



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Instituto Politécnico

Philippe Lopes Jurge Tardin

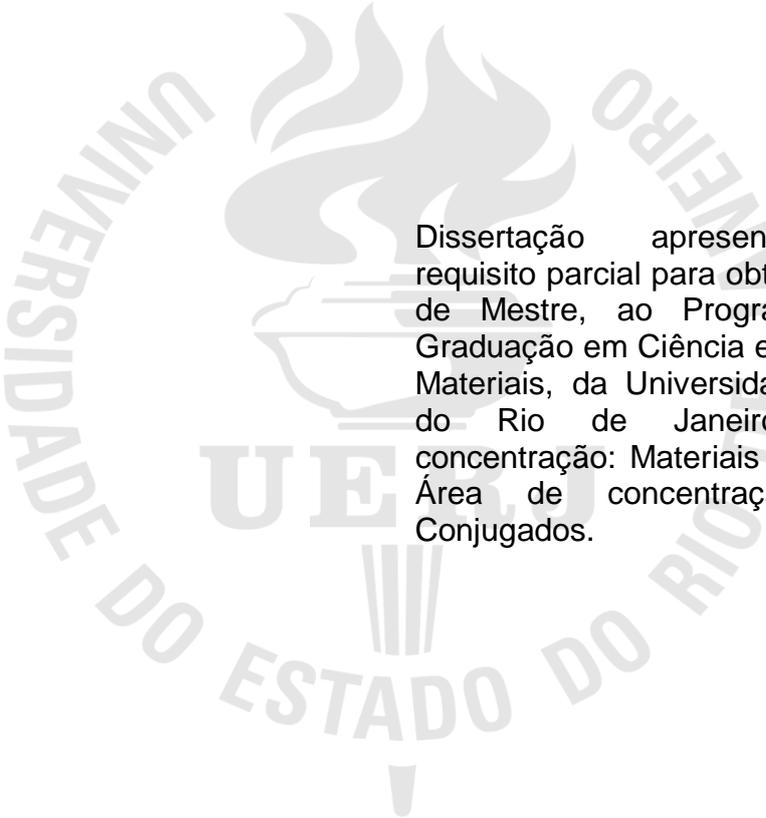
**Caracterização térmica de briquetes de lignocelulósicos fabricados
com aglutinantes de resíduos alimentícios**

Nova Friburgo

2017

Philippe Lopes Jurge Tardin

**Caracterização térmica de briquetes de lignocelulósicos fabricados com
aglutinantes de resíduos alimentícios**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Materiais não metálicos. Área de concentração: Materiais Conjugados.

Orientador: Prof. Dr. Leôncio Diógenes Tavares Câmara

Nova Friburgo

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

L759 Tardin, Philippe Lopes Jurge.
Caracterização térmica de briquetes de lignocelulósicos
fabricados com aglutinantes de resíduos alimentícios / Philippe
Lopes Jurge Tardin. - 2017.
122 f. : il.

Orientador: Leôncio Diógenes Tavares Câmara.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Instituto Politécnico.

1. Briquetes – Teses. 2. Briquetes - Propriedades térmicas –
Teses. 3. Resíduos orgânicos – Reaproveitamento – Teses. 4.
Resíduos como combustível – Teses. I. Câmara, Leôncio
Diógenes Tavares. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Instituto Politécnico. III. Título.

CDU 662.818: 628.473

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial
desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Philippe Lopes Jurge Tardin

Caracterização térmica de briquetes de lignocelulósicos fabricados com aglutinantes de resíduos alimentícios

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Materiais não metálicos.

Aprovado em: 01 de setembro de 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Leôncio Diógenes Tavares Câmara (Orientador)
Instituto Politécnico – UERJ

Prof. Dr. Eduardo Martins Sampaio
Instituto Politécnico – UERJ

Prof. Dr. Nelson César Chaves Pinto Furtado
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

Nova Friburgo

2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Jorge da Costa Tardin e Anamaria Lopes Jurge Tardin, ao meu irmão Matheus de Lucas Lopes Jurge Tardin, a minha avó Benedita Lopes Jurge e à minha namorada Ariana Alves Teixeira, que são a principal causa da inspiração para tanto, e a todos os amigos, professores, em especial ao professor Leôncio Diógenes Tavares Câmara, e colaboradores do IPRJ que sempre apoiaram, deram forças e condições para que eu conquistasse a minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de ter escolhido esse caminho, aos meus pais Jorge da Costa Tardin e Anamaria Lopes Jurge Tardin e à minha avó Benedita Lopes Jurge por terem dado a mim e ao meu irmão todo o amor, paciência, educação, fé e durante todos esses anos terem dado condições para que meu irmão e eu pudéssemos estudar e escolher uma profissão, e principalmente por terem nos ensinado a ser pessoas tolerantes, respeitadoras e honestas não só com os outros, mas também com nós mesmos.

