

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA PODA E CORTE DE ARBÓREOS E GRAMÍNEAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA

DOI: 10.19177/rgsa.v8e32019660-672

Mayer Andrade Santos¹
Reinaldo Ruggiero²

RESUMO

Neste trabalho foi analisada a possibilidade de utilização de resíduos da biomassa oriundos de podas e cortes de árvores, e roçagem de gramíneas (massa verde), como possível combustível a ser usado em termoeletricas. Esses resíduos foram caracterizados quanto a composição (Lignina, Celulose/hemicelulose, Teor de umidade, Teor de cinzas, Teor de matéria orgânica, Teor de carbono TOC), análise térmica (TG, DTA e DSC) e conteúdo calorífico (Calor de combustão). A água presente no material, é o principal fator impeditivo de usar essa biomassa como combustível cerca de 10% no cavaco e 7% nas gramíneas. O calor de combustão do material foi de 4.048 kcal/Kg para as gramíneas e 4397 Kcal/Kg para o cavaco. A maior quantidade de lignina no cavaco 32 % contra 25% nas gramíneas explica essa diferença. Os resultados mostram a possibilidade de uso destas biomassas como combustível em termoeletricas, em tempos de crise hídrica quando a possibilidade de secagem quase completa do material é viável usando apenas insolação natural.

Palavras-chave: Gramíneas. Sustentabilidade. Biomassa.

¹ Graduação em Agronomia em 1988; Especialização em Plantas Ornamentais no ano de 1998; atua como Engenheiro Agrônomo na Prefeitura Municipal de Uberlândia. Mestrando em Biocombustíveis UFVJM e UFU. E-mail: mayerasan@gmail.com

² Graduação em Química pela Universidade de São Paulo (1977) e doutorado em Físico-Química pela Universidade de São Paulo (1990). Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Uberlândia. E-Mail: takeuchi@pontal.ufu.br

EVALUATION OF THE POTENTIAL FOR THE USE OF POTENTIAL WASTE AND CUTTING OF TREES AND GRAMINEES IN THE GENERATION OF THERMAL ENERGY

ABSTRACT

In this work the possibility of using biomass residues from tree prunings and cuttings, and grazing of grasses (green mass), as a possible fuel to be used in thermoelectric power plants. These residues were characterized in terms of composition (Lignin, Cellulose / hemicellulose, Moisture content, Ash content, Organic matter content, Carbon content (TOC), thermal analysis (TG, DTA and DSC) and calorific content (Heat of combustion). The water present in the material is the main impediment of using this biomass as fuel, containing about 10% in the chip and 7% in the grasses. The heat of combustion of the material was 4,048 Kcal/kg for the grasses and 4,397 Kcal/kg for the chip. The greater amount of lignin in the chip, 32% against 25% in the grasses, explains this difference. Our results show the possibility of using these biomasses as fuel in thermoelectric plants in times of water crisis, when the possibility of almost complete drying of the material is feasible, using only natural insolation.

Keywords: Gramineae. Sustainability. Biomass.



1 INTRODUÇÃO

Na década de 1970 ocorreu a crise mundial do petróleo, elevando muito o preço do mesmo e, causando dificuldades, principalmente aos países subdesenvolvidos ou aos em desenvolvimento. Daí teve início o desenvolvimento das energias renováveis, alternativas menos agressivas ao meio ambiente. Tal preocupação baseou-se no pressuposto da escassez e/ou diminuição das reservas petrolíferas, conturbação política nas principais áreas produtoras, bem como, os problemas ambientais oriundos do uso das energias não renováveis.

Segundo a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) o Brasil se destaca neste cenário por possuir uma matriz energética mais limpa que a maioria dos países, uma vez que a participação de fontes de energia renováveis no país é maior que as fontes não renováveis. Segundo os dados do Balanço Energético Nacional de 2008 (ano base 2007), o Brasil manteve vantagens comparativas com o resto do mundo em termos de utilização de fontes renováveis de

energia. Em 2007, a oferta interna de energia renovável foi de 45,9%, enquanto a média mundial foi de 12,9% e nos países da OCDE, foi de apenas 6,7%.

