

ESTUDO TERMOGRAVIMÉTRICO COMPARATIVO ENTRE BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR E PALHA DO CAFÉ PARA FINS ENERGÉTICOS

Mario Bruno Faioli Tanikoshi^{(1)*}, Natalia Raiz Segismundo⁽¹⁾, Vânia Carolina Moreira⁽¹⁾, Jivaldo do Rosário Matos⁽²⁾, Lucildes Pita Mercuri⁽¹⁾ e Rosely dos Reis Orsini⁽³⁾

¹ Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas – LENCA-UNIFESP-SP, Brasil

² Departamento de Química Fundamental, Instituto de Química – USP-SP, Brasil

³ IPEN-CNEN/SP, Brasil,

E-mail: *mtanikoshi@hotmail.com

RESUMO

Os resíduos das lavouras da cana-de-açúcar e do café podem ter um destino alternativo e sustentável, utilizando-se um processo de conversão térmica, ao invés da queima a céu aberto, evitando a liberação de gases poluentes na atmosfera e com isso agregando valor a essas biomassas. Foi realizado um estudo do comportamento térmico dos resíduos para fins energéticos utilizando as técnicas termoanalíticas para essa avaliação. As curvas de Termogravimetria e Termogravimetria Derivada (TG/DTG) do bagaço da cana-de-açúcar nos mostram quatro eventos de decomposição, enquanto que a palha do café nos mostram dez eventos, sendo que os primeiros eventos de ambas as curvas correspondem à desidratação do material e os demais eventos, indicam as decomposições térmicas destas biomassas. A curva DTA da palha do café evidencia oito eventos térmicos, o primeiro endotérmico que corresponde à desidratação e os demais eventos exotérmicos, correspondentes à decomposição térmica deste material. No entanto, a curva DTA do bagaço da cana-de-açúcar mostra apenas três eventos, o primeiro endotérmico, indicando a desidratação e dois eventos exotérmicos, caracterizando a decomposição térmica do mesmo. Comparativamente, os perfis térmicos evidenciados nas curvas DTA indicam que o bagaço da cana-de-açúcar libera maior energia no processo de decomposição do que a palha do café. Estes resultados experimentais corroboram a possibilidade da utilização do bagaço da cana-de-açúcar e palha do café, ambos como biomassas para processos energéticos.

Palavras chave: TG/DTG, DTA, palha do café, bagaço da cana-de-açúcar, biomassa.

INTRODUÇÃO

Por definição, biomassa é todo recurso renovável que provém de matéria orgânica em base vegetal tais como agricultura e plantas, ou animal, tais como seus dejetos; sua principal função é a produção de energia ^[1-2], mas a maioria destes resíduos não é aproveitada, sendo estocados inadequadamente causando poluição e degradação constante dos solos e águas, facilitando assim a proliferação de doenças e impedindo que sejam utilizados como fonte de renda extra.

Em países com baixa renda, em geral, boa parte da matéria orgânica é tratada de forma inadequada, não sendo reaproveitada, sendo grande parte queimada nos próprios campos ou utilizada como combustível doméstico.

Das diversas culturas existentes no país, as lavouras de cana-de-açúcar e café se destacam por sua produção em grande escala.

Cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo ^[3], produzindo aproximadamente 24%, em aproximadamente quatro milhões de hectares. Na década de 80 foram colhidas em média 123 milhões de

toneladas; em 90, 222 milhões de toneladas; em 2000, 307 milhões de toneladas; em 2010 foram colhidas 602 milhões de toneladas; para 2014 está sendo esperada uma colheita de aproximadamente 659,10 milhões de toneladas ^[4], ou seja, quase o triplo do colhido há 30 anos, portanto, gerou-se o triplo de resíduos que poderiam ser aproveitados. Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE, a cana, quando comparada às demais fontes de energia primária do Brasil, apresenta as melhores oportunidades de aumento da eficiência energética e agregação de valor na sua cadeia de transformações e usos, com uma perspectiva de custos decrescentes e forte desenvolvimento econômico.

O conteúdo energético do bagaço e das palhas da cana representa cerca de metade de todo o petróleo produzido no país. Devido à baixa densidade energética e heterogeneidade dessas biomassas *in natura*, seu uso como combustível fica restrito na prática, ao uso local, ou seja, à indústria sucroalcooleira ^[5]. O teor de resíduos gerados chega à faixa dos 45,9% ^[6], sendo os maiores produtores nacionais, o estado de São Paulo, com 51% dessa produção, seguido pelos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Paraná. ^[4]

Café

O Brasil é o maior produtor mundial de café, com uma média de 25% a 30% dessa produção. Com uma safra estimada para 2013, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), de 45,14 milhões de sacas, em uma área de 2,4 milhões de hectares, com aproximadamente 4 bilhões de pés explorados em 218 mil propriedades em 1572 municípios ^[7], gerando toneladas, por ano, de resíduos, da ordem de 45% ^[8], que são desperdiçados e queimados na lavoura, contribuindo nas emissões de gases do efeito estufa.

