



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS
INSTITUTO DE QUÍMICA

Avaliação do potencial de utilização dos resíduos da poda e corte de arbóreos e gramíneas (massa verde) na geração de energia térmica

MAYER ANDRADE SANTOS

MESTRADO

2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS
INSTITUTO DE QUÍMICA**

Mayer Andrade Santos

Avaliação do potencial de utilização dos resíduos da poda e corte de arbóreos e gramíneas (massa verde) na geração de energia térmica

**UBERLÂNDIA
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S237d Santos, Mayer Andrade, 1963
2019 Determinação do conteúdo energético da biomassa vegetal coletada no município de Uberlândia [recurso eletrônico] / Mayer Andrade Santos. - 2019.

Orientador: Reinaldo Ruggiero.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Pós-Graduação em Biocombustíveis.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.1290>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Biocombustíveis. 2. Biomassa vegetal. 3. Sustentabilidade. 4. Energia. I. Ruggiero, Reinaldo, 1949, (Orient.) II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis. III. Título.

CDU: 662.756

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

Mayer Andrade Santos

Avaliação do potencial de utilização dos resíduos da poda e corte de arbóreos e gramíneas (massa verde) na geração de energia térmica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis UFVJM/UFU, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Biocombustíveis.

Linha de Pesquisa: Ambiente e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Ruggiero

UBERLÂNDIA / MG

FEVEREIRO/2019



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS



Ata da defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO junto ao Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis, do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia
DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO, NÚMERO 026/PPBIC.

DATA: 07/02/2019

DISCENTE: Mayer Andrade Santos

MATRÍCULA: 11612PGB001

TÍTULO DO TRABALHO: "Avaliação do potencial de utilização dos resíduos da poda e corte de arbóreos e gramíneas (massa verde) na geração de energia térmica."

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Biocombustíveis

LINHA DE PESQUISA: Ambiente e Sustentabilidade

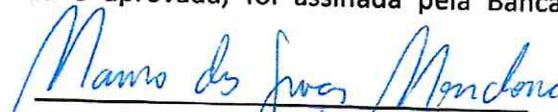
PROJETO DE PESQUISA DE VINCULAÇÃO:

Às quinze horas do dia sete de fevereiro de dois mil e dezenove, no(a) Auditório Prof. Dr. Manuel Gonzalo Hernández-Terrones, piso superior do Bloco 5I no Campus Santa Mônica, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores Moílton Ribeiro Franco Júnior, da(o) Faculdade de Engenharia Química, da Universidade Federal de Uberlândia, e Mauro das Graças Mendonça, do(a) Instituto Federal Triângulo Mineiro, e Reinaldo Ruggiero, professor(a) orientador(a) e presidente da mesa. Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa apresentou o(a) candidato(a) e a Banca Examinadora, agradeceu a presença do público e discorreu sobre as normas e critérios para a realização desta sessão, baseadas no Regulamento do Programa PPBIC. Em seguida, o(a) presidente da mesa concedeu a palavra ao(à) candidato(a) para a exposição do seu trabalho e, em sequência, aos examinadores, em ordem sucessiva, para arguir o(a) apresentador(a). A duração da apresentação e o tempo de arguição e resposta deram-se conforme as normas do Programa. Ultimada a arguição, desenvolvida dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais e A provou o(a) candidato(a). Por sugestão da Banca Examinadora, o título do trabalho será

MANTIDO

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento do estabelecido nas normas do Programa, legislação e regulamentação internas da UFU. As correções observadas pelos examinadores deverão ser realizadas no prazo máximo de 30 dias. Nada mais havendo a tratar, deu-se por encerrada a sessão às 17 horas e 00 minutos e lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pela Banca Examinadora.


Prof(a). Dr(a). Moílton Ribeiro Franco Júnior


Prof(a). Dr(a). Mauro das Graças Mendonça


Prof(a). Dr(a). Reinaldo Ruggiero

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 termoelétricas. Esses resíduos foram caracterizados quanto a composição (Lignina, Celulose/hemiceluloses, Teor de umidade, Teor de cinzas, Teor de matéria orgânica, Teor de carbono), 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, sendo 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 4.397 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 termoelétricas, em tempos de crise hídrica quando a possibilidade de secagem quase completa do material é viável usando insolação natural.

Palavras-chave: massa verde, sustentabilidade e energia.

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 that 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: green mass, sustainability and energy.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABETRE	-	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	-	International American Society for testing and materials
C	-	Carbono
CH ₄	-	Gás Metano
CO	-	Monóxido de Carbono
DSC	-	Calorimetria exploratória diferencial
DTG	-	Termogravimetria diferencial
H ₂	-	Hidrogênio
H ₂ SO ₄	-	Ácido Sulfúrico
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Kcal	-	Kilocaloria
MCT	-	Ministério da Ciência e Tecnologia
MW	-	Megawatt
OCDE	-	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PEV	-	Ponto De Entrega Voluntária
PNRS	-	Política Nacional de Resíduos Sólidos
TG	-	Termo Gravimetria
TOC	-	Carbono Orgânico Total

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Central de Tratamento de Resíduos.....	19
Figura 2. Responsabilidade Pelo Gerenciamento – Segundo A Lei.	21
Figura 3. Responsabilidade pelo gerenciamento na prática.....	22
Figura 4. Destino dos resíduos verde.....	23
Figura 5. Troncos e galhos de árvores.	24
Figura 7. Máquina carregando resíduos.....	25
Figura 8. Gramíneas depositadas no Distrito Industrial.....	25
Figura 9. Cavacos depositadas no Distrito Industrial.....	26
Figura 10. Esquema ilustrativo da estrutura dos materiais lignocelulósicos.....	27
Figura 11. Possibilidades de aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos.....	28
Figura 12. Diagrama dos processos de conversão da biomassa.	28
Figura 13. Mostra de Pellets e Briquetes.....	31
Figura 14. Consumo residencial de energia.	33
Figura 15. Localização do município de Uberlândia, Minas Gerais.....	34
Figura 16. Cavaco.	38
Figura 17. Desintegrador. Marca: CREMASCO. Modelo: DP-2M.....	39
Figura 18. Resíduos de cavacos e gramíneas triturados prontos para moer.	39
Figura 19. Moinho com amostras de cavaco. Marca: MARCONI, Modelo: MA048 ..	40
Figura 20. Espectrofotômetro. Marca: SHIMADZU. Modelo: UV-2501 PC.....	42
Figura 21. Bomba calorimétrica marca IKA WORKS c-20.....	44
Figura 22. Resultados de TGA e DSC.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Principais aspectos das políticas no Estado de Minas Gerais.....	20
Quadro 2. Evolução dos voláteis com a temperatura.	30
Quadro 3. Potencial dos briquetes	32
Quadro 4. Propriedades energéticas da madeira em relação ao briquete.	32
Quadro 5. Dados estatísticos e geográficos do município de Uberlândia.	34
Quadro 6. Recebimento mensal de resíduos verdes - Consórcio Verde.	36
Quadro 7. Definição das responsabilidades públicas e privadas sobre os resíduos	37
Quadro 8. Amostras de resíduos orgânicos utilizados nas marchas de quantificação dos teores de C e de MO.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Rendimentos dos produtos típicos obtidos por meio de diferentes formas de pirólise de madeira (base seca).	29
Tabela 2. Teor de Umidade.	46
Tabela 3. Teor de Extrativos.	46
Tabela 4. Granulometria.	46
Tabela 5. Lignina Insolúvel.	47
Tabela 6. Lignina Solúvel.	47
Tabela 7. TOC-Carbono Orgânico Total.	47
Tabela 8. Teor de CO = 0,425 X MO – 2,064.	47
Tabela 9. 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.	48
Tabela 10. Teor de Cinzas.	48
Tabela 11. Celulose.	48
Tabela 12. Composição química da biomassa lignocelulósica.	48
Tabela 13. Poder Calorífico.	48
Tabela 14. 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 <i>et al.</i> (1983).	49

SUMÁRIO

1 Introdução	14
2 Objetivos	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 Fundamentação Teórica	18
3.1 Histórico dos Resíduos Sólidos no Brasil	18
3.2 Resíduos Vegetais	22
3.3 Composição da Biomassa	26
3.4 Conversões Energéticas para os Resíduos Agroflorestais	28
3.5 Maneiras de Utilização e Valorização de um Resíduo Lignocelulósico	31
3.6 Resíduos de biomassa vegetal para geração de energia	32
4 Parte Experimental	34
4.1 Material e Métodos	40
Teor de umidade	40
Teor de extrativos (TAPPI T204 cm-97)	41
Granulometria (ABNT NBR 7402/1982)	41
Lignina insolúvel	41
Lignina solúvel	42
Celulose e Hemicelulose	43
Poder calorífico	43
Calorimetria exploratória diferencial (DSC)	44
TermoGravimetria (TG) e DTG Diferencial	44
TOC - Carbono Orgânico Total	45
5 – Resultados e Discussão	46
5.1 Caracterização anterior do material	46
5.2 Quantificação energética do material	49

6 Conclusões.....	52
7 Considerações Finais	53
8 Referências	54

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 os em desenvolvimento. Daí se iniciou a preocupação em desenvolver energias renováveis, alternativas e 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 Tecnologia (BRASIL, 2005), 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 - EMBRAPA (2006), a energia provém de quatro fontes de biomassa:

- 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, segundo Borges(2016) 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 anteriormente, o Brasil tem vantagens comparativas na produção e pode criar vantagens competitivas para ser líder mundial no biomercado e no mercado internacional de energia renovável.