As ações empreendedoras voltadas para a bioenergia podem ser uma grande fonte de riqueza, visto que são enormes a quantidade de energia demandadas atualmente, sendo o calor a energia mais intensamente utilizada, para atender e sustentar um processo de desenvolvimento socioeconômico.

Segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia¹, a biomassa é uma importante fonte de energia para a humanidade. Ela é a forma natural de armazenar a energia solar incidente no planeta e, o desafio da humanidade é buscar soluções para usar de forma cada vez mais eficiente esse recurso natural.

Conforme estudo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA², a energia provém de quatro fontes de biomassa que são as derivadas de cultivos ricos em carboidratos ou amiláceos, que geram o etanol; as derivadas de lipídios vegetais e animais, que geram o biodiesel; a madeira, que pode gerar o metanol, briquetes ou carvão vegetal; e os resíduos e dejetos da agropecuária e da agroindústria, que podem gerar calor e energia elétrica.

Neste último caso, por exemplo, os resíduos podem ser aproveitados para geração de energia em termelétricas, em épocas de baixa incidência de chuvas na região. Em todos os casos listados acima, o Brasil tem vantagens comparativas na produção e pode criar vantagens competitivas para ser líder mundial no biomercado e no mercado internacional de energia renovável³.

A busca por alternativas energéticas como o uso da biomassa é compensatória em função de minimizar os efeitos poluidores das atividades antrópicas, além de diminuir os custos com aterros sanitários.

O presente trabalho justifica-se neste contexto, pois os resultados deste trabalho poderão contribuir para a obtenção de novas alternativas de minimização dos rejeitos de resíduos sólidos urbanos nos aterros sanitários e lixões, assim também como a utilização deste rejeito para geração de energia, prevendo a grande potencialidade de uso da Bioenergia oriunda da biomassa, existente em grande quantidade nos municípios do Brasil.

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o potencial de utilização de resíduos de poda e corte de arbóreos e gramíneas, na geração de energia térmica. Já

entre os objetivos específicos destacam-se: diagnosticar a atual situação dos resíduos sólidos, massa verde, gerados no município de Uberlândia; caracterizar a biomassa vegetal, quanto sua composição (Umidade, Cinza, Extrativos, Granulometria, Lignina Solúvel e Insolúvel e Celulose). E conteúdo energético (Poder Calorífico, DSC, TG e TOC); analisar os vários processos de aproveitamento da biomassa, massa verde gerada na cidade; identificar o destino final dos resíduos de podas do município de Uberlândia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os resíduos vegetais foram coletados na área de depósito no Distrito Industrial, em vários pontos diferentes a fim de termos uma amostra significativa, sendo 5,00 kg de gramíneas e 5,00 kg de cavacos (troncos, galhos e folhas de árvores), onde foram pulverizados, peneirados, homogeneizados e, em seguida, caracterizados e analisados pelos métodos descritos adiante.

2.1 Caracterização dos resíduos



2.1.1 Teor de umidade: A análise foi realizada em balança da marca QUIMIS equipada de luz infravermelho que vaporiza a água. Foi colocado 1,00g da biomassa no recipiente (prato de balança com papel alumínio) e aguardou-se o tempo necessário, para o peso ficar constante e fazer a leitura.

