

## UTILIZAÇÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR TORRIFICADA COMO BIOCOMBUSTÍVEL NA GERAÇÃO DE ENERGIA

Erica Leonor Romão\*, Fernando Spinola Espirito Santo Lourenço

\* Universidade de São Paulo (EEL/USP)

### RESUMO

A utilização de biocombustíveis a partir de fontes renováveis vem sendo muito valorizada por ser uma alternativa para geração de energia, em substituição aos combustíveis oriundos do petróleo. Esse é um dos principais motivos que justificam a mudança de matriz energética devido a escassez das reservas de petróleo e a redução de emissão de gases estufa. Com o aumento da produção de etanol, a produção média de cana-de-açúcar no Brasil está na ordem de 85 toneladas por hectare, estima-se que a cada tonelada de cana-de-açúcar produzida, gera-se 140 kg de bagaço e 140 kg de palha, em base seca, levando a uma geração de 12 toneladas de palha por hectare. Nos tratamentos de torrefação realizados nesse trabalho, nas temperaturas de 240°C, 260°C e 280°C durante 30 ou 60 minutos, os resultados mostraram que a biomassa torrificada obteve poder calorífico superior de 22,5 MJ/kg, equivalente a 1,32 vezes maior em relação a palha de cana “in natura” e teor de carbono fixo da ordem de 35% na temperatura de 280°C por 60 minutos. Entre os diferentes tratamentos realizados, a temperatura de 260°C obteve o resultado mais favorável considerando o ganho energético da ordem de 21,0 MJ/kg e média de 66% de biomassa torrificada produzida, visando sua aplicação como biocombustível.

**PALAVRAS-CHAVE:** palha de cana-de-açúcar, torrefação, biocombustível, resíduo lignocelulósico.

### ABSTRACT

The use of biofuels from renewable sources has been highly valued as an alternative for energy generation, replacing petroleum fuels. This is one of the main reasons for the change in the energy matrix due to the scarcity of oil reserves and the reduction of greenhouse gas emissions. With the increase in ethanol production, the average production of sugarcane in Brazil is in the order of 85 tons per hectare, it is estimated that for each ton of sugarcane produced, 140 kg of bagasse and 140 kg of straw are generated, in base dry, leading to a generation of 12 tons of straw per hectare. In the torrefaction treatments carried out in this work, at temperatures of 240 ° C, 260 ° C and 280 ° C for 30 or 60 minutes. The results showed that the torrificated biomass obtained a higher calorific value of 22.5 MJ / kg, equivalent to 1.32 times greater than the "in natura" cane straw and fixed carbon content of the order of 35% at the temperature of 280 ° C for 60 minutes. Among the different treatments performed, the temperature of 260°C obtained the most favorable result considering the energy gain of the order of 21.0 MJ / kg and average of 66% of the torridated biomass produced, aiming its application as biofuel.

**KEY WORDS:** sugarcane straw, torrefaction, biofuel, lignocellulosic residue.

### INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar no Brasil na safra 2015/16 foi da ordem de 660 milhões de toneladas com área plantada prevista em torno de 8.995 mil hectares, sendo o estado de São Paulo o maior produtor possuindo 52% desse total (CONAB, 2016). Após o processo de utilização da cana-de-açúcar são gerados 30% de resíduos, sendo aproximadamente 15% de bagaço e 15% de palha da cana (SANTOS, 2012). O bagaço é o resíduo mais atrativo e muito utilizado como combustível dos processos de fabricação do açúcar e também do álcool com poder calorífico inferior da ordem de 7,2 MJ/kg (com 50% de umidade). Além disso, o bagaço já é estudado há tempos e já se consegue produzir, por exemplo: forragem para alimentação de ruminantes, fibrocimento (substituição de amianto por cinzas e fibras do bagaço na produção desses materiais), papel de alta qualidade, painéis de madeira feitos de bagaço, e etanol de segunda geração, que é a produção a partir da quebra das cadeias de celulose em moléculas mais simples de glicose, que após a fermentação por microrganismos produz-se etanol. Já a palha de cana com poder calorífico inferior da ordem de 13 MJ/kg (com 15% de umidade), não tem ainda muito destino, na maioria dos casos, a palha é deixada no solo, após a colheita, para a proteção do mesmo (ROMÃO Jr, 2009). Essa prática traz benefícios como a diminuição das perdas de água e preservação da umidade do solo, além da reciclagem de nutrientes para a produção. Além disso, existem investimentos altos na recuperação dessa palha para ser utilizada junto com o bagaço para produção de energia elétrica (MARIANI, 2006). Com