No Brasil, muitos trabalhos têm sido realizados para avaliar o potencial de utilização de subprodutos agrícolas, tal como a palha proveniente do beneficiamento do café, com o intuito de agregar valor a esses resíduos, transformando-os em matéria prima como alternativa para evitar transtornos ambientais ^[9-13], mas ainda assim, restam aproximadamente 2 milhões de toneladas por ano de palha do café que são descartadas e que poderiam ser aproveitadas ^[14]. O maior produtor nacional é o estado de Minas Gerais, com 52%, seguido por Espírito Santo, São Paulo, Bahia e Rondônia ^[15].

Tendo em vista a potencialidade do uso desses insumos como biomassa, neste trabalho estudou-se o comportamento térmico do bagaço da cana-de-açúcar e palha do café para fins energéticos, utilizando as técnicas termoanalíticas: Termogravimetria (TG), Termogravimetria Derivada (DTG) e Análise Térmica Diferencial (DTA).

MATERIAL E MÉTODOS

Material

O bagaço da cana-de-açúcar foi coletado em feira livre na região sul de São Paulo e a palha do café foi coletada em uma fazenda experimental localizada em Três Pontas, MG, cidade considerada a capital mundial do café ^[16].

Métodos

1) Preparação de amostras

A amostra do bagaço da cana-de-açúcar foi preparada colocando-se em estufa por aproximadamente duas horas à temperatura de 150 °C até que a maior parte da umidade fosse removida e sua coloração estivesse um pouco mais dourada; feito isso, ela foi cortada manualmente em pedaços menores e colocada em liquidificador para moagem e passada em peneira de 14 mesh. A palha do café não necessitou nenhuma preparação prévia. Ambos foram homogeneizados manualmente e as amostras escolhidas aleatoriamente para realização das medidas de TG/DTG e DTA.

2) Termogravimetria/ termogravimetria derivada/Análise Térmica diferencial (TG/DTG/DTA)

As curvas TG/DTG e DTA foram obtidas utilizando uma termobalança DTG-50, marca Shimadzu, operando nas seguintes condições: atmosfera dinâmica de ar sintético, com vazão de 50 mL min⁻¹, da temperatura ambiente (T_{amb}) até a temperatura final de 750 °C, razão de aquecimento (β) de 10 °C min⁻¹ e massa de amostra de aproximadamente 20 mg.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1 e 2 estão apresentadas as curvas TG/DTG e DTA das amostras do bagaço da cana-de-açúcar e palha do café respectivamente. Na Tabela 1, encontram-se as porcentagens de perda de massa e os intervalos de temperatura de cada evento de decomposição térmica das duas amostras. Pode-se observar que o bagaço apresentou quatro eventos de decomposição térmica, sendo que o 1º evento refere-se a desidratação com perda de massa de 5,68 %. O segundo e terceiro eventos representam a decomposição da matéria orgânica e transformação em material carbonáceo e o quarto evento, a liberação do material carbonáceo formado na etapa anterior. Verificou-se ainda que a porcentagem de cinzas (sais mineais) presentes no bagaço foi de 1,17 %.

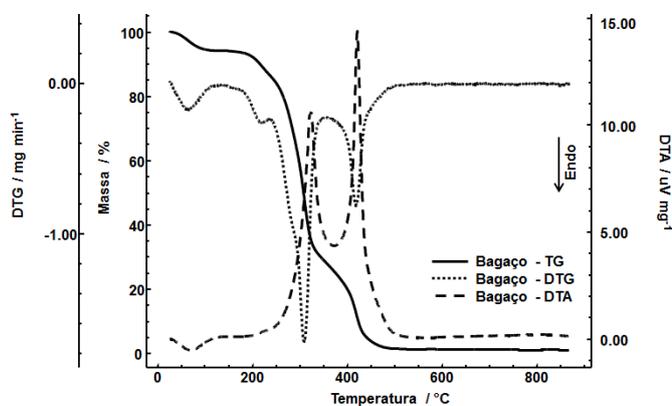


Figura 1. Curvas TG/DTG e DTA da amostra de bagaço da cana-de-açúcar.