2.1.2 Teor de extrativos (TAPPI T204 cm-97): A extração foi realizada com uma mistura de ciclohexano e etanol na proporção 1:1. Para o procedimento, 5,00 g das gramíneas e do cavaco isentos de umidade, foram pesados (triplicata) em papéis de filtro previamente tarados. Inseriu-se os papéis de filtro no extrator tipo Soxhlet, que foi acoplado a um balão de fundo redondo contendo 150,00 mL da mistura (ciclohexano/etanol) e a um condensador. Montou-se o conjunto sobre uma manta de aquecimento, permanecendo sob refluxo por um período de 24 horas contados após o início do primeiro refluxo. Terminado este tempo, interrompeu-se o aquecimento e o sistema foi resfriado até temperatura ambiente. Retirou-se os papéis de filtro do extrator, colocou em capela de exaustão para evaporação dos solventes e depois em

estufa a 105 °C por um período de 3 horas para finalizar a secagem. Determinou-se então, o conteúdo de extrativos com base na diferença em massa da amostra seca antes e após o processo de extração.

2.1.3 Granulometria (ABNT NBR 7402/1982): nessa etapa utilizou-se um conjunto de peneiras com abertura de malha entre 250-850µm. A base do conjunto é um receptáculo que coleta os sólidos que passaram pelas peneiras anteriores. As peneiras vazias foram pesadas individualmente e colocadas em ordem decrescente de abertura de malha. No topo do conjunto, foi adicionado cerca de 100,00 g de gramíneas e, o mesmo para o cavaco secos que foram agitados por 20 minutos. Finalizada a agitação, procedeu-se a pesagem do bagaço e da gramínea retidos em cada peneira.

2.1.4 Lignina insolúvel: A determinação do teor de lignina Klason foi realizada em triplicata segundo a norma TAPPI T13M-54 modificada. Pesou-se cerca de 1,00 g (com precisão de 0,001g) da amostra seca em um almofariz previamente tarado. Ao almofariz foi adicionado 15,00mL de ácido sulfúrico 72%*m/m* ($d=1,6389 \text{ g mL}^{-1}$), a mistura foi macerada cuidadosamente, para que fosse possível obter o máximo desfibramento, deixando que a reação prosseguisse por 2 horas. Após este período, transferiu-se a mistura para um balão de fundo redondo de 1,00 L, e completou o volume até 0,560 L com água destilada e o sistema foi aquecido sob refluxo por um período de 4 horas. Posteriormente, filtrou-se a lignina insolúvel em um funil de vidro sinterizado n.º 4, previamente seco a 105°C e tarado. O filtrado foi armazenado para análise de lignina Klason solúvel por espectroscopia na região do ultravioleta. O funil contendo a lignina insolúvel foi mantido em estufa a 105° + 5°C por um período de 12 horas, o qual foi resfriado em um dessecador até obtenção de massa constante. Determinou-se então, a porcentagem de lignina Klason insolúvel, com base na massa de amostra de lignina insolúvel e com a massa de amostra inicial.

2.1.5 Lignina solúvel: Durante o experimento de determinação da lignina insolúvel, uma pequena porção da lignina se solubilizou na solução de hidrólise. A partir do filtrado (lignina solúvel em meio ácido) obtido na etapa de determinação de lignina

insolúvel, preparou-se as soluções em triplicata. Logo após diluíram-se as soluções, em água destilada até a concentração de $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ de ácido sulfúrico (H_2SO_4) em balão de 50,00mL. Em seguida preparou-se uma solução referência (branco) de ácido sulfúrico de $0,05 \text{ mol L}^{-1}$, a partir do ácido sulfúrico 72% m/m em balão de 50,00mL. Foram então medidas as absorvâncias das soluções nos comprimentos de onda de 215 e 280nm.

2.1.6 Celulose e Hemicelulose: A celulose juntamente com a hemicelulose foi calculada no balanço de massa da amostra, utilizando as seguintes análises: umidade, extrativos, ligninas e cinzas.