a lei de queima da cana (Lei nº 11.241/2002) e aumento da mecanização da colheita da cana nos canaviais esse acúmulo de palha disponível no campo poderá ter problemas.

A cana-de-açúcar passou a ser a segunda na matriz energética brasileira, superando a energia hidráulica, ficando atrás apenas do petróleo (BEN, 2018). Essa mudança na matriz energética se deve a preocupação com a escassez das reservas de petróleo e a redução de emissão de gases de efeito estufa, enquanto que a utilização da biomassa para geração de energia é considerada neutra, uma vez que o CO<sub>2</sub> é consumido pela planta durante seu crescimento (ANTUNES, s/d.).

A palha de cana-de-açúcar é um material lignocelulósico, que armazena energia vinda do sol. Como todas as plantas, ela converte CO<sub>2</sub> em matéria orgânica com a ajuda da luz e água, e ainda absorve um pouco como energia. Essa energia guardada pode ser usada ou convertida, seja para alimentação ou para liberação de calor. A diferença da energia gerada através da biomassa em comparação com combustíveis fósseis é de que a energia da biomassa reutiliza o carbono da matéria orgânica, evitando lançamento de mais carbono na atmosfera, como os combustíveis fósseis fazem (SANTOS, 2012).

Dentre as tecnologias para aproveitamento da bioenergia, o processo de torrefação utilizado nesse trabalho, é um método de pré-tratamento térmico que elimina muitos problemas associados a biomassa no seu estado natural, como ineficiência na geração de energia principalmente o alto teor de umidade, elevado teor de carbono voláteis e a baixa concentração de carbono fixo, dificultando sua utilização durante o processo de queima. A torrefação, que por vezes é chamada de pirólise branda, ocorre sob pressão atmosférica na faixa de temperatura de 200 - 300°C, em ambiente inerte, dando origem a um rico produto sólido de carbono (MEDIC et al., 2011).

## OBJETIVO

Esse trabalho visa a utilização do resíduo - palha de cana-de-açúcar – gerado no setor sucroalcooleiro, para produção de biocombustível através do processo de torrefação, contribuindo para o aumento da energia renovável na matriz energética brasileira.

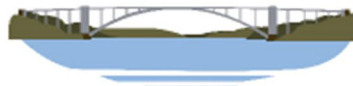
## METODOLOGIA

A biomassa utilizada foi obtida a partir de folhas verdes e secas da cana-de-açúcar produzida em uma cidade do interior de São Paulo, sendo moídas de forma grosseira para redução do tamanho (Figura 1) e posterior utilização no processo de torrefação.



**Figura 1 – Palha de cana de açúcar**

A palha seca foi encaminhada ao reator em escala de laboratório, por bateladas, em porções de 100g para realização das reações de torrefação nas temperaturas para 240°, 260° e 280°C com tempo de residência de 30 e 60 minutos, em atmosfera inerte. O tempo de reação só se inicia quando o forno alcança a temperatura estabelecida.