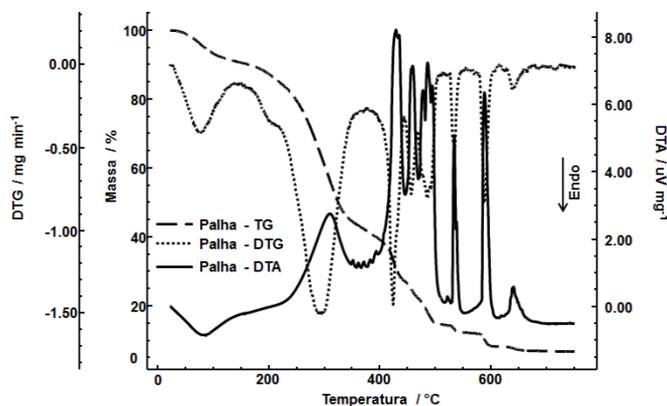


Figura 2. Curvas TG/DTG e DTA da amostra de palha do café.

Nas curvas TG/DTG da amostra de palha do café, encontradas na Figura 2, pode-se inferir que a decomposição térmica ocorre em vários eventos consecutivos e concomitantes. Similarmente a amostra de bagaço da cana-de-açúcar o primeiro evento refere-se à desidratação da amostra e o 2°, 3° e 4° eventos indicam a decomposição térmica da matéria orgânica e liberação do material carbonáceo, respectivamente. Contudo, a palha do café apresentou seis eventos a mais do que o bagaço e acredita-se que quatro destes eventos referem-se à decomposição térmica de material inorgânico, visto que ocorrem em temperaturas acima de 500°C, a qual não se espera que haja matéria orgânica. O teor de cinzas verificado nessa amostra foi de 6,69 %.

Tabela 1. Perdas de massa por evento de amostras de bagaço da cana-de-açúcar e palha do café, obtidos por TG/DTG

Amostra	Palha do café		Bagaço da cana-de-açúcar	
	$\Delta m / \%$	$\Delta T / ^\circ\text{C}$	$\Delta m / \%$	$\Delta T / ^\circ\text{C}$
1°	9,27	T _{amb} -143	5,68	T _{amb} -123
2°	48,91	143-376	7,82	123-237
3°	14,38	376-442	57,81	237-352
4°	4,84	442-466	27,58	352-750
5°	8,10	466-514	-	-
6°	2,22	514-555	-	-
7°	4,00	555-615	-	-
8°	0,13	615-629	-	-
9°	1,13	629-675	-	-
10°	0,32	675-750	-	-
Resíduo	6,69	(*)	1,17	(*)

(*) Resíduo obtido na temperatura de 750 °C

Os dados obtidos das curvas DTA das duas amostras encontram-se na Tabela 2. Na curva DTA do bagaço, Figura 1, foi possível identificar três eventos, sendo o 1° evento endotérmico, característico da desidratação do material. Os 2° e 3° eventos sequenciados referem-se à decomposição térmica do material e são extremamente exotérmicos, cuja entalpia total é de 6830,0 J g⁻¹. Os eventos de desidratação e a decomposição térmica corroboram as curvas TG/DTG desta biomassa.

Tabela 2. Desidratação e decomposição das amostras da palha do café e bagaço da cana-de-açúcar, obtidos por DTA

Amostra	Evento		ΔH		T _i /°C	T _{pico} /°C
	Número	Característico	Tipo	Valor/J g ⁻¹		
Palha do café	1°	Desidratação	Endotérmico	357,0	-	82,3
	2°	Decomposição	Exotérmico	6280,0	200	-
Bagaço da cana-de-açúcar	1°	Desidratação	Endotérmico	168,0	-	69,0
	2°	Decomposição	Exotérmico	6830,0	200	-

Na amostra de palha do café, a curva DTA apresentou vários eventos, sendo o primeiro evento endotérmico referente à desidratação da amostra. O 2º evento é exotérmico e refere-se à segunda perda de massa das curvas TG/DTG. Os 3º, 4º e 5º eventos também são exotérmicos e equivalem à liberação do material carbonáceo. O sexto, sétimo e oitavo eventos verificados na DTA são referentes à decomposição do material inorgânico verificado nas curvas TG/DTG para essa amostra. A decomposição da palha do café ocorre em várias etapas, porém, temos sete eventos exotérmicos, evidenciando que esse material é promissor para fins energéticos.

Quando se comparam a entalpia global da decomposição térmica das duas amostras, verificou-se que o bagaço da cana-de-açúcar apresenta liberação de energia de aproximadamente $6830,0 \text{ J g}^{-1}$ e a palha do café de $6280,0 \text{ J g}^{-1}$, logo se pode concluir que o bagaço da cana-de-açúcar apresenta um potencial energético melhor do que o da palha do café.