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.

Conforme Meira (2010) a valorização dos resíduos é considerada por alguns pesquisadores e algumas indústrias que aderiram e incorporaram programas de produção mais limpa, como uma alternativa econômica, social e ambientalmente adequada. Constituem parte integrante do gerenciamento apropriado desses materiais, por reduzir os impactos da extração da matéria-prima, dar um destino ao resíduo e minimizar os impactos ambientais das atividades produtivas. Tudo isso diminui a quantidade de resíduos sólidos, destinada aos aterros, além de gerar novos postos de trabalho e melhorar a imagem das organizações com relação à sua responsabilidade socioambiental.

A produção de biomassa para fins energéticos renováveis gera empregos e requer menor investimento por posto de trabalho criado do que os combustíveis fósseis. Além disso, descentraliza a produção regionalmente, tem o ciclo de carbono fechado (o que significa diminuição das emissões de poluentes) e economiza as fontes não-renováveis. Essas são apenas algumas vantagens, porém seu uso deve se dar de forma sustentável, de acordo com técnicas apropriadas de manejo e cultivo e de forma a não concorrer com a agricultura.

O reaproveitamento energético da biomassa residual de vegetais, gerados a partir de várias atividades da agricultura e também de corte e podas de árvores e gramíneas nos municípios, por exemplo, pode ser uma forma de reduzir a pressão sobre os recursos naturais diretamente explorados como fonte de combustíveis renováveis. Seu uso é afetado por variáveis como o nível de desenvolvimento do país, preço, disponibilidade e questões ambientais relacionadas às fontes energéticas como petróleo, gás natural, hidroeletricidade, energia nuclear e outras, que competem com a biomassa florestal (BRAND, 2007).

Segundo Migliorini (1980) e Gonçalves *et al.* (2009) os produtos tradicionais da biomassa vegetal para geração de calor podem ser substituídos por produtos com maior rendimento energético por meio da técnica de densificação da biomassa. A densificação da biomassa permite a obtenção de produtos como os briquetes e os pellets de madeira. Esses produtos possuem como principais vantagens, a possibilidade de utilização de resíduos agroflorestais e da indústria moveleira, como maravalhas, costaneiras, aparas, pó de serra e etc., e resíduos sólidos urbanos. A utilização desses materiais tem como principal objetivo aumentar a densidade energética, gerando assim mais energia em um menor volume, facilitando o armazenamento e transporte desses materiais.

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

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

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.

2.2 Objetivos Específicos

Entre os objetivos específicos destacam-se:

- Diagnosticar a real situação dos resíduos sólidos, massa verde, gerados no município de Uberlândia;
- Caracterizar a biomassa vegetal, quanto à sua composição (Umidade, Cinza, Extrativos, Granulometria, Lignina Solúvel e Insolúvel e Celulose), e conteúdo energético (Poder Calorífico, DSC, TG e TOC).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Histórico dos Resíduos Sólidos no Brasil

O “lixo”, resíduos sólidos, passou a ser uma questão de interesse global. Os problemas são os mesmos em todos os lugares: o destino do mesmo e seu acondicionamento adequado. Produzidos em todos os estágios das atividades humanas, os resíduos, trazem grandes preocupações voltadas para as consequências que podem ter na saúde humana e no meio ambiente (solo, ar, água e visual).

Os resíduos sólidos têm diferentes procedências, dentre elas, destacamos o resíduo vegetal urbano, gerado em residências e na comunidade (poda e corte de árvores e gramíneas) de áreas públicas.

Na idade média acumulava-se lixo pelas ruas e imediações das cidades, provocando epidemias e causando a morte de milhões de pessoas, A partir da Revolução Industrial iniciou-se o processo de urbanização, provocando um grande crescimento da população nas cidades. Os impactos ambientais aumentaram e o lixo passou a ser encarado como um problema, que deveria ser combatido e escondido da população. A solução para o lixo naquele momento simplesmente foi de afastá-lo das cidades, descartando-o em áreas distantes denominadas de lixões. Foi o que ocorreu na cidade de Uberlândia na década de 70 a 80. Existiu um lixão a céu aberto na zona rural, na estrada de Uberlândia, Distrito de Miraporanga. O mesmo foi desativado e alguns monitoramentos foram realizados para avaliar o impacto ambiental decorrente.

Segundo Barros e Paulino (2002),do material descartado no Brasil, 76% é abandonado a céu aberto em locais impróprios, oferecendo riscos de proliferação de vetores e doenças e contaminação dos mananciais hídricos através do chorume formado, ameaçando assim a saúde pública e o meio ambiente, comprometendo a qualidade de vida. A seguir enumeramos os meios de descarte dos resíduos:

LIXÃO: local que não possui estrutura ou controle para o depósito dos resíduos gerados, que contamina o ambiente em geral.

ATERRO SANITÁRIO: principal meio de acondicionamento de resíduos sólidos que consiste em uma grande escavação no solo com camadas de argila e

geomembranas que impedem a contaminação do solo, a disposição dos resíduos é controlada e diminui o impacto ambiental.

INCINERAÇÃO: outra maneira de tratar os resíduos é através da incineração. A principal vantagem da incineração é a redução do volume de material que deve ser aterrado, e a desvantagem é poluição do ar por gases e por partículas (na Europa e outros países desenvolvidos têm filtros para capturar poluentes).

COMPOSTAGEM: é o processo natural de decomposição biológica de materiais orgânicos de origem animal ou vegetal, pela ação de microrganismos, o composto formado pode ser usado como adubo no solo.

RECICLAGEM: reciclagem é a separação de materiais do lixo domiciliar, como papéis, plásticos, vidros e metais, com a finalidade de trazê-los de volta à indústria, para serem beneficiados e retornar como matéria prima novamente.

Central de Tratamento de Resíduos

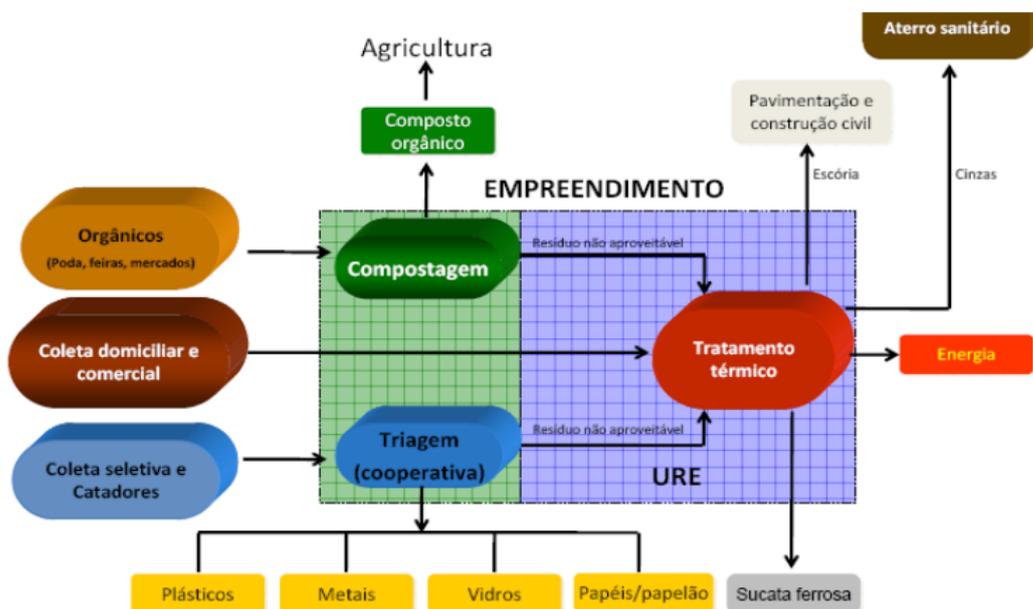


Figura 1. Central de Tratamento de Resíduos.
Fonte: Cortez (2012).

A Lei Federal n.º 12.305 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos foi promulgada em 2/8/2010

A Lei n.º 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é bastante atual e contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos (BRASIL 2010).

Trata da prevenção e redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado).

Institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pré-consumo e pós-consumo.

Cria metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal, metropolitano e municipal; além de impor que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

Também coloca o Brasil em patamar de igualdade aos principais países desenvolvidos no que concerne ao marco legal e inova com a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, tanto na Logística Reversa quando na Coleta Seletiva.