Agradeço ao meu irmão Matheus de Lucas Lopes Jurge Tardin por sempre estar ao meu lado orientando, sendo companheiro e dando todo o amor que um irmão poderia dar além de orgulhar-me todos os dias pela sua determinação, garra, fé, força e generosidade.

Agradeço em especial ao amigo Felipe Bicalho Azeredo da Silva por sempre estar colaborando de todas as formas possíveis para a conclusão deste e de outros trabalhos.

Agradeço em especial ao meu professor orientador Dr. Leôncio Diógenes Tavares Câmara por ter acreditado, apoiado, investido e incentivado na ideia e execução deste trabalho e por sua positividade, otimismo, e amizade incondicional e constante.

Aos professores, pelos ensinamentos, dentro e fora da sala de aula, durante a época da graduação e agora do mestrado

A UERJ e ao IPRJ, porque sem eles não poderia ter realizado este sonho de conquista.

A todos aqueles, que embora não citados nominalmente, contribuíram direta e indiretamente para a execução deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Pois a vitória de um homem às vezes se esconde em um gesto forte que só ele pode
ver...

O Rappa

RESUMO

TARDIN, Philipe Lopes Jurge. *Caracterização térmica de briquetes de lignocelulósicos fabricados com aglutinantes de resíduos alimentícios*. 2017. 122f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) - Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2017.

O presente trabalho tem como finalidade principal realizar a caracterização térmica dos briquetes padronizados produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética e também fazer algumas análises para complementar a caracterização. Das técnicas utilizadas temos: análise de composição por queima, a qual evidenciou percentuais de celulose/hemicelulose acima dos 90%; análise de lignina, que obteve valores abaixo de 10% e de umidade entre 9-17%; análise por infravermelho, que permitiu identificar como principais grupos funcionais das amostras os alcanos, álcoois, fenóis e aromáticos; análise de teor de cinzas, que permitiu calcular e comparar os percentuais de cinzas de cada amostra, os quais ficaram entre 2-16%; análise de espectroscopia de raios-x, que mostrou óxido de ferro em uma das amostras e a análise de distribuição de tamanho de partículas, que permitiu calcular a média da distribuição de tamanhos das partículas de cinzas das amostras, que ficou entre 200 μ m e 400 μ m com a utilização do ultrassom. Foi produzido um novo equipamento de briquetagem para a correção de alguns aspectos dos briquetes e uma análise térmica dos briquetes produzidos nesse novo equipamento, chamado de briquetes padronizados, também foi realizada. Foram encontrados como poder calorífico valores acima dos 10kJ/g. Os resultados apontam para realização de novos testes de análise térmica com bomba calorimétrica.

Palavra Chave: Briquetagem. Briquete. Lenha ecológica. Sistema não contínuo. Batelada hermética. Maior granulometria. Água. Resíduos alimentícios. Resíduos de atividades urbanas. Propriedade térmica. Propriedade mecânica. Briquetes padronizados. Briquetes comerciais. Lenha de eucalipto. Poder calorífico.

ABSTRACT

TARDIN, Philipe Lopes Jurge. *Thermal characterization of lignocellulosic briquettes made from food waste binders*. 2017. 122f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) - Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2017.

The main purpose of this work is to perform the thermal characterization of standard briquettes produced by the hermetic batching technique and also to perform some analysis to complement the characterization. Of the techniques used we have: analysis of composition by firing, which showed percentages of cellulose / hemicellulose above 90%; lignin analysis, which obtained values below 10% and humidity between 9-17%; infrared analysis, which allowed to identify as main functional groups of the samples the alkanes, alcohols, phenols and aromatics; ash content analysis, which allowed us to calculate and compare the ash percentages of each sample, which were between 2-16%; X-ray spectroscopy analysis, which showed iron oxide in one of the samples and the particle size distribution analysis, which allowed to calculate the average particle size distribution of ash particles between 200 μm and 400 μm with the use of ultrasound. A new briquetting equipment was produced for the correction of some aspects of the briquettes and a thermal analysis of the briquettes produced in this new equipment, called standard briquettes, was also carried out. Values above 10kJ / g were found as calorific value. The results point to the accomplishment of new tests of thermal analysis with calorimetric pump.

Keywords: Briquetting. Briquette. Ecological firewood. Non-continuous system.