CONCLUSÃO

As curvas TG/DTG possibilitaram quantificar a água presente nos materiais, assim como, discutir sobre a massa residual. As curvas DTA corroboraram os eventos de desidratação, assim como, mostraram com os dados de variação de entalpia de desidratação que a amostra de palha do café apresenta mais umidade em relação à amostra de bagaço da cana-de-açúcar. No entanto, os valores de entalpia de decomposição da amostra de bagaço da cana-de-açúcar, apresentou uma maior liberação de energia do que a variação de entalpia da amostra de palha do café, como mostra os dados da Tabela 2. Estes resultados mostram que ambos os resíduos de lavoura tem futuro promissor como biomassas para fins energéticos.

AGRADECIMENTOS

Ao laboratório de Análise Térmica Prof. Ivo Giolito (LATIG) do IQ-USP.

Ao Centro de Células à Combustível e Hidrogênio (CCCH) do IPEN-USP.

REFERÊNCIAS

- [1] Biomassa. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em Set. 2013.
- [2] Biomass Research and Development. Act 2000. Disponível em: <<http://www.usbiomassboard.gov>>. Acesso em Mar 2013.
- [3] Ministério da Agricultura – Cana-de-açúcar. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em Maio 2013.
- [4] União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Histórico de produção e moagem. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em Out. 2014.
- [5] Hollanda, J.B. Aumentando a Eficiência Energética da Cana. Sala de imprensa, 06/05/2013. Disponível em: <<http://www.inee.org.br>>. Acesso em Maio 2013.
- [6] Oliveira, C.M. Associação Brasileira de Indústrias de Biomassa – ABIB. Energia Renovável – Renewable Energy. Disponível em: <<http://www.ler.esalq.usp.br>>. Acesso em Maio 2013.
- [7] CARVALHO, F.M. A estratégia dos produtores de café com relação ao uso econômico de nitrogênio e potássio, município de Lavras-MG. 2002. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Minas Gerais.
- [8] DOS REIS ORSINI, R., MOSCARDINI FILHO, E. PITA MERCURI, L., DO ROSÁRIO MATOS, J. DE CARVALHO, F.M.S. Thermoanalytical study os inner and outer residue of coffee harvest. Applications on biomass. J Therm Anal Calorim. 2011;106,741-5.

- [9] BRUM, S.D.; BIANCHI, M.L.; SILVA, V.L.; GONÇALVES, M.; Guerreiro, M.C.; OLIVEIRA, L.C.A. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. Química Nova, São Paulo, 2014; 31,5.
- [10] RAYMUNDO, A.S.; ZANAROTTO, R.; GALAZZI, R.M., BORGES, P.S.; RIBEIRO, J.N.; RIBEIRO, A.V.F.N. Estudo da casca/palha de café como adsorbente natural para remoção de corante textil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 48^o 2008, Rio de Janeiro, Anais eletrônicos... Rio de Janeiro: ABQ, 2008. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2008/trabalhos/13/13-279-4734.htm>. Acesso em: Jan. 2014.
- [11] PARRA, A.R.P; MOREIRA, I.; FURLAN, A.C.; PAIANO, D.; SCHERER, C.; CARVALHO, P.L.O. Utilização da casca de café na alimentação de suínos nas fases de crescimento e terminação. R.Bras.Zootec., 2008; 37, 3, 433-42. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v37n3/08.pdf>>. Acesso em: Jan. 2014.
- [12] NUNES, H.; ZANINE, A.M.; MACHADO, T.M. M; CARVALHO, F.C. Alimentos alternativos na dieta de ovinos. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 2007; 15, 4, 141-51. Disponível em: <<http://www.alpa.org.ve/PDF/Arch%2015-4/nunes.pdf>>. Acesso em: Jan. 2014.
- [13] TEIXEIRA, R.M.A.; CAMPOS, J.M.S.; VALADARES FILHO, S.C.; OLIVEIRA, A.S.; ASSIS, A.J.; PINA, D.S. Consumo, digestibilidade e desempenho de novilhas alimentadas com casca de café em substituição à silagem de milho. R. Bras. Zootec. 2007; 36, 4, 968-77. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v36n4/29.pdf>>. Acesso em: Jan.2014.
- [14] Usos da palha do café. Globo Rural – edição diária. 05 ago 2008. Disponível em: <<http://www.globo.com>>. Acesso em: Mai 2013.
- [15] Companhia Nacional de abastecimento - Conab. Acompanhamento da safra brasileira. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em Out. 2014.
- [16] COCATREL, Cooperativa dos Cafeicultores da Zona de Três Pontas Ltda. Disponível em:< <http://www.cocatrel.com.br>>. Acesso em: Mai. 2013.