ESTADO	FUNDAMENTO LEGAL	PRINCIPAIS TEMAS
MG	Lei n.º Estadual 18.303/00	Elaboração de Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais Proibição de Lançamento e Queima a Céu Aberto Observância de Normas Técnicas (ABNT, ANVISA e Preferência de Compras e Contratações Públicas de Produtos e Serviços de Reaproveitamento de Resíduos Previsão de Incentivos Fiscais, Tributários e/ou Credíticios.

Quadro 1. Principais aspectos das políticas no Estado de Minas Gerais.

Fonte: Adaptado de Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE), Política Nacional de Resíduos Sólidos-Balanço 2014, a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos sólidos, segundo a lei, apenas os Resíduos Urbanos (domiciliares e de limpeza urbana) são de Responsabilidade Pública, ou seja, do Município. Os demais resíduos, tais como: industriais, de saúde, construção civil dentre outros, conforme Figura 02, são de responsabilidade dos Geradores (ABETRE, 2014).



Figura 2. Responsabilidade Pelo Gerenciamento – Segundo A Lei.
Fonte: ABETRE (2014).

Ainda segundo a ABETRE (2014), na prática, os municípios assumem o gerenciamento de outros resíduos, que não se enquadram como limpeza urbana, mas que inevitavelmente a impactam.



Figura 3. Responsabilidade pelo gerenciamento na prática.
Fonte: ABETRE (2014).

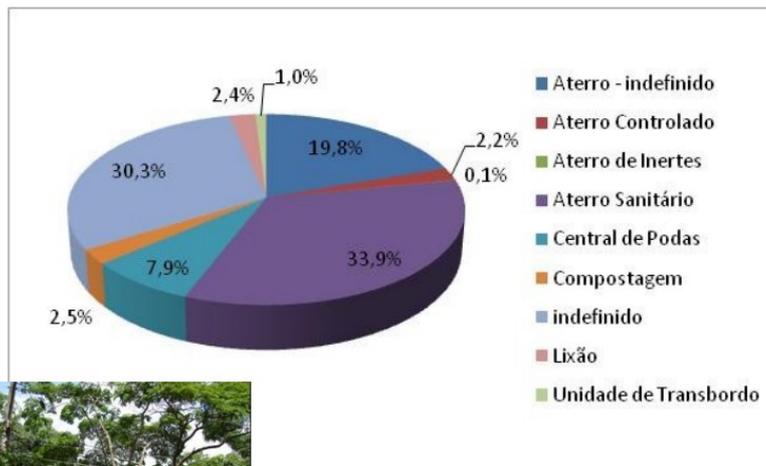
Resíduos sólidos, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, são definidos como quaisquer resíduos que se apresentem nos estados sólido e semi-sólido resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (ABNT, 2004). Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

3.2 Resíduos Vegetais

Resíduo vegetal é aquele originário da poda ou corte (remoção) de árvores e plantas. Portanto, podemos dizer, em outras palavras, que são resíduos da jardinagem e arborização urbana. Este tipo de lixo é composto por galhos e cascas de árvores, troncos, gramas, folhas verdes ou secas, flores, sementes, raízes, e outros materiais orgânicos de origem vegetal (LIMA, 2004).

Por não serem dependentes de uma atividade industrial, os resíduos de poda urbana têm grande potencial de utilização, pois são abundantes e independem do mercado econômico. A dificuldade na utilização dos resíduos de poda urbana reside, na maior parte das vezes, na gestão amadora e desorganizada feita pelos municípios brasileiros, que geralmente não têm controle da quantidade gerada e acabam desperdiçando este importante insumo (CORTEZ, 2011, p. 44).

Resíduos Poda Urbana



Fonte: (Elaborado a partir de SNSA, 2010b)

Compostagem e Central de Podas – 10,4%
Aterros e Lixões – 58,3%
Indefinido – 30,3%

Figura 4. Destino dos resíduos verde.
Fonte: Cortez (2012).

Dos resíduos vegetais pode-se produzir uma quantidade substancial de energia, pois globalmente estão neles contidas várias toneladas de biomassa. No entanto, estes resíduos são muitas vezes subaproveitados do ponto de vista das suas potencialidades para valorização energética, em especial os resíduos vegetais urbanos representando uma enorme perda de recursos (PEREIRA, 2013, p.6).

De acordo com os critérios de riscos estabelecidos pela ABNT, os resíduos de poda de árvores, apesar do alto teor de lignina, são biodegradáveis e classificados como Classe II não inertes. Pela PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos), os resíduos de poda urbana quanto à periculosidade não são perigosos e do tipo resíduo de limpeza urbana. Se agregados aos resíduos domiciliares passam a ser do tipo resíduo sólido urbano.



Figura 5. Troncos e galhos de árvores.
Fonte: Autor (2018).



Figura 6. Gramíneas podadas.
Fonte: Autor (2018).



Figura 7. Máquina carregando resíduos.
Fonte: Autor (2018).



Figura 8. Gramíneas depositadas no Distrito Industrial.
Fonte: Autor (2018).



Figura 9. Cavacos depositadas no Distrito Industrial.
Fonte: Autor (2018).

3.3 Composição da Biomassa

A biomassa celulósica é, na verdade, uma mistura complexa de polímeros naturais, os carboidratos conhecidos como celulose e, as hemiceluloses, a lignina e uma pequena quantidade de outras substâncias, tais como, extrativos e cinzas. A celulose é a maior porção e representa cerca de 40% a 50% do material. As partes remanescentes são formadas, predominantemente, por lignina e uma quantidade menor de extrativos. A celulose é composta por moléculas de glicose, ligadas umas às outras em longas cadeias que formam uma estrutura cristalina. Para árvores de coníferas, o componente predominante da hemicelulose é a xilose (MOREIRAS, 1997).

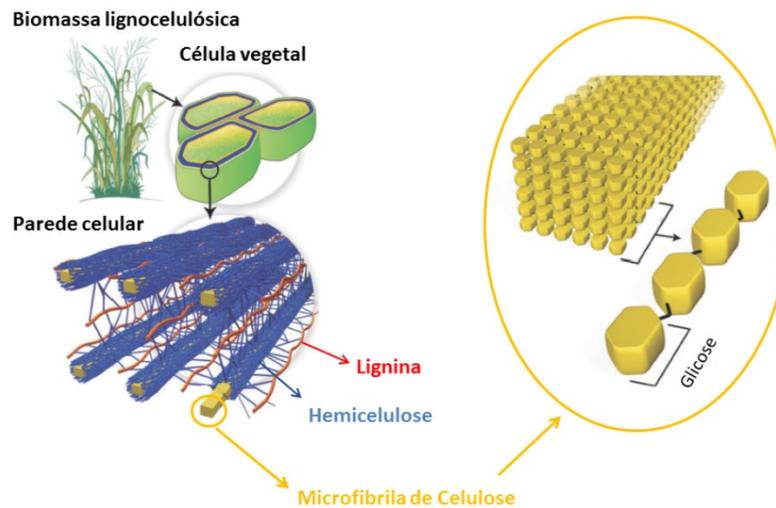


Figura 10. Esquema ilustrativo da estrutura dos materiais lignocelulósicos.
 Fonte: SANTOS, F.A.et.al.(2012)

A composição da biomassa apresenta um papel importante na distribuição dos produtos de pirólise. Cada material exibe uma característica particular quando é pirolizado devido à proporção dos componentes que o constitui (BRIDGWATER, 2002).

Segundo Freitas *et al.* (1996), a energia da biomassa se divide em:

- 3000 MW de potência instalada em co-geração a partir de bagaço de cana – de açúcar;
- 1000 MW de potência instalada em co-geração a partir de resíduos da indústria de papel e celulose;
- 250 MW de potência instalada em termelétricas a lenha obtida de florestas plantadas;
- 150 MW de potência instalada em sistemas de geração elétrica de pequena escala utilizando óleos vegetais;
- 12 milhões de toneladas de carvão vegetal/ano, sendo todo o acréscimo em relação à produção atual (cerca de 10 milhões de toneladas/ano) obtido de forma sustentável;
- 18 bilhões de litros/ano de álcool etílico para fins carburantes, ~ 20 milhões de litros/ano de óleos vegetais carburantes;
- 80.000 m³ de biogás (resíduos urbanos, industriais e rurais);
- 3 milhões de hectares adicionais de reflorestamento com espécies nativas e exóticas.