Hermetic batch. Greater granulometry. Water. Food waste. Waste from urban activities. Thermal property. Mechanical property. Standardized briquets. Commercial briquettes. Eucalyptus firewood. Heat power.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais vantagens do briquete sobre a lenha	22
Figura 2 – Curvas de TG dos combustíveis analisados.....	26
Figura 3 – Curvas de DTG dos combustíveis analisados.	26
Figura 4 – Extrusão Convencional	28
Figura 5 – Extrusão RAM.....	29
Figura 6 – Analisador térmico Perkin Elmer STA 6000.....	33
Figura 7 – Analisador de infravermelho Perkin Elmer FT-IR Frontier	34
Figura 8 – Gerador de raios-x e detector SDD	35
Figura 9 – Princípio de determinação da distribuição do tamanho de partículas por difração laser.....	37
Figura 10 – Sistema Mastersizer 2000 e Hydro 2000MU.	37
Figura 11 – Prensa eletrohidráulica SOLOTESTE modelo 1.501.220	38
Figura 12 – Balança de precisão Martes Série AS5500C.....	39
Figura 13 – Forno de resistências JUNG modelo 7012	40
Figura 14 – Forno de resistências JUNG modelo JC10013.....	41
Figura 15 – Prensa hidráulica manual Eureka 0195.....	41
Figura 16 – Peneira para análise e controle granulométrico Bronzinox malha 35 de 500 µm PGB 305030.....	42
Figura 17 – Briquetador 1 por batelada hermética	42
Figura 18 – Briquete Tramontina.....	44
Figura 19 – Lenha de eucalipto.....	45
Figura 20 – Granulometria das amostras utilizadas na análise térmica	49
Figura 21 – Amostras da análise de teor de cinzas	52
Figura 22 – Amostras da análise de espectroscopia por raios-x	54
Figura 23 – Amostra de cinza com alta granulometria na peneira.	55
Figura 24 – O corpo do novo briquetador	57
Figura 25 – A base do novo briquetador	58
Figura 26 – O pistão/êmbolo do novo briquetador.....	59
Figura 27 – O novo briquetador de briquetagem por batelada hermética	60
Figura 28 – Resíduos lignocelulósicos utilizados na briquetagem.....	61
Figura 29 – Capela química	62

Figura 30 – Aspecto das amostras dos briquetes padronizados	63
Figura 31 – Cadinhos dentro do forno de resistências	72
Figura 32 – Cinzas da análise de composição por queima	73
Figura 33 – Cinzas obtidas.....	81
Figura 34 – Granulometria da cinza de lenha moída	87
Figura 35 – Granulometria da cinza de lenha requeimada.	87
Figura 36 – Briquetes padronizados produzidos	88
Figura 37 – Curvas TG e DTG da celulose D microcristalina comercial, obtidas em atmosfera de ar com razão de aquecimento de 10°C/min.	92
Figura 38 – Curvas de TG e DTG para a lignina, obtidas em atmosfera de ar com razão de aquecimento de 10°C/min.	92
Figura 39 – Curva DSC para a amostra de bagaço recém-moído, obtida em atmosfera de ar com razão de aquecimento de 10°C/min.....	93
Figura 40 – Características dos briquetes padronizados após a análise mecânica.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do briquete produzido no teste 3	45
Tabela 2 – Características do briquete produzido no teste 4.....	46
Tabela 3 – Característica do briquete produzido no teste 11.....	47
Tabela 4 – Dados da análise térmica do briquete Tramontina.....	66
Tabela 5 – Dados da análise térmica do briquete produzido no teste 4	67
Tabela 6 – Dados da análise térmica do briquete produzido no teste 11	67
Tabela 7 – Dados da análise térmica do briquete produzido no teste 3	68
Tabela 8 – Dados da análise térmica da lenha de eucalipto.....	68
Tabela 9 – Estimativa de propriedades da amostra	69
Tabela 10 – Dados da análise de composição por queima	70
Tabela 11 – Picos das curvas do briquete Tramontina.....	75
Tabela 12 – Picos das curvas do briquete produzido no teste 4.....	76
Tabela 13 – Picos das curvas do briquete produzido no teste 11	77
Tabela 14 – Picos das curvas do briquete produzido no teste 3.....	78
Tabela 15 – Picos das curvas da lenha de eucalipto.....	79
Tabela 16 – Dados da análise do teor de cinzas.....	80
Tabela 17 – Componentes da mistura dos briquetes padronizados	89
Tabela 18 – Características gerais dos briquetes padronizados	89
Tabela 19 – Dados da análise térmica dos briquetes padronizados.....	90
Tabela 20 – Dados da análise mecânica de compressão axial	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentual de umidade das amostras	71
Gráfico 2 – Variação de massa,	71
Gráfico 3 – Percentual de composição das amostras.....	72
Gráfico 4 – Curvas do briquete Tramontina.....	74
Gráfico 5 – Curvas do briquete produzido no teste 4.....	75
Gráfico 6 – Curvas do briquete produzido no teste 11.....	76
Gráfico 7 – Curvas do briquete produzido no teste 3.....	77
Gráfico 8 – Curvas da lenha de eucalipto.....	78
Gráfico 9 – Percentual de cinzas.....	81
Gráfico 10 – Resultados na face lateral do briquete Tramontina	82
Gráfico 11 – Resultados na face transversal do briquete Tramontina	83
Gráfico 12 – Resultados na face lateral do briquete produzido no teste 4	83
Gráfico 13 – Resultados na face transversal do briquete produzido no teste 4	84
Gráfico 14 – Resultado de distribuição de tamanho de partículas para o briquete padronizado sem a utilização de ultrassom	85
Gráfico 15 – Resultado de distribuição de tamanho de partículas para o briquete padronizado com a utilização de ultrassom	85
Gráfico 16– Resultado de distribuição de tamanho de partículas para o briquete Tramontina sem a utilização de ultrassom	85
Gráfico 17– Resultado de distribuição de tamanho de partículas para o briquete Tramontina com a utilização de ultrassom	86
Gráfico 18 – Curvas de TG e DTG da média dos resultados.....	91
Gráfico 19 – Curvas de TG e DSC da média dos resultados.....	91
Gráfico 20 – Curvas de TG e DTG da amostra 1 - triagem.....	103
Gráfico 21 – Curvas de TG e DSC da amostra 1 - triagem.....	103
Gráfico 22 – Curvas de TG e DTG da amostra 1 - A.....	103
Gráfico 23 – Curvas de TG e DSC da amostra 1 - A.....	104
Gráfico 24 – Curvas de TG e DTG da amostra 1 - B.....	104
Gráfico 25 – Curvas de TG e DSC da amostra 1 - B.....	104
Gráfico 26 – Curvas de TG e DTG da amostra 1 - C.....	105
Gráfico 27 – Curvas de TG e DSC da amostra 1 - C.....	105