Para avaliação da qualidade do biocombustível produzido, foi realizado o balanço de massa dos três produtos obtidos: biomassa torreficada (BT), água de reação e gases não condensáveis (GNC). Também faz parte da avaliação do biocombustível a realização da análise imediata determinada pelo teor carbono fixo e voláteis (ASTM D3175), umidade e cinzas (BROWNING, 1967) e poder calorífico (ASTM D 5865), sendo as análises realizadas em duplicata.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os ensaios de torrefação, foi avaliado o perfil das reações nas três faixas de temperatura estudadas, 240°C, 260°C e 280°C, com tempo de reação de 30 minutos e 60 minutos conforme apresentado nas Figuras 2 e 3. É importante ressaltar que o tempo de reação considerado, inicia-se quando chega à temperatura da reação desejada (conforme indicado no gráfico) e após o tempo de residência (ou manutenção) o reator é retirado do forno para resfriamento.

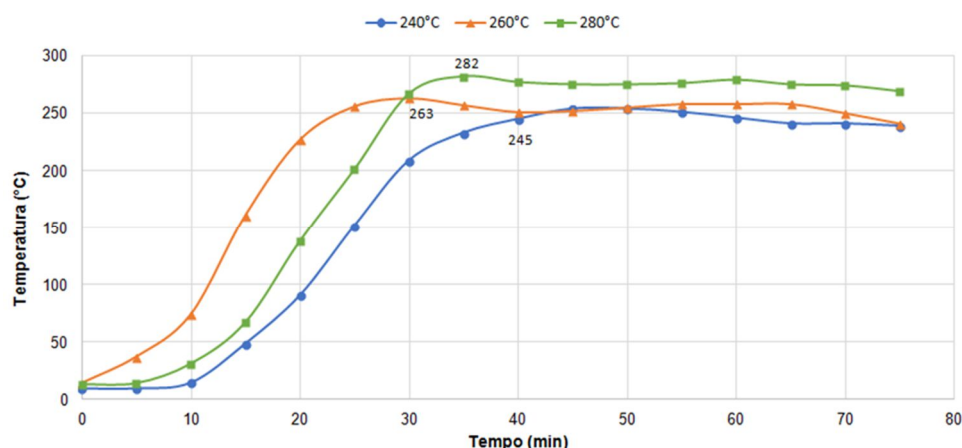


Figura 2 – Perfil das reações de torrefação com 30 minutos

Percebe-se que as reações de 30 minutos tiveram um comportamento bastante similar depois que atingiram a temperatura de reação, mostrando certa estabilidade. A reação de 260°C teve um aquecimento mais rápido que as outras reações, provavelmente devido a divergência na mufla utilizada.