2.2 Análises Térmicas

2.2.1 Poder calorífico: O poder calorífico tem sido usado como parâmetro fundamental na análise dos combustíveis. De acordo com Mialhe⁴, o poder calorífico é a quantidade de calor liberado por um combustível durante a sua combustão completa e que para hidrocarbonetos, a combustão completa gera CO_2 e água. O poder calorífico de combustíveis é determinado por uma bomba calorimétrica, utilizando para tal a norma ASTM E 711-87 (ASTM, 1992), onde a combustão é efetuada em ambiente com alta pressão de oxigênio (excesso). O poder calorífico foi determinado em bomba calorimétrica, previamente calibrada a partir do poder calorífico de pastilhas de ácido benzóico. As amostras foram peneiradas e separadas na granulometria de 60 mesh (0,25mm) para o experimento. Posteriormente foram prensadas na forma de pastilhas com aproximadamente 1g, secas em estufa a 105°C para eliminar a umidade, pesadas em cadinhos e, em seguida, o fio de algodão para combustão foi posicionado em contato com a amostra. O cadinho foi posicionado às hastes do suporte localizado na parte superior do vaso de decomposição. Após, o vaso de decomposição foi acoplado à bomba calorimétrica para que ocorra a sua pressurização com oxigênio (30atm). Em seguida, o vaso ficou submerso para a termostatização da amostra a 25°C e, após a ignição do sistema, o software do equipamento determinou a variação de temperatura decorrente do processo de combustão da amostra e calculou o poder calorífico da mesma.

2.2.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC): Nesta técnica, a diferença entre a energia fornecida à amostra e a um material de referência, é medida em função do fluxo de energia em um calorímetro. A partir destes dados pode-se acompanhar os efeitos do calor sobre as alterações físicas ou químicas das amostras, tais como transições de fase (fusão, ebulição, sublimação) e determinadas reações (desidratação, dissociação, decomposição, oxirredução)⁵. As análises foram realizadas em um equipamento modelo Q-20, TA *Instuments*, em duas varreduras. Cerca de 7,00 mg das amostras, foram colocados em cadinhos de alumínio e aquecidos inicialmente de 25°C até 200°C e posteriormente de 200°C à 450°C, ambos a uma taxa de aquecimento de 10°Cmin⁻¹, sob atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 cm³ min⁻¹.

2.2.3 Termogravimetria (TG): A análise termogravimétrica representa a perda de massa em função do aumento da temperatura e foi realizada em atmosfera inerte (N₂). Geralmente as perdas de massa em temperaturas inferiores a 100°C, referem-se à liberação de umidade contida na biomassa. O maior pico representa a liberação dos voláteis e por este motivo também indica a temperatura de ignição, essa é uma região de queima rápida. A análise termogravimétrica permite um maior conhecimento da temperatura inicial e final para degradação térmica. Esta análise também pode ser utilizada para investigar a reatividade de materiais carbonosos. A temperatura de pico é identificada no perfil de queima, o ponto no qual a taxa de perda de massa devido à combustão é máxima⁶. A caracterização termogravimétrica pode auxiliar na escolha de faixas de temperaturas utilizadas no processo de carbonização ou combustão, buscando a economia de energia utilizada nos fornos, além de identificar as principais fases das reações de liberação ou absorção de energia, e perda de massa, que estão diretamente ligados à qualidade do combustível. A relação do rendimento gravimétrico e perda de peso da lignina são fatores importantes para a determinação da qualidade da biomassa⁷. A análise termogravimétrica foi realizada em um equipamento Shimadzu DTG – 60H. Inicialmente, cerca de 7,00mg das amostras foram colocadas em cadinhos de alumina e aquecidas de 25°C até 600°C com uma taxa de aquecimento de 10°C min⁻¹, sob atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 cm³min⁻¹.

2.2.4 TOC - Carbono Orgânico Total: A determinação do teor de matéria orgânica nas amostras foi realizada de acordo com metodologia proposta por Carmo e Silva⁸, que consiste em secagem prévia das amostras em estufa a 105°C, por um período de 24 h, visando eliminar toda a água presente nas amostras, como a higroscópica, a capilar ou de cristalização. Após esse período, os cadinhos de cerâmica com as amostras foram acondicionados em forno tipo mufla e incinerados em uma temperatura de 550°C, por 3 h. Posteriormente, o conjunto (cadinho e resíduos) foi acondicionado em dessecador e, em seguida, pesado.