Gráfico 28 – Curvas de TG e DTG da amostra 1 - D.....	105
Gráfico 29 – Curvas de TG e DSC da amostra 1 - D.....	106
Gráfico 30 – Curvas de Tg e DTG da amostra 2 - triagem	106
Gráfico 31 – Curvas de TG e DSC da amostra 2 - triagem.....	106
Gráfico 32 – Curvas de TG e DTG da amostra 2 - A.....	107
Gráfico 33 – Curvas de TG e DSC da amostra 2 - A.....	107
Gráfico 34 – Curvas de TG e DTG da amostra 2 - B.....	107
Gráfico 35 – Curvas de TG e DSC da amostra 2 - B.....	108
Gráfico 36 – Curvas de TG e DTG da amostra 2 - C.....	108
Gráfico 37 – Curvas de TG e DSC da amostra 2 - C.....	108
Gráfico 38 – Curvas de TG e DTG da amostra 2 - D.....	109
Gráfico 39 – Curvas de TG e DSC da amostra 2 - D.....	109
Gráfico 40 – Curvas de TG e DTG da amostra 3 - triagem.....	109
Gráfico 41 – Curvas de TG e DSC da amostra 3 - triagem.....	110
Gráfico 42 – Curvas de TG e DTG da amostra 3 - A.....	110
Gráfico 43 – Curvas de TG e DSC da amostra 3 - A.....	110
Gráfico 44 – Curvas de TG e DTG da amostra 3 - B.....	111
Gráfico 45 – Curvas de TG e DSC da amostra 3 - B.....	111
Gráfico 46 – Curvas de TG e DTG da amostra 3 - C.....	111
Gráfico 47 – Curvas de TG e DSC da amostra 3 - C.....	112
Gráfico 48 – Curvas de TG e DTG da amostra 3 - D.....	112
Gráfico 49 – Curvas de TG e DSC da amostra 3 - D.....	112
Gráfico 50 – Curvas de TG e DTG da amostra 4 - triagem.....	113
Gráfico 51 – Curvas de TG e DSC da amostra 4 - triagem.....	113
Gráfico 52 – Curvas de TG e DTG da amostra 4 - A.....	113
Gráfico 53 – Curvas de TG e DSC da amostra 4 - A.....	114
Gráfico 54 – Curvas de TG e DTG da amostra 4 - B.....	114
Gráfico 55 – Curvas de TG e DSC da amostra 4 - B.....	114
Gráfico 56 – Curvas de TG e DTG da amostra 4 - C.....	115
Gráfico 57 – Curvas de TG e DSC da amostra 4 - C.....	115
Gráfico 58 – Curvas de TG e DTG da amostra 4 - D.....	115
Gráfico 59 – Curvas de TG e DSC da amostra 4 - D.....	116
Gráfico 60 – Curvas de Tg e DTG da amostra 5 - triagem	116
Gráfico 61 – Curvas de TG e DSC da amostra 5 - triagem.....	116

