de 250°C permanecendo o tempo de 3 horas. Os resultados podem ser observados conforme mostra a Tabela 2 e a Figura 4.

Tabela 2. Valores obtidos para T4 – temperatura de 250°C e tempo de 3h

Tratamentos	Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)	Rendimento
				Gravimétrico (%)
T4 - 250°C/ 3h	32,16±0,78	16,43±0,53	51,39±0,92	36,00±1,45

De acordo com a Tabela 2, o resultado do teor de carbono fixo obtido no T4 (250°C/ 3h) é maior que o resultado obtido para o biochar produzido a partir da madeira do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* VAR VR3709¹³ a 250°C por 4 horas (22,3%).

Ainda para o T4, o rendimento gravimétrico obtido neste estudo (36,00%) é

menor que o rendimento gravimétrico de 79,80%, obtido no estudo do biochar produzido a partir da madeira do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* VAR VR3709.¹³

Os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados graficamente na Figura 4.

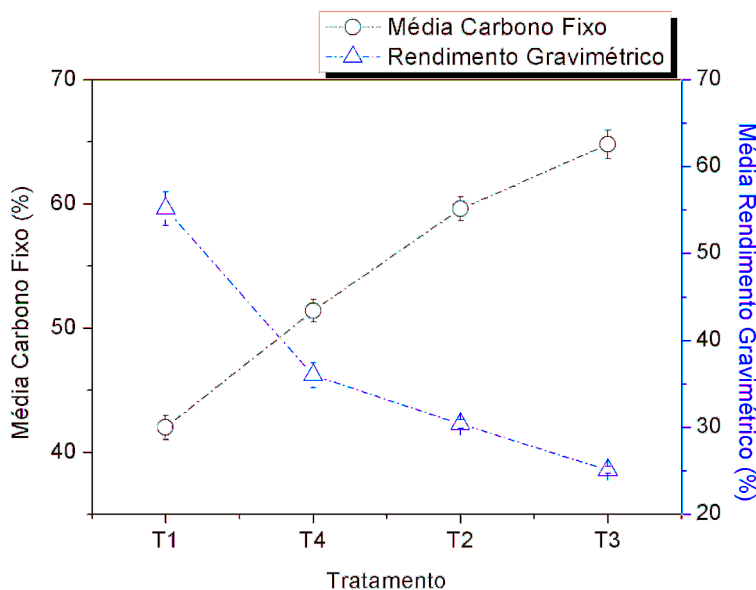


Figura 4. Gráfico do teor de carbono fixo e rendimento gravimétrico para todas as condições estudadas

4. Conclusão

A utilização da palha de cana-de-açúcar apresentou elevado potencial para a produção de biochar, constatado que nos três tratamentos obteve-se a formação de biochar. Por outro lado, nenhum dos tratamentos apresentou melhores condições de pirólise, porém os resultados obtidos apontaram para a temperatura de 250°C e tempo de 3 horas, como a alternativa mais viável.

As análises revelaram que o biochar produzido nas condições de 250°C/3h, apresentou as melhores condições, pois permitiu-se obter um biochar rico em carbono fixo, apresentando elevado potencial para fixar carbono, atendendo assim sua principal finalidade, de contribuir para a fixação de carbono junto ao solo. Ao mesmo tempo, buscou-se obter elevado rendimento de produção de biochar, tornando assim viável sua aplicação no campo. A produção de biochar a 250 °C pode ser considerada uma pirólise com temperatura relativamente baixa em comparação com a utilizada para carvão com finalidades energéticas, o que minimiza o

custo operacional para a produção de biochar.

Referências Bibliográficas

- Demirbas, A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy conversion and management* **2001**, *42*, 1357. [CrossRef]
- Cai, J.; He, Y.; Yu, X.; Banks, S.W.; Yang, Y., Zhang, X.; Yu, Y.; Liu, R.; Bridgwater, A. V. Review of physicochemical properties and analytical characterization of lignocellulosic biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2017**, *76*, 309. [CrossRef]
- Paulo, H.; Azcuea, X.; Barbosa-Póvoa, A. P.; Relvas, S. Supply chain optimization of residual forestry biomass for bioenergy production: The case study of Portugal. *Biomass and Bioenergy* **2015**, *83*, 245. [CrossRef]
- Thangarajan, R.; Bolan, N. S.; Tian, G.; Naidu, R.; Kunhikrishnan, A. Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil. *The Science of the Total Environment* **2013**, *465*, 72. [CrossRef]

- ⁵ Conab. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar safra 2015/16; Relatório Técnico. Brasília, **2016**. [\[Link\]](#)
- ⁶ Hassuani, S. J.; Leal, M. R. L. V.; Macedo, I.; Biomass power generation: Sugar cane bagasse and trash, 1a. ed., Published by Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento *Centro de Tecnologia Canavieira*: Piracicaba, Brazil, 2005. [\[Link\]](#)
- ⁷ Goldemberg, J.; Lucon, O. Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados* **2007**, *21*, 7. [\[CrossRef\]](#)
- ⁸ Rossetto, R. Árvore do Conhecimento-Cana-de-Açúcar . Queima. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_92_22122006154841.html>. Acesso em: 14 setembro 2016.
- ⁹ Machado, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova* **2005**, *28*, 329. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁰ Purakayastha, T. J.; Kumari, S.; Pathak, H. Characterisation, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues. *Geoderma* **2015**, *239*, 293. [\[CrossRef\]](#)
- ¹¹ Buss, W.; Graham, M. C.; Shepherd, J. G.; Masek, O. Suitability of marginal biomass-derived biochars for soil amendment. *Science of the Total Environment* **2016**, *547*, 314. [\[CrossRef\]](#)
- ¹² Jeffery, S.; Verheijen, F. G. A.; Velde, M. van der.; Bastos, A. C.; A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **2011**, *144*, 175. [\[CrossRef\]](#)
- ¹³ Róz, A. L. da; Ricardo, J. F. C.; Nakashima, G. T.; Santos, L. R. O.; Yamaji, F. M. Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2015**, *19*, 810. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁴ Tripathi, M.; Sahu, J.N.; Ganesan, P. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2016**, *55*, 467. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁵ Demirbas, A.; Arin, G. An Overview of Biomass Pyrolysis. *Energy Sources* **2002**, *24*, 471. [\[Link\]](#)
- ¹⁶ Onay, O.; Kockar, O. M. Slow, fast and flash pyrolysis of rapeseed. *Renewable Energy* **2003**, *28*, 2417. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁷ Lehmann, J.; Gaunt, J.; Rondon, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **2006**, *11*, 403. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁸ Santos, F. A.; Queiroz, J. H.; Colodette, Jorge L.; Manfredi, M. ; Queiroz, M. E. L. R.; Caldas, C. S.; Soares, F. E. F. Otimização do pré-tratamento hidrotérmico da palha de cana-de-açúcar visando à produção de etanol celulósico. *Química Nova* **2014**, *37*, 56. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁹ ASTM D1762-84 - Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁰ Mimmo, T.; Panzacchi, P.; Baratieri, M.; Davies, C.A.; Tonom, G. Effect of pyrolysis temperature on miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) biochar physical, chemical and functional properties, *Biomass and Bioenergy* **2014**, *62*, 149. [\[CrossRef\]](#)
- ²¹ Antal MJ, Grønli M. The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial & Engineering Chemistry Research* **2003**, *42*, 1619. [\[CrossRef\]](#)