O teor de matéria orgânica foi determinado em razão da perda de massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura de 105°C a 550°C, conforme a seguinte equação:

$$MO_{(\%)} = \frac{(P - (T - C) \times 100)}{P}$$

onde "MO" é a matéria orgânica em porcentagem, "P" é o peso

da amostra (g) depois de aquecida de 105°C; "C" é a tara do cadinho (g); e "T" é o peso da cinza + cadinho (g).



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização anterior do material

Tabela 1. Resultados das análises realizadas.

COMPONENTES	GRAMINEAS (%)	CAVACOS (%)
TEOR DE UMIDADE	6,9	10,0
TEOR DE EXTRATIVOS	16,88+-0,11	10,26+-1,36
LIGNINA INSOLÚVEL	24,23+-0,017	31,72+-0,018
LIGNINA SOLÚVEL	0,063+-0,002	0,057+-0,010
CELULOSE	46,31	40,30
TOC-Carbono Orgânico Total (MO%)	73,23	98,1
Teor de CO = 0,425 X MO – 2,064*	29,05	39,6
Teor de Cinzas	3,0%	8,0%

Fonte: Autor (2018)

*Extraído de Carmo e Silva⁸.

Tais resultados estão de acordo com os obtidos na NOTA: **Métodos de Quantificação de Carbono e Matéria Orgânica em Resíduos Orgânicos** (aprovado em 18 de maio de 2012, na Revista Ciência do Solo).

Tabela 2. Teores de matéria orgânica (MO), carbono total (CT) e carbono orgânico (CO) determinados, respectivamente, pelos métodos mufla, combustão seca e Yeomans & Bremmer (YB), para amostras diversificadas de resíduos orgânicos.

Amostra	Teor (%)			Fator		
	MO	CT	CO	MO/CT	MO/CO	CO/CT
8*	98,1	46,6	39,2	2,1	2,5	0,84
33**	72,9	33,7	29,6	2,2	2,5	0,88

Fonte: Davi Lopes do Carmo & Carlos Alberto Silva.

* Casca de Ounus,.

** Esterco (cama) de codoma.

Tabela 3. Composição química da biomassa lignocelulósica.

BIOMASSA LIGNOCELULOSICA	%CELULOSE	%LIGNINA
PALHA DE CANA	40-44	22-25
MADEIRA MOLE	40-44	25-31

Fonte: SANTOS⁹.

Tabela 4. Poder Calorífico

AMOSTRAS	MASSA/g	kcal/kg
GRAMINEAS	0,5486	4.048
CAVACOS	0,5959	4.397

Fonte: Autor (2018).

Os valores obtidos ficaram próximos dos informados na Tabela 15 abaixo, obtida da Tese de Laryssa Ferreira Viana¹⁰:

Tabela 5. Poderes caloríficos superiores (PCS em Kcal. Kg⁻¹), de diferentes biomassas vegetais, obtidos por diversos autores: (2) Andrade (1961); (3) Arola (1976); Atchinson (1977); (4) Brito (1986); e Sumner et al. (1983).

Biomassas	PCS	Biomassas	PCS
Painço (1)	4.178	Casca de pecan (1)	4.345
Colmo de sorgo (1)	4.273	Laranja (fruto) (1)	4.464
Folhas de sorgo (1)	4.631	Pecan (fruto) (1)	4.536
Capim-napier (1)	4.369	"Grapefruit" (1)	4.464
Gramma-bermuda (1)	4.584	Cone de pinus ssp. (1)	4.870
Pinus ssp. (1)	4.249	Palha de pinus ssp. (1)	5.348
Pêssego fruto (1)	4.608	Pinus strobus (2)	5.285
Eucalyptussaligna (3)	4.670	Pinus ponderosa (2)	5.000