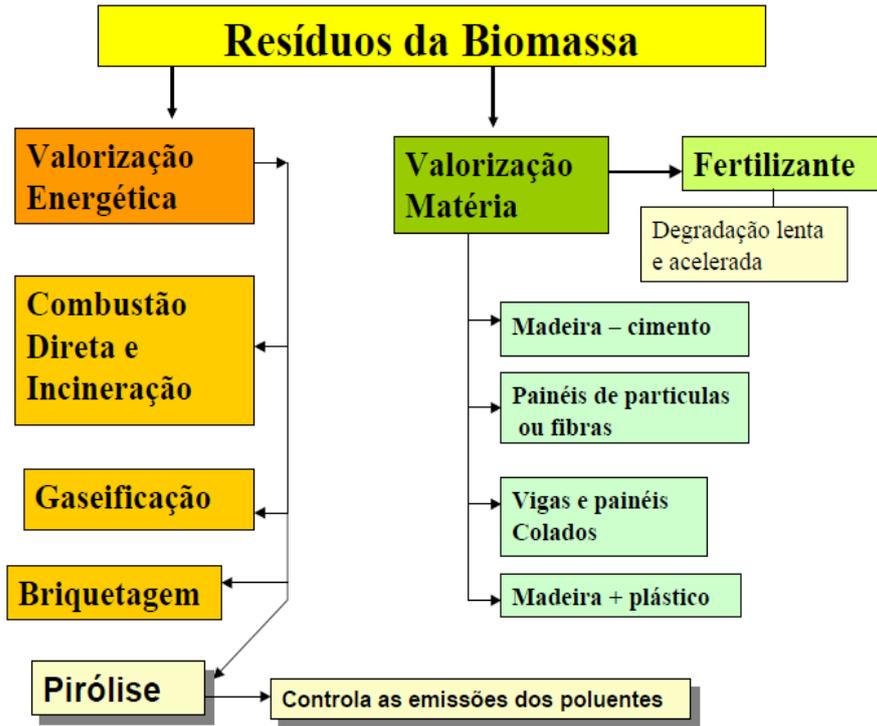


Figura 11. Possibilidades de aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos.
 Fonte: Quirino (2004).

3.4 Conversões Energéticas para os Resíduos Agroflorestais

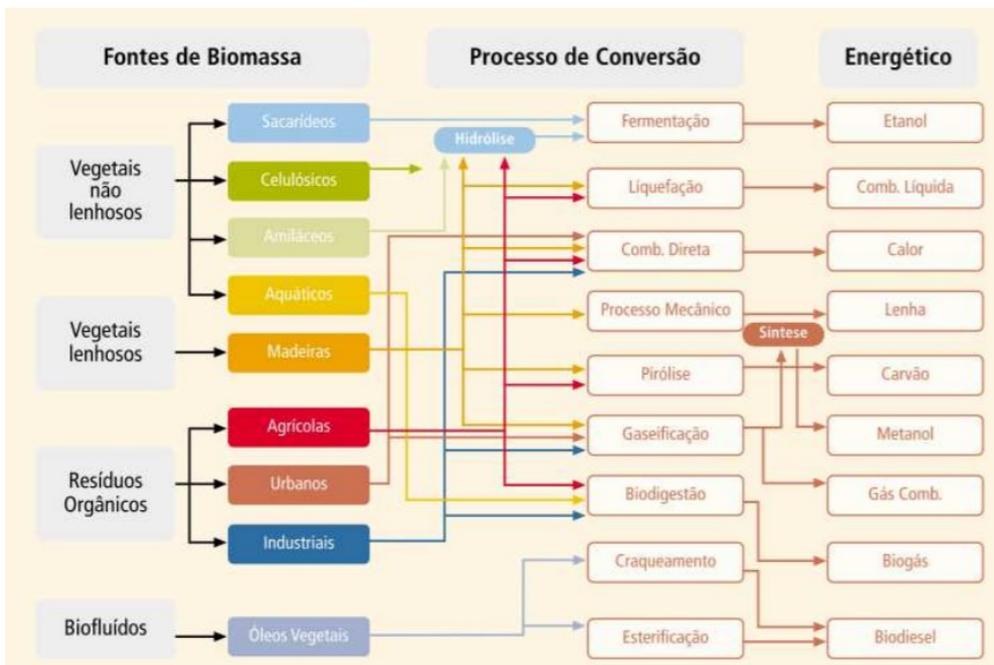


Figura 12. Diagrama dos processos de conversão da biomassa.
 Fonte: ANEEL (2010)

Em geral, a utilização de resíduo agroflorestal “*in natura*” como combustível possui baixa eficiência energética, sendo necessária, na maioria dos casos, a utilização de processos industriais para tentar corrigir algumas propriedades apresentadas, tais como: baixa densidade, alta umidade e baixo poder calorífico (RAVAGLIA, 1967).

Os principais métodos de conversão termoquímica da biomassa são: a pirólise, a liquefação, a gaseificação e a combustão (MARTINS, 1990).

Pirólise

A pirólise é o processo pelo qual a biomassa é aquecida com taxas de temperatura controlada em ambiente fechado em ausência de agente oxidante (ar ou oxigênio).

Gases, vapores d’água, líquidos orgânicos, alcatrão e principalmente carvão são os produtos resultantes do processo (KULESZA; GERMAN, 2003). A pirólise é também chamada de destilação seca, pois ocorre uma decomposição térmica da biomassa, separando-a em vários componentes.

Esses componentes obtidos e suas quantidades dependem basicamente de quatro fatores: taxa de aquecimento, temperatura final, tempo de residência à temperatura final e das dimensões da biomassa pirolisada. Através da variação desses parâmetros consegue-se obter produtos diferentes (JUVILLAR, 1980).

Rendimentos dos produtos típicos obtidos por meio de diferentes formas de pirólise de madeira (base seca) são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Rendimentos dos produtos típicos obtidos por meio de diferentes formas de pirólise de madeira (base seca).

PIRÓLISE	TEMPERATURAS	LÍQUIDO%	CARVÃO%	GÁS%
Pirólise rápida	Temperaturas moderadas (450-550°C), curtos tempos de residência dos vapores e biomassa com baixa granulometria	75	12	13
Carbonização	Baixas temperaturas (400-450°C), curtos tempos de residência (pode ser de horas ou dias), partículas grandes.	30	35	35
Gaseificação	Alta temperatura (900°C), longos tempos de residência	5	10	85

Fonte: Bridgwater (2002).

A evolução dos voláteis com a temperatura na maioria das biomassas se dá da seguinte forma:

TEMPERATURA	EVOLUÇÃO DOS VOLÁTEIS
100-200°C	Volatilização da água presente
200-280°C	Moléculas leves (CO, CO ₂ , H ₂ O), alcatrão (fenóis, ácidos orgânicos), ácido acético, metano, entre outros.
280-450°C	Hidrocarbonetos pesados

Quadro 2. Evolução dos voláteis com a temperatura.

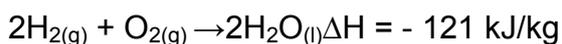
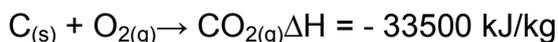
Fonte: Martins (1990 *apud* GONÇALVES, 2006)

Gaseificação

A gaseificação de biomassa é um processo de transformação da matéria sólida vegetal em gás combustível, gerando CO, H₂ e CH₄ como produtos mais importantes. O gaseificador é essencialmente um forno, onde se oxida biomassa em condições controladas, tendo como meio oxidante o oxigênio (ou ar) e vapor d'água. Os processos de gaseificação industrial se realizam no gasogênio ou gaseificador (ASSUMPÇÃO, 1981).

Combustão

Processo destrutivo das moléculas carbonadas da biomassa, ocorrendo com excesso de oxigênio, resultando em aumento de temperatura e liberação de energia (GOMES; OLIVEIRA, 1980). As principais reações que ocorrem com os componentes elementares (C, H) da biomassa com o oxigênio da sua própria constituição mais o oxigênio do ar são:



Deve-se ressaltar que a combustão é utilizada somente para obtenção de energia térmica e não para aumentar a eficiência energética da biomassa como em outros processos citados. Um fator relevante na eficiência da combustão é o teor de umidade. Quanto maior a umidade, menor é a eficiência do processo, e menor a

energia útil, pois parte da energia de combustão é utilizada para a vaporização da água (GOMES; OLIVEIRA, 1980).

3.5 Maneiras de Utilização e Valorização de um Resíduo Lignocelulósico

Um resíduo lignocelulósico pode ser reciclado ou reutilizado como matéria-prima em um processo diferente daquele de origem. Por exemplo, os resíduos podem ser utilizados energeticamente na produção de calor, de vapor ou de eletricidade em grupos geradores, ou termelétricas. Esses resíduos podem ser aproveitados na forma sólida, como briquete ou carvão vegetal. Pode, ainda, se gaseificado transformar-se em um combustível gasoso ou utilizado como gás de síntese (IBAMA, 2009).



Figura 13. Mostra de Pellets e Briquetes.
Fonte: DayangBriquetteMachinery (2018).

O detalhamento do processo de briquetagem ou a transformação de biomassa residual em briquetes consiste na trituração da madeira (moagem) e posterior compactação a elevadas pressões, o que provoca a elevação da temperatura do processamento na ordem de 100°C. O aumento da temperatura provoca a "plastificação" da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas de madeira. Para que esta aglomeração tenha sucesso, necessita da presença de uma quantidade de água, compreendida entre 8 a 15% de umidade, e que o tamanho das partículas esteja entre 5 a 10mm (QUIRINO, 2004).