Gráfico 62 – Curvas de TG e DTG da amostra 5 - A.....	117
Gráfico 63 – Curvas de TG e DSC da amostra 5 - A.....	117
Gráfico 64 – Curvas de TG e DTG da amostra 5 - B.....	117
Gráfico 65 – Curvas de TG e DSC da amostra 5 - B.....	118
Gráfico 66 – Curvas de TG e DTG da amostra 5 - C.....	118
Gráfico 67 – Curvas de TG e DSC da amostra 5 - C.....	118
Gráfico 68 – Curvas de TG e DTG da amostra 5 - D.....	119
Gráfico 69 – Curvas de Tg e DSC da amostra 5 - D.....	119
Gráfico 70 – Curvas de TG e DTG do briquete padronizado do teste - C.....	120
Gráfico 71 – Curvas de TG e DSC do briquete padronizado do teste - C.....	120
Gráfico 72 – Curvas de TG e DTG do briquete padronizado do teste - E.....	120
Gráfico 73 – Curvas de TG e DSC do briquete padronizado do teste - E.....	121
Gráfico 74 – Curvas de TG e DTG do briquete padronizado do teste - F.....	121
Gráfico 75 – Curvas de TG e DSC do briquete padronizado do teste - F.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
CBPF	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
DSC	Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial
DTG	Análise Termogravimétrica Derivativa
EBMA	Empresa Brasileira de Meio Ambiente
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
INPI	Instituto Nacional de propriedade Intelectual
LF ² T	Laboratório de Fluidos e Fenômenos de Transporte
TG	Análise Termogravimétrica

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔH	Entalpia
T_i	Temperatura inicial
T_f	Temperatura final

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	19
1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2	METODOLOGIA	31
2.1	Técnica de briquetagem por batelada hermética	31
2.2	Cálculos e geração de gráficos	32
2.3	Equipamentos utilizados	33
2.3.1	Analisador Térmico Perkin Elmer STA 6000.....	33
2.3.2	Analisador de infravermelho Perkin Elmer FT-IR Frontier	34
2.3.3	Gerador de raios-x e detector SDD	35
2.3.4	Analisador de distribuição de tamanho de partículas Malvern Mastersizer Hydro 2000 MU.	36
2.3.5	Prensa eletrohidráulica SOLOTESTE modelo 1.501.220	37
2.3.6	Balança de precisão Martes Série AS5500C.....	39
2.3.7	Forno de resistências JUNG modelo 7012	39
2.3.8	Forno de resistências JUNG modelo JC10013.....	40
2.3.9	Prensa hidráulica manual Eureka 0195.....	41
2.3.10	Peneira para análise e controle granulométrico Bronzinox malha 35 de 500µm PGB 305030.....	42
2.3.11	Briquetador 1.....	42
2.3.12	Briquetador 2 (novo briquetador).....	43
2.4	Materiais Utilizados	44
2.5	Análise Térmica comparativa	47
2.5.1	Materiais Utilizados	48
2.5.2	Métodos	48
2.6	Análise de Composição por Queima	49
2.6.1	Materiais Utilizados	49
2.6.2	Métodos	50
2.7	Análise por Infravermelho	51
2.7.1	Materiais Utilizados	51
2.7.2	Métodos	51
2.8	Análise de Teor de Cinzas	52