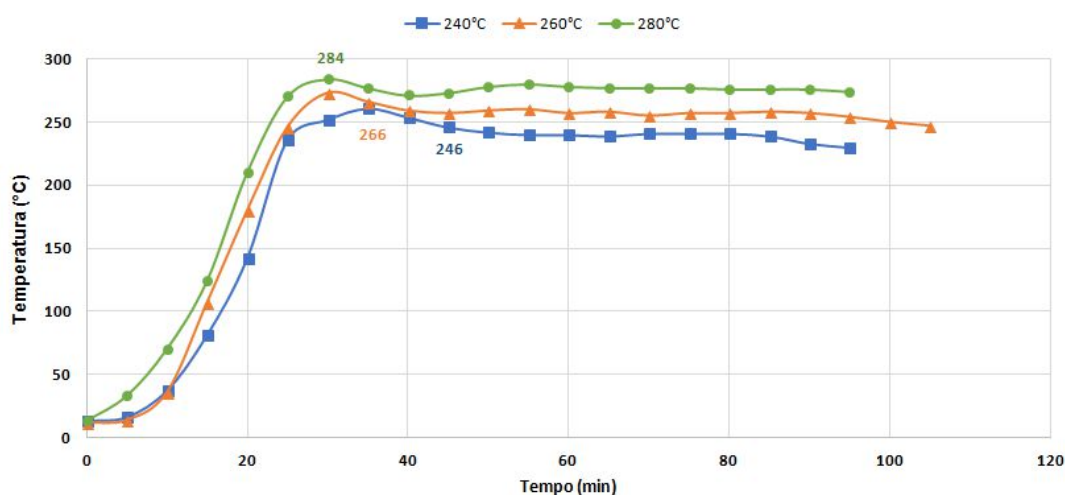


Figura 3 – Perfil das reações de torrefação com 60 minutos

Nas reações de 60 minutos, pode-se observar que as reações apresentaram mais estabilidade em relação às reações com 30 minutos, com taxas de aquecimento similares entre elas. É importante comentar que em se tratando de um processo termoquímico e visando uma aplicação industrial é necessário que as reações tenham estabilidade para garantir a homogeneidade do produto obtido, palha torreficada, para aplicação na geração de energia como biocombustível.



A Figura 4 apresenta o balanço de massa das reações quantificando as frações de palha torrificada, foco principal desse trabalho, água de reação e gases não condensáveis.

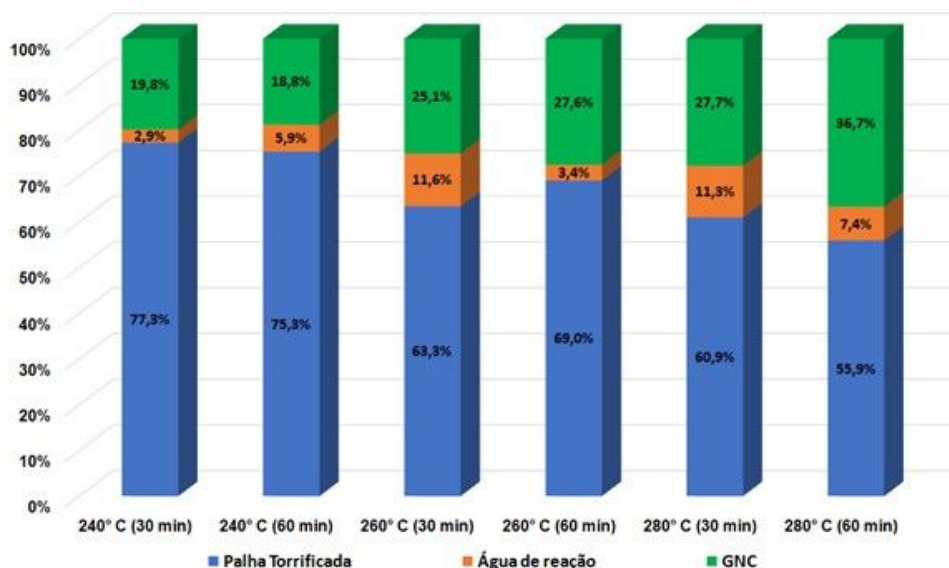


Figura 4 – Balanço de massa das reações de torrefação

Observa-se que o rendimento gravimétrico referente à palha torrificada – fração sólida, reduz conforme aumenta a temperatura de reação variando de 77 a 61% em massa nas reações com 30 minutos e de 75 a 56% nas reações com 60 minutos. Valores esses esperados conforme relatado por Paula, 2014 com perda de massa de 50% em faixas de temperatura de 250° a 350°C com a palha de cana. Isso se deve ao fato da palha ter uma maior concentração de hemicelulose (30-32%) em relação à madeira dura (25-35%), sendo esse componente o primeiro a se degradar.

Houve um aumento na concentração da água de reação chegando a 11% em massa, nas reações de 260 e 280°C de 30 minutos e com o aumento do tempo de residência para 60 minutos ocorreu uma redução da água de reação de 3 a 7%, onde parte dessa água contribui para o aumento dos gases não condensáveis.

Das amostras de palha de cana torrificada obtidas nas reações foram realizadas as análises do teor de voláteis, cinzas e carbono fixo, mostrados na Figura 5.