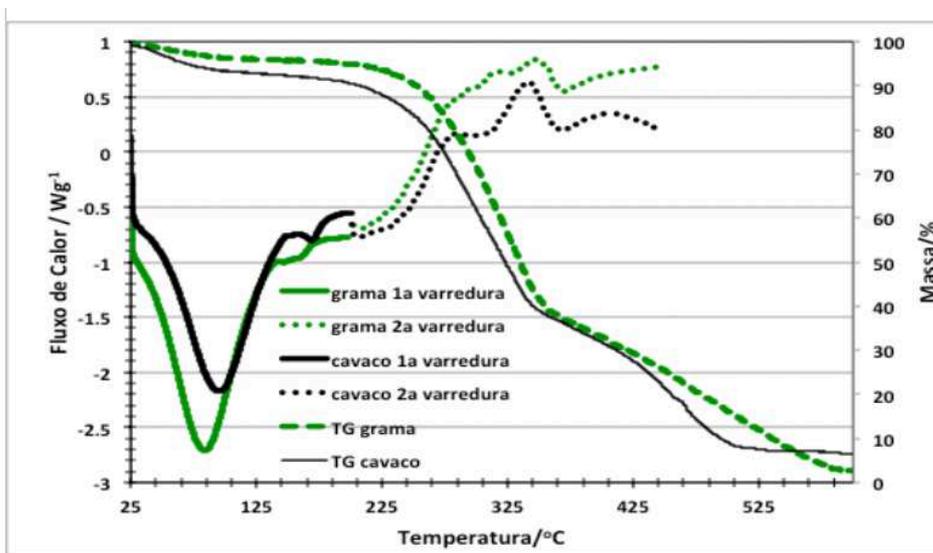
Eucalyptus robusta (3)	4.774	Eucalyptustereticornis (4)	8.248
Madeira dura (5)	4.555 a 4.665	Madeira mole (5)	4.665 a 5.550
Palha de cereal (5)	4.445	Bagaço de cana (5)	4.445 a 4.665

Fonte: Viana⁹.

3.2 Quantificação energética do material

- Caloria exploratória diferencial (DSC);
- Termo gravimetria (TG).

Gráfico 1. Resultados de TGA e DSC.



Fonte: Autor (2018).

No gráfico 1 pode-se ver que a intensidade do sinal do DSC de saída da água-endotermia, com máximo em 79°C para a grama, que aparenta ser maior do que o mesmo sinal para o cavaco em 97,6°C. Observando a perda de massa (TG), no entanto, verifica-se que em torno de 100°C, o cavaco perde mais massa do que a grama. Nota-se também, na primeira varredura do DSC, que a diferença de temperatura de ~ 19°C mostra, como esperado, que a água está mais ligada na estrutura do cavaco, do que na estrutura da grama.

No gráfico, para o TG, o Tonset = 266°C para a grama e 250°C para o cavaco, mostra que o cavaco tem seu início de degradação pelo menos 16 °C antes da grama.

Para a grama, se obtém do TG que o segundo evento (degradação térmica da amostra) que se inicia em 266°C, termina em 355°C. E o terceiro evento (a carbonização da amostra) iniciado em 355°C, termina em 585°C. Neste ponto, onde a

massa da amostra fica constante, nota-se a quantidade de inorgânicos presentes na grama pode ser estimado em torno de 3%. Para o cavaco, a degradação térmica que tem início em 250°C, termina em torno de 340°C, onde começa a carbonização da amostra, que neste caso (do cavaco), parece ter mais de um evento, que tem início em torno de 430°C e termina em torno de 500°C. Neste ponto a perda de massa não aumenta e fica constante em torno de 8%. Essa massa constante, é a quantidade de inorgânicos presentes no cavaco, o que indica que o cavaco tem cerca de 5% a mais de cinzas do que a grama.