2.8.1	Materiais Utilizados	52
2.8.2	Métodos.....	52
2.9	Análise de Espectroscopia por Raios-X	53
2.9.1	Materiais Utilizados	54
2.9.2	Métodos	54
2.10	Análise de distribuição de tamanho de partículas de cinzas.....	55
2.10.1	Materiais utilizados.....	55
2.10.2	Métodos	55
2.11	Novo briquetador desenvolvido.....	56
2.11.1	O Corpo no novo briquetador	57
2.11.2	A base do briquetador	58
2.11.3	O pistão/êmbolo do briquetador	59
2.11.4	Observações.....	60
2.12	Produção de briquetes padronizados.....	61
2.12.1	Materiais Utilizados	61
2.12.2	Métodos	63
2.13	ANÁLISE TÉRMICA DOS BRIQUETES PADRONIZADOS	64
2.13.1	Materiais utilizados.....	64
2.13.2	Métodos	65
2.14	ANÁLISE MECÂNICA DOS BRIQUETES PADRONIZADOS	65
2.14.1	Materiais Utilizados	65
2.14.2	Métodos	66
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
3.1	Análise Térmica comparativa.....	67
3.1.1	Resultados	67
3.1.2	Discussões.....	70
3.2	Análise de Composição por Queima	71
3.2.1	Resultados	71
3.2.2	Discussões.....	74
3.3	Análise por infravermelho	75
3.3.1	Resultados	75
3.3.2	Discussões.....	80
3.4	Análise do teor de cinzas	81
3.4.1	Resultados	81

3.4.2	Discussões.....	83
3.5	Análise de espectroscopia por raios-x	83
3.5.1	Resultados	83
3.5.2	Discussões.....	85
3.6	Análise de distribuição de tamanho de partículas de cinzas.....	85
3.6.1	Resultados	85
3.6.2	Discussões.....	87
3.7	Produção de briquetes padronizados.....	89
3.7.1	Resultados	89
3.7.2	Discussões.....	90
3.8	Análise térmica dos briquetes padronizados.....	91
3.8.1	Resultados	91
3.8.2	Discussões.....	92
3.9	Análise Mecânica	95
3.9.1	Resultados	95
3.9.2	Discussões.....	96
	CONCLUSÕES.....	97
	TRABALHOS FUTUROS.....	99
	REFERÊNCIAS	100
	APÊNDICE A - Gráficos da análise térmica da primeira etapa de caracterização	104
	APÊNDICE B - Gráficos da análise térmica da segunda etapa de caracterização	121

INTRODUÇÃO

No cenário geopolítico global, a energia é um assunto estratégico, uma vez que o desenvolvimento das nações dependem de uma infraestrutura energética capaz de suprir as demandas de sua população e de suas atividades econômicas.

Pode-se observar que vários campos da sociedade dependem totalmente da disponibilidade de energia, seja em termos de eletricidade ou combustíveis e, a cada ano, cresce a procura por novos recursos para geração, ao ponto de haver disputas internacionais em busca desses valiosos recursos.

As fontes de energia podem ser obtidas através de recursos da natureza e também meios artificiais criados pelo homem para sua obtenção, sendo utilizada para meios de transporte, comunicação, comércio, agricultura, entre outros. A utilização das fontes de energia tem uma implicação na questão ambiental, pois dependendo dos recursos energéticos e das formas de utilização, graves impactos ambientais podem ser gerados.

Existem duas classificações para as fontes de energia, as renováveis e as não renováveis.

As fontes não renováveis de energia são as que poderão esgotar-se ao longo do tempo. O petróleo, por exemplo, possui o seu esgotamento estimado para algumas décadas, o que eleva o caráter estratégico desse elemento. Temos também outros exemplos como o carvão mineral, o gás natural e a energia nuclear, sendo esta última merecedora de atenção quanto à utilização devido aos potenciais danos à natureza, em caso de acidente.

As fontes renováveis de energia são aquelas que podem ser repostas naturalmente, o que não quer dizer que todas as fontes renováveis de energia são limpas, ou seja, estão livres da emissão de poluentes ou de impactos ambientais de larga escala.

Alguns exemplos de energias renováveis são a energia eólica, oriunda do aproveitamento dos ventos, a energia solar, gerada do aproveitamento da luz solar, a energia hidrelétrica obtida do potencial gravitacional das águas dos rios e represas para a movimentação de turbinas de eletricidade, a energia maremotriz ou energia das marés que aproveita do aumento e diminuição das marés para a produção de energia elétrica e a energia da biomassa, que corresponde à queima de substâncias

de origem orgânica para a produção de energia, ocorrendo por meio da combustão de materiais como lenha, bagaço da cana, resíduos agrícolas, restos florestais e até excrementos de animais.

Podemos citar também, a partir da biomassa, a produção do etanol, produzido a partir da cana-de-açúcar, e também os biocombustíveis sólidos, como os briquetes, que serão abordados neste trabalho.

O processo de produção dos briquetes chama-se briquetagem, que consiste na aglomeração de partículas finas por meio de pressão, com auxílio ou não de um aglutinante, permitindo a obtenção de um produto não só compactado, porém com forma, tamanho e parâmetros mecânicos adequados. A redução de volume do material, além dos benefícios tecnológicos, permite que materiais finos possam ser transportados e armazenados de forma mais econômica. Em sua maior parte, os briquetes são produzidos de resíduos orgânicos, mas também existem as briquetagens de resíduos de carvão e de limalhas de metais.