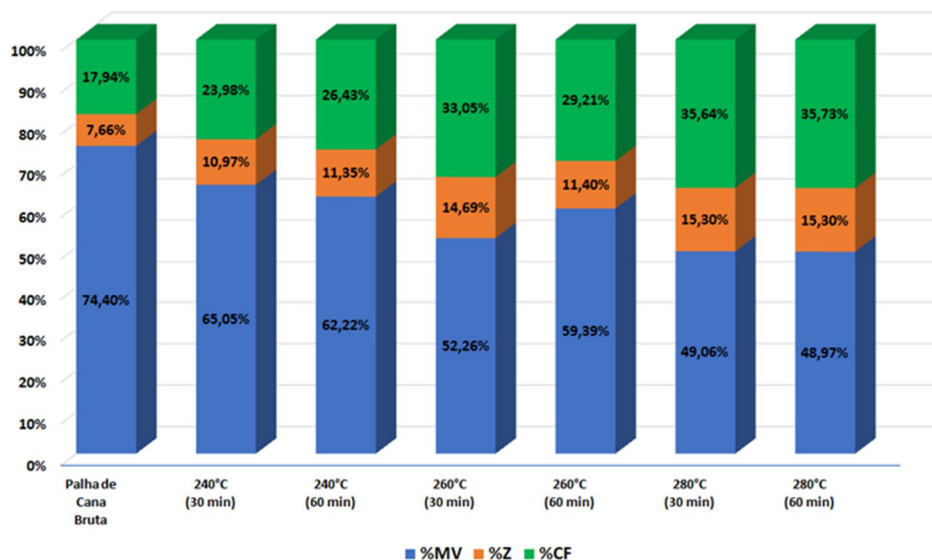


Figura 5 – Teor de voláteis, cinzas e carbono fixo na palha de cana bruta e torrificada  
Legenda: MV – matéria volátil; z – teor de cinzas; CF – carbono fixo.





O teor de cinzas das amostras são materiais inorgânicos presentes na palha de cana, que mesmo após a torrefação, não são removidos. Essas cinzas são da própria constituição da biomassa variando em função da espécie de cana, não possui solo misturado com a amostra, pois foi coletada com rigor. Pires, 2018, relata em seu trabalho uma concentração de cinzas da ordem de 5% para a palha de cana bruta, mas chega a concentrações próximas (9 a 16%) no processo de torrefação realizado. Observa-se que ocorre um aumento da concentração de cinzas em função da perda de massa da palha de cana torrificada.

Em relação à concentração de carbono volátil (%MV) e carbono fixo (%CF) o valor encontrado na palha em estudo está próximo ao encontrado por Pires, 2018, da ordem de 80% e 15% respectivamente. Conforme previsto na literatura ocorre um aumento do teor de carbono fixo e a diminuição do teor de voláteis aumentando o poder calorífico do material visando a obtenção de um produto com maior valor energético do que na forma bruta.

É importante nesse processo de avaliação verificar o poder calorífico superior e inferior das amostras de palha de cana bruta e torrificada alcançados após o processo, como pode ser visto na Tabela 1.

**Tabela 1 – Análise de poder calorífico da palha bruta e torrificada**

Legenda: PCS - Poder Calorífico Superior; PCI - Poder Calorífico Inferior; DP - desvio padrão.

Fonte: arquivo pessoal

Amostra (n=2)	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)	DP(+/-)
Palha de cana bruta	17,05	18,86	0,40
240°C, 30 min	18,91	19,90	0,87
240°C, 60 min	19,93	21,02	0,41
260°C, 30 min	21,06	20,34	0,42
260°C, 60 min	20,35	20,34	0,75
280°C, 30 min	21,04	20,99	0,43
280°C, 60 min	22,46	22,43	0,14

Observa-se que houve um aumento de 1,32 vezes no poder calorífico superior da palha torrificada a 280° por 60 minutos em relação à palha bruta, mas nessa faixa de temperatura ocorre uma perda de massa de 51,03% ficando com 48,97% de palha torrificada após o processo. Considerando uma média em relação ao poder calorífico e produção de palha torrificada, as reações de 240 e 260°C com 60 minutos possuem PCS similar às reações de 280°C, mas com menor perda de massa (40%).