VANTAGENS AMBIENTAIS	VANTAGENS ECONÔMICAS
É totalmente liberado pelo IBAMA	Alto valor agregado
Dispensa guia e reposição florestal junto ao órgão fiscalizador	Pronto para a queima
Carbono neutro (<i>carbon free</i>)	Alto poder calorífico
Energia limpa; possui o menor índice de poluição comparado aos outros combustíveis	Fácil manuseio, armazenamento e transporte
Fonte de energia	Melhor custo/ benefício

Quadro 3. Potencial dos briquetes

Fonte: Brand (2007).

O briquete é uma alternativa para o aproveitamento energético de qualquer biomassa vegetal. Quirino (2007) afirmou que a técnica de compactação de resíduos para uso energético é pouco conhecida e utilizada no Brasil. Os empresários, ao tomarem conhecimento desta técnica, mostram-se surpresos e interessados por causa do ganho para a empresa. Pesquisas apontam como uma das principais vantagens na utilização do briquete o preço, que, em geral, é menor que algumas fontes de energia concorrentes (elétrica, gás, lenha). Vale e Gentil (2008) afirmaram que, em comparação com a lenha, seu concorrente direto, o briquete possui maior densidade energética, tem maior rapidez na geração de temperatura e calor, proporciona redução dos custos de transporte, proporciona menor custo de manuseio, infraestrutura de armazenamento, movimentação, mão-de-obra, encargos sociais, maior apelo ambiental por ser produzido de resíduos. No quadro 4 é apresentado as propriedades energéticas da madeira em relação ao briquete.

Fator	Madeira	Briquete
Umidade	80,0%	12,0%
Poder calorífico	1.450 kcal/kg	4.553 kcal/kg
Densidade	314 kg/m ³	700 kg/m ³

Quadro 4. Propriedades energéticas da madeira em relação ao briquete.

Fonte: Quirino (2007).

3.6 Resíduos de biomassa vegetal para geração de energia

A crise energética tem exigido novas fontes que substituam aquelas que se tornam escassas, ao mesmo tempo respeitando os ciclos naturais, para não agravar ainda as duas outras crises (água e ar). Em vista destes fatores e com os crescentes aumentos verificados no preço dos combustíveis de origem fóssil, fontes de energias

renováveis – como a biomassa - são possíveis soluções para este problema, especialmente o da escassez de recursos não-renováveis, como o petróleo (ROWELL, 1996).

Os combustíveis sólidos sempre foram uma fonte energética de grande importância na história do homem. A lenha é utilizada desde os períodos pré-históricos enquanto que o carvão vegetal e mineral foram utilizados em grande escala na revolução industrial durante os séculos XVIII e XIX. Já no século XX, ao lado desses combustíveis sólidos tradicionais, novas formas de energia tomaram grandes proporções em termos de consumo como os derivados de petróleo, energia hidráulica e nuclear (MARTINS, 1990).

Dentre os combustíveis sólidos renováveis, a lenha apresenta grande importância em termos de consumo, principalmente nos setores residenciais, industriais e rurais (EPE, 2017).

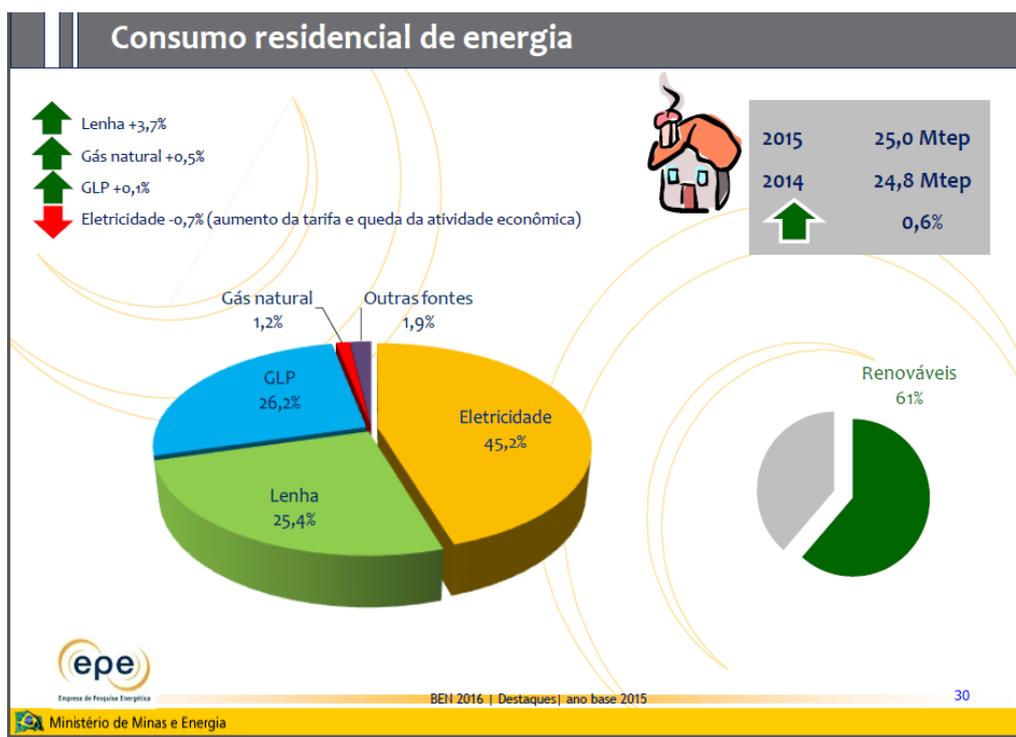


Figura 14. Consumo residencial de energia.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Rio de Janeiro, RJ - 2017.

4 PARTE EXPERIMENTAL



Figura 15. Localização do município de Uberlândia, Minas Gerais.
Fonte: Google Earth (2019).

O estudo sobre a destinação dos resíduos verdes foi realizado no município de Uberlândia, cidade localizada no Triângulo Mineiro, Minas Gerais, numa altitude de 843 m, distante 586 km da capital Belo Horizonte. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2010), Uberlândia, cidade do Estado de Minas Gerais, segundo dados do IBGE apresenta:

PARÂMETRO	VALOR	DATA DO CENSO
Área da Unidade Territorial	4.115,206 km ²	2016
Esgotamento Sanitário Adequado	98,2 %	2010
Arborização de Vias Públicas	95,2%	2010
Urbanização de Vias Públicas	33%	2010
População no Último Censo	604.013 pessoas	2010
População Estimada	676.613 pessoas	2017
Densidade Demográfica	146,78 hab/km ²	2010
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	0,789	2010

Quadro 5. Dados estatísticos e geográficos do município de Uberlândia.
Fonte: IBGE (2010).

O município de Uberlândia, até o ano de 2016, depositava os resíduos de massa verde no antigo e novo aterro sanitário, comprometendo-o quanto a sua capacidade volumétrica. A partir desse ano iniciou-se um processo licitatório, Concorrência Pública, com critério de julgamento “menor preço por tonelada”, com o seguinte objeto:

Contratação de empresa para prestação de serviços de recebimento, triagem, gestão, destinação e disposição final ambientalmente adequada de resíduos da massa verde provenientes de conservação e limpeza de áreas verdes e espaços públicos, dos ecopontos, das podas de árvores e da roçagem de lotes vagos e canteiros, com fornecimento de área licenciada, mão de obra, equipamentos e materiais e produção parcial de adubo orgânico, conforme descrições e especificações contidas neste Edital e no seu Anexo I (Termo de Referência), sob o regime de empreitada por preços unitários (PMU, 2019, s.p.).

No ano de 2017 realizou-se novo processo licitatório tipo Concorrência Pública, com o mesmo objeto da de 2016, com o volume aproximado de 1.250 toneladas/mês.

A empresa vencedora do certame foi a Consórcio Verde, o valor por tonelada recebida foi de R\$193,44 (cento e noventa e três reais e quarenta e quatro centavos), totalizando o montante de R\$2.901.600,00 (dois milhões, novecentos e um mil e seiscentos reais) anuais.

De acordo com dados da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbanístico, são geradas atualmente, conforme contrato com a empresa vencedora uma média de 1.250 (um mil duzentas e cinquenta) toneladas/mês de “massa verde”, essa oriunda de corte e podas de árvores e gramíneas de áreas públicas e particulares. As podas das áreas públicas são de canteiros centrais, praças, escolas e prédios públicos. As vindas de particulares são as descartadas nos Ecopontos e, algumas coletadas nos pontos críticos de descartes irregulares no município.