Os resíduos mais utilizados atualmente para se produzir briquetes de origem orgânica, são de madeira, de produção agrícola, lignocelulósicos e rejeitos de sólidos urbanos, como descrito por (Gonçalves; *et al*, 2009).

Neste trabalho foi desenvolvida uma nova técnica de briquetagem de materiais lignocelulósicos, a qual consiste na briquetagem hermética usando resíduos orgânicos aglutinantes. A partir daí surgiu a necessidade da realização da caracterização térmica e mecânica dos briquetes produzidos, visto que são produzidos em composições diferentes dos briquetes lignocelulósicos por técnicas convencionais. A seguir serão listadas as técnicas de caracterizações utilizadas neste trabalho: análise térmica comparativa, análise de composição por queima, análise por infravermelho, análise de teor de cinzas, análise de espectroscopia de raios-x, análise de distribuição de tamanho de partículas de cinzas. Foi desenvolvido um novo equipamento de briquetagem sendo, realizada uma nova análise térmica dos briquetes produzidos com o novo briquetador e também análises mecânicas, com a comparação de alguns resultados com lenha de eucalipto e briquetes lignocelulósicos convencionais.

Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é fazer uma caracterização térmica dos briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética, produzidos com lignocelulósicos e resíduos alimentícios. Também faz parte do objetivo realizar algumas análises como: análise de composição por queima, análise por infravermelho, análise de teor de cinzas, análise de espectroscopia de raios-x e análise de distribuição de tamanho de partículas. Também faz parte do trabalho comparar alguns resultados com outros produtos, como a lenha de eucalipto e os briquetes convencionais. Vale ressaltar que serão realizados ensaios destrutivos e não destrutivos das amostras, além do desenvolvimento e construção de um novo briquetador para a produção de briquetes padronizados, os quais também serão caracterizados térmica e mecanicamente.

Organização

A dissertação está dividida da seguinte forma:

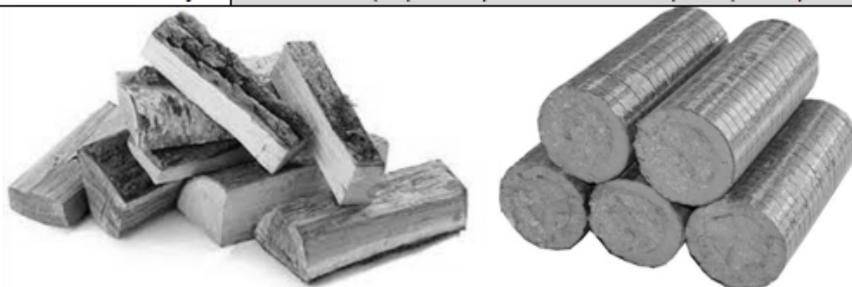
No Capítulo 1 será apresentada a revisão bibliográfica, no Capítulo 2 serão apresentadas a metodologia das análises realizadas, as técnicas e os equipamentos que foram utilizados, o detalhamento do novo briquetador desenvolvido, mostrando a função de cada componente, a produção de briquetes padronizados, descrevendo os materiais e métodos utilizados e a sua produção, descrevendo a função e participação de cada equipamento utilizado, a análise térmica dos briquetes padronizados produzidos com o novo briquetador desenvolvido, mostrando os materiais e métodos utilizados e é mostrada a análise mecânica realizada, detalhando os materiais e métodos utilizados, bem como as medidas necessárias para que se pudesse realizar o teste. No Capítulo 3 são apresentados os resultados de todos os testes realizados, bem como figuras, tabelas e gráficos, e também as discussões dos resultados. Logo após, são apresentadas as conclusões obtidas com o desenvolvimento e resultados deste trabalho, bem como os trabalhos futuros.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As principais características dos briquetes convencionais em relação à lenha são descritas na Figura 1.

Figura 1 – Principais vantagens do briquete sobre a lenha

Características	Lenha	Briquete
Poder calorífico	Baixo, 1700 - 2500 kcal/kg	Alto, 4000 - 4800 kcal/kg
Umidade	Alta, 20-45%	Baixa, 8-12%
Rendimento	Irregularidade térmica e baixa uniformidade da chama	Regularidade térmica e alta uniformidade da chama
Resíduos de cinzas, fuligem ou fumaça	Alto volume	Baixo volume
Manuseio	Difícil, por não existir uniformidade	Fácil, por ser padronizado
Armazenamento	Ocupa grande espaço	Ocupa pequeno espaço
Higiene e limpeza	Sujeira, umidade, insetos e contaminação	Limpos, secos, sem insetos e contaminação
Licença ambiental	Necessidade de licenciamento (com taxas)	Sem fiscalização (sem taxas)
Comercialização	Por m ³ (impreciso)	Por peso (exato)



Fonte: CAIRES, 2010.