No DSC da segunda varredura da grama e do cavaco, pode-se ver as exotérmicas referentes ao conteúdo energético destas duas amostras na degradação e na carbonização das mesmas.

4 CONCLUSÕES

Os conteúdos térmicos das amostras determinados em bomba calorimétrica foram 4.048 kcal/kg para as gramíneas e 4.397 kcal/kg para o cavaco, o que evidenciou o potencial de utilização destas biomassas como combustível em termelétricas.

Esses resultados são corroborados pelos resultados de DSC após secagem das amostras, que mostram um perfil exotérmico para as duas biomassas.

Os resultados demonstram a possibilidade de utilização destas biomassas como combustível em usinas termelétricas em épocas de crise hídrica, época em que a insolação é maior, possibilitando a total secagem da massa verde antes da queima.

Diante do que foi analisado, o aproveitamento energético da massa verde urbana é totalmente viável, com várias possibilidades de valorização, conforme as tecnologias disponíveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca de novas soluções para o aproveitamento dos resíduos urbanos é necessária e deverá ser realizada em curto prazo. A briquetagem composta de resíduos de madeira para seu uso como combustível é uma alternativa a esse problema que deverá ser avaliada de forma mais rigorosa em futuros trabalhos.

Os resultados deste trabalho mostram um caminho a seguir na procura de soluções técnicas ambientalmente corretas para o aproveitamento energético dos resíduos urbanos e agroindustriais visando a minimização destes e consequente preservação do meio ambiente

A disponibilidade de biomassa residual em quantidade e qualidade favorece a constituição de uma biofábrica de briquetes na microrregião, bem como a instalação de uma usina termelétrica.

A constituição de uma biofábrica e/ou a instalação de uma termelétrica na região, utilizando a biomassa verde residual e o consumo de briquetes, traz vantagens econômica, sociais e ambientais, visto que o tema bioenergia tem sido tratado com muita ênfase pelos campos da agroenergia e do meio ambiente, que buscam novos conceitos e valores.

A criação de usinas de compostagem e fábricas de briquete em conjunto com Órgãos Não Governamentais – ONGs ou com incentivos fiscais para atrair a iniciativa privada para o município são possíveis caminhos para instituir um sistema de tratamento e reciclagem.



REFERÊNCIAS

Brasil. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional 2005: Ano base 2004. Brasília, MME, 2005.

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plano nacional de agroenergia –2006/2011**. 2. ed. Brasília, DF, 2006.

Borges K. O estudo do monitoramento dos impactos pós-implantação do aterro sanitário de Uberlândia/MG [tese de mestrado]. Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19899/6/EstudoMonitoramentoImpactos.pdf>>. Acesso em 02 jun. 2018.

Mialhe LG. Máquinas motoras na agricultura. São Paulo: EPU/EDUSP, 1980. 289p.

Ionashiro M. Fundamentos da termogravimetria, análise térmica diferencial e calorimetria exploratória diferencial. Araraquara: Giz Editorial, 2004.

Demirbas A. Combustion characteristics of different biomass fuels. Progress Energy Combust. Sci., 2004, 30(2): 219-230. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128503000789>>. Acesso em 20 mai. 2018.

COSTA TMS, MARTINELLI JR, MATOS JR. Análise térmica aplicada a estudos de coeficiência do bambu para processos de carbonização. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DOS MATERIAIS, 2004, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Dias de Sousa 2004. p. 7.

CARMO LC, SILVA CA. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 2012, 36(4):1211-20.

Santos FA, Queiróz JH, Colodette JL, Fernandes SA, Guimarães VM, Rezende ST. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Quím. 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=en&nrm=iso>. Acesso em 15 jul 2018.

Viana L. F. Potencial energético do bagaço e palhiço de cana-de-açúcar, cv. SP80-1842, em área de alambique artesanal. 2011 [tese de doutorado]. Lavras, MG: Universidade federal de Lavras, 2011.