Ecopontos. O Ecoponto é um Ponto de Entrega Voluntária-PEV, faz parte do Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos e suas atividades e estruturas, compõem o conjunto dos serviços municipais de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

Os Ecopontos têm por objetivo o recebimento e destinação de pequeno volume de resíduos domiciliares gerado em reformas ou demolição residencial (resíduos da construção civil) até 1m³, e resíduos de podas e aparas de árvores e jardins, servindo também como ponto de entrega voluntária (PEV) de materiais recicláveis diversos, inclusive óleo de cozinha.

Atualmente existem 13 Ecopontos distribuídos na cidade em diferentes bairros, atendendo uma população de mais de 150 mil habitantes.

Segundo informações da Prefeitura Municipal de Uberlândia, as quantidades geradas e enviadas à empresa Consórcio Verde, em 2017 e 2018, foram as seguintes:

ANO	MÊS	PESO (t)	TOTAL (t)
2018	Janeiro	2095,22	10.389,23
	Fevereiro	2080,49	
	Março	1873,75	
	Abril	1816,66	
	Maiο	1439,02	
	Junho	1082,09	
2017	Março	1152,7	10.658,99
	Abril	1308,39	
	Maiο	1512,86	
	Jun/17	1016,7	
	Julho	897,26	
	Agosto	836,85	
	Setembro	863,19	
	Outubro	934,4	
	Novembro	1168,1	
	Dezembro	968,54	

Quadro 6. Recebimento mensal de resíduos verdes - Consórcio Verde.

Fonte: Prefeitura Municipal de Uberlândia (2018).

No ano de 2017, de março até dezembro obteve uma média de 1.065 t/mês de coleta e entrega de massa verde. Já no ano de 2018, de janeiro até junho obteve uma média de 1.731 t/mês.

Os serviços de poda e corte de árvores, bem como o de roçagem de praças, áreas públicas e afins são realizados pela Prefeitura (Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbanístico) e também por empresas terceirizadas. Os resíduos verdes, “massa verde” gerados, após serem coletados são levados para o Distrito Industrial, pela empresa vencedora do processo licitatório, onde são triados e triturados para aproveitamento, produção de composto e uso como

possível combustível em caldeiras. Atualmente estão no pátio da empresa na forma de composto orgânico e cavacos.

Das responsabilidades - A definição das responsabilidades públicas e privadas sobre os resíduos estão diretamente relacionadas à natureza do mesmo, origem e volume gerado, conforme tabela abaixo:

TIPO	CARACTERISTICAS	RESPONSABILIDADES
Resíduos domiciliares	Residências	Gerador e Prefeitura
Resíduos comerciais	Pequeno gerador (< 200kg/dia)	Gerador e Prefeitura
Resíduos comerciais	Grande gerador (>200 kg/dia)	Gerador
Limpeza pública	Equipamentos e áreas públicas	Prefeitura
Resíduos verdes	Equipamentos e áreas públicas	Prefeitura
Resíduos verdes	Pequeno gerador (<1 m ³ /dia)	Gerador e Prefeitura
Resíduos verdes	Grande gerador (>1 m ³ /dia)	Gerador

Quadro 7. Definição das responsabilidades públicas e privadas sobre os resíduos

Fonte: Secretaria Municipal de Serviços Urbanos (2013).

As amostras analisadas foram coletadas no local de triagem e trituração localizado no Distrito Industrial, e homogeneizadas através de técnicas de quarteamento estabelecido na norma ABNT NBR 10.007:2004. Este método consiste em um processo de divisão de uma amostra pré-homogeneizada em quatro partes iguais, sendo que duas partes opostas são tomadas para constituir uma nova amostra, descartando-se as partes restantes para então, serem misturadas totalmente e repetir o processo de quarteamento até obter o volume desejado (ABNT, 2004).



Figura 16. Cavaco.
Fonte: Autor (2018)

Analisando as amostras da massa verde, verificou-se que, aproximadamente 40% são de gramíneas, gramas e brachiárias principalmente e, 60% de troncos, galhos e folhas de árvores. Lembrando da existência do fator sazonal, pois no período de verão, caracterizado pela constância de chuvas, há um aumento de gramíneas, ao passo que no inverno e primavera a parte de troncos, galhos e folhas é maior.

A proporção de geração de massa verde pela população é de 1,84kg/mês/pessoa.

A gestão inadequada dos resíduos de massa verde acarreta vários problemas ao município, tais como: incêndios, poluição visual e ambiental, custos à Prefeitura para retirada e destinação correta e, ainda, desperdício de matéria-prima que pode ser utilizada na fabricação de produtos diversos, compostagem e na geração de energia.

As figuras 18 e 19 mostram o aspecto dos cavacos após trituração no desintegrador mostrado na Fig. 17.



Figura 17. Desintegrador. Marca: CREMASCO. Modelo: DP-2M.
Fonte: Autor (2018)



Figura 18. Resíduos de cavacos e gramíneas triturados prontos para moer.
Fonte: Autor (2018).



Figura 19. Moinho com amostras de cavaco.
Marca: MARCONI, Modelo: MA048
Fonte: Autor (2018).

4.1 Material e Métodos

Para obtenção do material mostrado nas figuras citadas ao final do capítulo 3, foram coletadas algumas amostras na área de depósito no Distrito Industrial, em vários pontos diferentes a fim de termos uma amostra final significativa, perfazendo 5kg de gramíneas e 5kg de cavacos (troncos, galhos e folhas de árvores), que foram homogeneizados e, em seguida, submetidos às seguintes análises:

Teor de umidade

A análise foi realizada no aparelho determinador de umidade da marca QUIMIS que, constitui em uma balança de sensibilidade 0,0001g, que aquece a amostra através de luz infravermelho, vaporiza a água, eliminando-a da amostra.

Procedimento: liga-se o aparelho, coloca-se 1g da biomassa no recipiente (prato de balança com papel alumínio), tara-se a balança e, aguarda tempo necessário de operação, até o valor de umidade ficar constante. A partir daí faz-se a leitura da massa. A diferença de massa é o valor da umidade da amostra.

Teor de extrativos (TAPPI T204 cm-97)

A extração foi realizada empregando-se como solvente extrator uma mistura de ciclohexano e etanol na proporção 1:1. Para o procedimento, 5,0 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, o qual acoplou-se a um balão de fundo redondo contendo 150,0 mL da mistura (ciclohexano/etanol) e a um condensador.

Apoiou-se o conjunto sobre uma manta de aquecimento, permanecendo sob refluxo por um período de 24 horas após o início do primeiro refluxo. Terminado este tempo, interrompeu-se o aquecimento e o sistema foi resfriado até a temperatura ambiente. Retirou-se os papéis de filtro do extrator, colocou-se em capela de exaustão para evaporação dos solventes e depois em estufa a 105°C por 03 horas para finalizar a secagem. Determinou-se o conteúdo de extrativos, com base na diferença, em massa, da amostra seca antes e após o processo de extração.

Granulometria (ABNT NBR 7402/1982)

Para esta etapa utilizou-se um conjunto de peneiras com abertura de malha entre 250-850µm. A base do conjunto é uma peneira cega que coleta os sólidos que passaram pelas peneiras anteriores. Pesou-se as peneiras vazias individualmente e colou-se em ordem decrescente de abertura de malha.

No topo do conjunto, adicionou-se cerca de 70,0 gramas de gramíneas e, 100,0 gramas para o cavaco seco e agitou-se (Figura 14) por 20 minutos. Finalizada a agitação, pesou-se o cavaco e a gramínea retido em cada peneira.

Lignina insolúvel

A determinação do teor de lignina Klason foi realizada em triplicata segundo a norma TAPPI T13M-54 modificada.

Procedimentos:

Pesou-se cerca de 1g (com precisão de 0,001g) da amostra seca em um almofariz previamente tarado. Ao almofariz adicionou-se 15,0mL de solução de ácido sulfúrico 72% (m/m) ($d=1,6389$ g/mL), macerou-se a mistura 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 redondo de 1L, e completou-se o volume até 0,560 L com água destilada e aqueceu-se 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 $105^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por um período de 12 horas, o qual foi resfriado em um dessecador até obtenção de massa constante e pesado. Determinou-se a porcentagem de lignina Klason insolúvel, com base na massa de amostra de lignina insolúvel e com a massa de amostra inicial.

Lignina solúvel

Durante o experimento de determinação da lignina insolúvel, uma pequena porção da lignina se solubilizou na solução, por esse motivo, recolheu-se uma alíquota do filtrado ácido para determinação do teor de lignina solúvel, em espectrofotômetro de UV visível, em comprimento de onda de 280nm (FUKUSHIMA; HATFIELD, 2005). (Fig. 20).



Figura 20. Espectrofotômetro. Marca: SHIMADZU. Modelo: UV-2501 PC.
Fonte: Autor (2018).

Procedimento:

- 1) A partir do filtrado (lignina solúvel em meio ácido) obtido na etapa de determinação de lignina insolúvel, preparou-se as soluções em triplicata;
- 2) Diluiu-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 mL;
- 3) 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 mL;
- 4) Mediu-se as absorvâncias das soluções nos comprimentos de onda de 215 e 280nm.