## CONCLUSÃO

Os ensaios apresentados nesse trabalho permitiram observar que a temperatura e tempo de residência interferem no resultado do produto submetido ao processo de torrefação. De forma geral quanto maior a temperatura e tempo de residência, menor o rendimento da biomassa torrificada.

Os resultados obtidos mostram que é possível obter uma biomassa torrificada de palha de cana com PCS de 22,5 MJ/kg, equivalente a 1,32 vezes maior em relação a palha bruta, a temperatura de 280°C por 60 minutos e com obter teor de carbono fixo de 35,6% a 280°C.

A redução de carbono volátil de 74% para 45% da biomassa torrificada para a palha bruta evita a formação de fumaça e a cinza produzida pode ser utilizada na fabricação de cimentos.

Entre os diferentes tratamentos realizados, os tratamentos de 240 e 260°C com 60 minutos de residência são os que apresentaram resultados mais favoráveis de acordo com o objetivo do trabalho, considerando o ganho no valor energético (20MJ/kg) com menor perda de massa (40%).

Outra vantagem do processo de torrefação é a possibilidade de utilizar como matéria-prima um resíduo de biomassa gerando um produto com maior energia e com baixa umidade permitindo seu uso em condições mais exigentes quanto à estabilidade.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANTUNES, J. F. G.; AZANIA, C. A. M.; AZANIA, A. A. P. M.; **Impactos Ambientais da Queimada da Cana de Açúcar**. Instituto Agrônomo de Campinas/Embrapa, sem data. Disponível em: [http://www.grupocultivar.com.br/ativemanager/uploads/arquivos/artigos/27-01\\_gc\\_cana.pdf](http://www.grupocultivar.com.br/ativemanager/uploads/arquivos/artigos/27-01_gc_cana.pdf). Acesso em: 07 jul. 2018.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ASTM D 3175 - **carvão vegetal: determinação da matéria volátil**. 6 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ASTM D 5865 - **carvão vegetal: determinação do poder calorífico**. 19 p.
4. BEN, **Balanco Energético Nacional** - Empresa de Pesquisa Energética, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Acesso em: 10 mar 2019.
5. BROWNING, B.L. **Methods of Wood Chemistry**. New York: Interscience Publishers, 1967.
6. CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. V. 2 - SAFRA 2015/16- N.3 - Terceiro levantamento, DEZEMBRO 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 01 jul 2017.
7. PAULA, L. E. R.; **Efeito da torrefação e briquetagem nas propriedades energéticas de resíduos agroindustriais**. Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG. Dissertação de mestrado, 2014.
8. MARIANI, L. F. **Utilização da palha de cana de açúcar para aumento da capacidade energética de plantas e utilidades** – São Paulo, 2006
9. MEDIC, D.; DARR, M.; SHAH, A.; POTTER, B.; ZIMMERMAN, J. **Effects of torrefaction process parameters on biomass feedstock upgrading**. Fuel, 91 (1) 147-154, 2011.
10. PIRES, I. C. S. A. **Produção e caracterização de biochar de palha de cana-de-açúcar (Saccharum sp.)**, 2017. Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba – SP.
11. ROMÃO JR, R. A. **Análise da viabilidade do aproveitamento da palha da cana de açúcar para cogeração de energia numa usina sucroalcooleira**. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, SP, 2009
12. SANTOS, F. A.; et al. **Potential of sugarcane straw for ethanol production**. Química Nova, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422012000500025&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000500025&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 26 abr. 2018.