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.

Poder calorífico

O poder calorífico tem sido frequentemente usado como um coeficiente para avaliação da importância econômica relativa dos diversos combustíveis. De acordo com Mialhe (1980), o poder calorífico é a quantidade de calor liberado por um combustível durante a sua combustão completa e que quando o combustível contém hidrogênio, um dos produtos da combustão é a água, que existirá nas formas líquida, vapor ou líquida mais vapor.

O poder calorífico de combustíveis é determinado por uma bomba calorimétrica (Figura 16), utilizando para tal a norma ASTM E 711-87 (ASTM, 1992), onde a combustão é efetuada em ambiente com alta pressão de oxigênio.

Procedimento:

- 1) Para a biomassa, peneirou-se e separou-se a granulometria de 60 mesh (0,25mm) para o experimento.
- 2) Primeiramente, prensou-se as amostras de biomassa (triplicata) na forma de pastilhas com aproximadamente 1 g cada uma e secou-se em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ para

eliminar a umidade.

3) Pesou-se as amostras novamente e levou-se para queimar na bomba calorimétrica (Fig. 21).



Figura 21. Bomba calorimétrica marca IKA WORKS c-20..
Fonte: Autor (2018).

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) (IONASHIRO, 2004).

Termogravimetria (TG) e DTG Diferencial

A análise termogravimétrica representa a perda de massa em função do aumento da temperatura e foi realizada em atmosfera inerte (N_2). Geralmente as perdas de massa em temperaturas inferiores a $100^\circ C$, 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 máxima (DERMIBAS, 2004).

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 biomassa (COSTA *et al.*, 2004).

As análises termogravimétricas foram realizadas num equipamento analisador termogravimétrico.

TOC - Carbono Orgânico Total

A determinação do teor de matéria orgânica nas amostras foi realizada de acordo com metodologia proposta por Carmo e Silva (2012), 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, acondicionou-se os cadinhos de cerâmica com as amostras em forno tipo mufla e incinerou-se em uma temperatura de 550°C, por 3 h. Posteriormente, acondicionou-se o conjunto (cadinho e resíduos) em dessecador e, em seguida, pesou-se.

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).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do material

Tabela 2. Teor de Umidade.

COMPONENTES	GRAMINEAS (%)	CAVACOS (%)
UMIDADE	6,9	10,0

Fonte: Autor (2018)

Tabela 3. Teor de Extrativos.

COMPONENTES	GRAMÍNEAS (%)	CAVACOS (%)
EXTRATIVOS	16,88±0,11	10,26±1,36

Fonte: Autor (2018).

Tabela 4. Granulometria.

N° PENEIRA	PESO PENEIRA/g	DIÂMETRO/mm	PESO/g	
			GRAMA	CAVACO
12	370,06	1,40	0,75	3,29
20	384,65	850	5,5	23,72
32	352,64	500	13,34	24,65
48	358,45	300	14,98	17,78
60	348,06	250	3,93	4,19
FUNDO	354,93		27,52	21,77
TOTAL			66,02	95,39

Fonte: Autor (2018)

Tabela 5. Lignina Insolúvel.

COMPONENTES	GRAMÍNEAS (%)	CAVACOS (%)
LIGNINA INSOLÚVEL	24,23±0,017	31,72±0,018

Fonte: Autor (2018).

Tabela 6.Lignina Solúvel.

COMPONENTES	GRAMÍNEAS (%)	CAVACOS (%)
LIGNINA SOLÚVEL	0,063±,002	0,057±0,010

Fonte: Autor (2018).

Na análise de laboratório, os resultados foram os seguintes:

Tabela 7. TOC-Carbono Orgânico Total.

AMOSTRA	MO%
CAVACO	98,1
GRAMÍNEAS	73,23

Fonte: Autor (2018).

Utilizando a fórmula análise de regressão, conforme Carmo e Silva (2012) :

Na análise obteve-se Teor de CO = 0,425 X MO – 2,064.

Tabela 8. Teor de CO = 0,425 X MO – 2,064.

AMOSTRA	CO (Carbono Orgânico)
CAVACO	39,6
GRAMÍNEAS	29,05

Fonte: Autor (2018).

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).

AMOSTRA	RESÍDUO
8	Casca de pinus
33	Esterco(cama) de codorna

Quadro 8. Amostras de resíduos orgânicos utilizados nas marchas de quantificação dos teores de C e de MO.

Tabela 9. 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(2) & Carlos Alberto Silva(3)

Tabela 10. Teor de Cinzas.

MATERIAL	TEOR DE CINZAS
GRAMA	3,00%
CAVACO	8,00%

Fonte: Autor (2018).

Tabela 11. Celulose.

COMPONENTES	GRAMÍNEAS (%)	CAVACOS (%)
CELULOSE	46,31	40,30

Fonte: Autor (2018).

Os resultados estão de acordo com a composição química da biomassa lignocelulósica da tabela a seguir:

Tabela 12. Composição química da biomassa lignocelulósica.

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

Fonte: SANTOS *et al.*, (2012)

Tabela 13. Poder Calorífico

AMOSTRAS	kcal/kg
GRAMINEAS	4.048
CAVACOS	4.397

Fonte: Autor (2018).

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

Tabela 14. 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: Viana (2011).

5.2 Quantificação energética do material

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

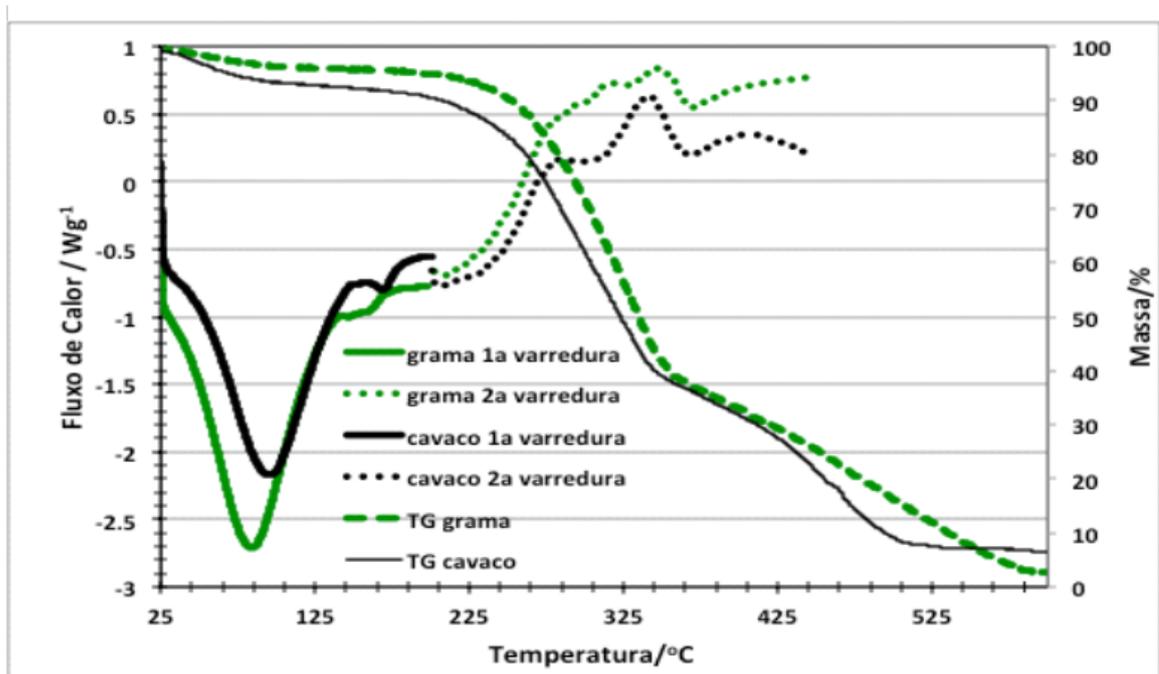


Figura 22. Resultados de TGA e DSC.

Fonte: Autor (2018).

Na figura 22 pode-se notar que a intensidade do sinal do DSC de saída da água-endotérmica, com máximo em 79°C para a grama, que aparenta ser maior do que o mesmo sinal para o cavaco em 97°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 (temperatura de início de degradação) = 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.

6 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 apresentado, há viabilidade no aproveitamento energético da massa verde urbana, com várias possibilidades de valorização, conforme as tecnologias disponíveis.

7 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 conseqüente 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.

8 REFERÊNCIAS

ABETRE. Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos. **Política nacional de resíduos sólidos balanço 2014**. BEL, D. D. (org.). ABETRE, 2014. Disponível em: <<http://www.abetre.org.br/estudos-e-publicacoes/publicacoes/publicacoes-abetre/classificacao-de-residuos>>. Acesso em 11 abr. 2018.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10007 - Resíduos Sólidos. Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <<http://analiticaqmcredios.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em 17 jul. 2018.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa**. Aneel, 2010. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em 02 ago. 2018.

ASSUMPÇÃO, R. M. V., Gaseificação de madeira e carvão vegetal. Princípios e aplicações. *In*: Gaseificação de madeira e carvão vegetal. **Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC**, v.1, p. 53, 72, Belo Horizonte, 1981.

ASTM. **Standard Test Method for Gross Calorific Value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter**. ASTM International West Conshohocken: PA, 1992.

BARROS, C.; PAULINO, W. R. Ciências: **O meio ambiente**. São Paulo: Ática, 2002.

BORGES, K. **O estudo do monitoramento dos impactos pós-implantação do aterro sanitário de Uberlândia/MG**. 2016. 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil, Uberlândia, MG, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19899/6/EstudoMonitoramentoImpactos.pdf>>. Acesso em 02 jun. 2018.

BRAND, M. A.; COSTA, V. J. **Geração de energia: o futuro da biomassa florestal**. In: BINOTTO, E. (Org.). Tecnologia e processos agroindustriais. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2007. p. 141-158.

BRIDGWATER, A. V. **Fast pyrolysis of biomass: a handbook**. v. 2. CPL Press: Nwebury, U.K., 2002. 432p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Biomassa**. 2015. Disponível em: <WWW.mct.gov.br>. Acesso em: 4 jul. 2018.

_____. **Lei Federal nº 12.305/2010**. Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 21/03/2013.

CARMO, L.C.; SILVA, C.A. Métodos de quantificação de carbono e matéria Orgânica em resíduos Orgânicos. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 36:1211-1220. 2012.

CORTEZ, C. L. **Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia: estudo de caso: AES Eletropaulo**. 2011. 246f. Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Energia), Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-13092011-151318/pt-br.php>>. Acesso 28 jul. 2018.

_____. Resíduos como alternativa de solução energética: biomassa no Brasil. **VIII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL**, Porto Alegre-RS, 11 a 13 de junho de 2012. Disponível em: <<http://www.abess.org.br/qualidade2012/cristiane-cortez.pdf>>. Acesso em 20 mai. 2018.

COSTA, T. M. S.; MARTINELLI, J. R.; MATOS, J. R. 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.

DAYANG BRIQUETTE MACHINERY. **Equipamentos mais potentes em 2018** - máquina de imprensa de rolos. 2018. Disponível em: <<http://pt.dayang-briquetteplant.com/news/most-powerful-rollers-press-machine-19421019.html>>. Acesso em 20 mai. 2018.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. **Progress Energy Combust. Sci.**, v. 30, p. 219–230, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128503000789>>. Acesso em 20 mai. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2003.10.004>

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

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2017**: Ano base 2016. Rio de Janeiro : EPE, 2017. 296p.

FREITAS, M. A. V. de *et al.*. Tópicos Atuais: O foro permanente das energias renováveis e o desenvolvimento das energias solar, eólica, da biomassa e das pequenas centrais hidroenergéticas no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 6, n. 1, 1999. Disponível em: <<https://www.sbpe.org.br/index.php/rbe/article/download/107/90/>>. Acesso em 25 mai. 2019.

FUKUSHIMA, R. S.; HATFIELD, R. D. Extraction and isolation of lignin for utilization as a standard to determine lignin concentration using the acetyl bromide spectro photometric method. **J. Agr. FoodChem.**, v. 49, n. 7, p. 3133-3139, 2001. Disponível

em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11453742>>. Acesso em 16 mai. 2018.
<https://doi.org/10.1021/jf010449r>.

GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Teoria da carbonização da madeira. CETEC. *In.: Uso da biomassa para fins energéticos*. Série Técnica/SPT-001. Belo Horizonte. 158p. 1980.

GONÇALVES, José Evaristo. **Caracterização química e energética de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis***. 2006. 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90455/goncalves_je_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso 12 ago. 2018.

_____. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 657-661, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000500021>.

GOOGLE EARTH. **Localização do município de Uberlândia**. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-17.33620557,-49.40379724,1959.95118151a,6376242.84183741d,35y,-0h,0t,0r/data=CIAaThJGcIUweDk0YTQ0NTBjMTBiYmJhZWY6MHhhZTM3MGM5MzYxNmQ1YzljGRRQ8jSq6TLAIR9JSQ9DI0jAKgtVYmVybMOibmRpYRgBIAEoAg>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

HATFIELD, R., FUKUSHIMA, R. S. Methods for lignin analysis. **Crop Science**. v. 45, 2005. Disponível em: <<https://naldc.nal.usda.gov/download/3268/PDF>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Laboratório de produtos de florestas - LPF**. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em 18 ago. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Minas Gerais. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/?sigla=MG>>. Acesso em 18 ago. 2018.

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

JUVILLAR, J. B. Tecnologia de Transformação de Madeira em Carvão. *In: Uso da madeira para fins energéticos*. Publicação fundação centro Tecnológico de Minas Gerais. CETEC, v. 1, p. 67-82, Belo Horizonte, 1980.

KULESZA, K., GERMAN, K. Chlorinated pyrolysis products of co-pyrolysis of poly(vinyl chloride) and poly(ethylene terephthalate). **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 1, p. 52-56, 2003. Disponível em:

<<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-f936a3c0-e999-3865-b8c3-b9f5b3dbc268>>. Acesso 10 mai. 2018.

LIMA, L. M. Q. **Lixo - tratamento e biorremediação**. 3 ed. São Paulo: Editora Hemus, 2004. 265p.

MARTINS, O. S. **Aproveitamento da biomassa para a geração de energia elétrica, nacional de referência em biomassa**. CENBIO - Centro Nacional de Referência da Biomassa, 1990. Disponível em:
<http://www.eletrobras.gov.br/elb/portal/data/documents/storedDocuments/%7BA550763A-377A-4EFC-B5F4-7FB3FFD886CB%7D/%7B6632A665-43B7-4D5B-838FE2283345D2D2%7D/1%B0Semin%E1rioFRE_ANEEL_CENBIO_Biomassa_041209.Pdf>. Acesso em 30 mai. 2018.

MEIRA, A.M. **Gestão de resíduos da arborização urbana**. 2010. 179p. Tese (Doutorado em Ciências: Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU, 1980.

MIGLIORINI, A. J. Desinficação de biomassa florestal. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. 1-9, 1980. Disponível em:
<<http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr02/cap03.pdf>>. Acesso em 27 mai. 2018.

MOREIRAS, E. R. **Caracterização de briquetes produzidos a partir de carvão vegetal e resíduos da agro-indústria da mandioca**. 1997. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997. Disponível em:
<<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev143/Art14312.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2019.

PEREIRA, A. I. C. **Co-digestão anaeróbia de resíduos verdes e lamas de ETAR para produção de biogás**. 2013. 98f. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal. 2013. Disponível em:
<https://run.unl.pt/bitstream/10362/10659/1/Pereira_2013.pdf>. Acesso em 23 mai. 2018.

PMU. Prefeitura Municipal de Uberlândia. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Diretoria de Limpeza Urbana. **Recebimento mensal de resíduos verdes - Consórcio Verde**. SMMA (dados *in loco*), 2018.

_____. Prefeitura Municipal de Uberlândia. Prodaub. **Licitações (online)**. Disponível em:
<<http://weblicitacoes.uberlandia.mg.gov.br/weblicitacoes/f/n/licitacoesdetalhescon?modoJanelaPlc=popup&evento=y&codigoEmpresa=1&licitaca>>. Acesso em 23. mai. 2018.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Curso para capacitação de agentes multiplicadores em valorização da madeira e de resíduos vegetais. Brasília, DF, 2004. 31p. Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf>>. Acesso em 04-06-2018.

QUIRINO, W. F. Densificação de resíduos da biomassa. *In: Workshop - Madeira Energética*: principais questões envolvidas na organização e no aperfeiçoamento do uso energético da lenha. 2007. Disponível em: <www.inee.org.br>. Acesso em 23 mai. 2018.

RAVAGLIA, E. **Projeto de uma caldeira**. Departamento de Publicações do Centro Acadêmico da Escola de Engenharia Mauá. 1967.

ROWELL, R. Utilization of natural fibers in plastics composites problems and opportunities. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGNOCELLULOSICS PLASTICS COMPOSITES*, 1996, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: Científica, 1996. p. 23-52.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M.A. Cell wall chemistry. *In: Rowell, R.M. (ed). Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton: CRC Press, p. 35-72, 2005.

SANTOS, F. A. *et al.*. 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000500025>.

VALE, V. H. D. **Diagnóstico dos resíduos de podas do município de Natal/RN**. 2016. 43f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal, RN, 2016. Disponível em: <http://monografias.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/3367/1/DIAGN%C3%93STICO%20DOS%20RES%C3%84DUOS%20DE%20PODAS_TCC.pdf>. Acesso em 20 jun. 2018.

VALE, A. T do; GENTIL, L. V. Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais. *In: OLIVEIRA, J. T. da S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Ed). Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III*. Jerônimo Monteiro: Suprema, 2008.