Foi feito um estudo por DIAS, *et al.*, 2012, de como produzir briquetes e péletes utilizando resíduos gerados pelos produtos agroflorestais, mostrando cálculo da disponibilidade de matéria-prima, resíduos de cana-de-açúcar, resíduos de milho, resíduos de arroz, resíduos de trigo, resíduos de café, resíduos de algodão, resíduos de feijão, resíduos de coco verde, resíduos de madeira, carvão vegetal, resíduos de castanha-do-pará, resíduos do coco babaçu, resíduos das folhas de carnaubeira, casca de amendoim, bagaço de cevada, resíduos de macaúba e gramíneas forrageiras. O trabalho também mostra aspectos técnicos da briquetagem e da peletização de resíduos agroflorestais, agroindustriais, pré-tratamento da matéria-

prima, armazenamento primário e intermediário da matéria prima, alimentação da biomassa no sistema de compactação, alimentador de retorno, equipamentos de compactação para a produção de briquetes ou de péletes, comparação entre peletizadoras e briquetadeiras, fatores que influenciam na produção e qualidade de briquetes e de péletes, cortadores de briquetes, transporte e resfriamento dos produtos, sistemas de exaustão, além das características dos péletes e dos briquetes como forma e tamanho, resistência mecânica, compactação das matérias-primas, teor de umidade, densidade aparente, ignitabilidade, poder calorífico, resistência à umidade, durabilidade e teor de cinzas.

Órgãos reguladores como a Embrapa, juntamente com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e ASTM (American Society for Testing and Materials), fornecem normas adotadas na produção de briquetes.

Segundo Gonçalves; *et al.*, 2009, os resíduos mais utilizados atualmente para se produzir briquetes de origem orgânica, são resíduos de madeira, resíduos de produção agrícola, resíduos lignocelulósicos e rejeitos de resíduos sólidos urbanos. Foi analisado o poder calorífico de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*, na proporção de 0, 5, 10, 15, 20 e 25% de rejeitos de resíduos sólidos urbanos, o qual serviu como fonte de dados, informações e parâmetros para a realização desta dissertação. Vale ressaltar que nesses rejeitos existiam produtos orgânicos, inorgânicos, plásticos, etc, portanto faz-se necessário um estudo para a análise dos gases produzidos na queima desses briquetes..

No trabalho de Silva, *et al.*, 2015, foi realizada a caracterização de briquetes feitos a partir de quatro diferentes biomassas residuais nas quais foram utilizados os resíduos de serragem de *Eucalyptus*, serragem de *Pinus*, bagaço de cana-de-açúcar e palha de cana-de-açúcar. Os resíduos foram tratados para que obtivessem 12% de umidade e uma granulometria inferior a 1,70 mm. Para o trabalho foram produzidos 15 briquetes para cada um dos quatro tratamentos. A pressão utilizada foi de 1250 kgf.cm² durante 30 segundos. Os briquetes obtiveram densidades que oscilaram 0,88 a 1,11 g.cm³. Isto representou uma faixa de 5 a 14 vezes a menos de ocupação de volume para uma mesma quantidade de massa. O poder calorífico foi de 19.180 J.kg⁻¹ e 20.315 J.kg⁻¹ para as serragens de eucalipto e pinus respectivamente. Para o bagaço e palha de cana os valores foram de 18.541 J.kg⁻¹ e 15.628 J.kg⁻¹. A palha da cana-de-açúcar apresentou um teor de cinzas de 12%. As

expansões dos tratamentos oscilaram 4 a 9% e as resistências mecânicas variaram de 1,215 MPa à 0,270 MPa. Todos os briquetes se mostraram resistentes para um empilhamento superior a 10 m de altura e conclui que todos os tipos de biomassa mostraram-se viáveis para o processo de briquetagem, a granulometria do material é uma importante característica da biomassa e interfere no processo de briquetagem e que o ensaio mecânico de tração por compressão diametral pode auxiliar no processo de estocagem.

Matus, *et al.*, 2015, mostram que o teor de umidade da biomassa densificada ou briquete, é um parâmetro limitante que influencia na qualidade deste biocombustível sólido. Isto influencia seu valor calorífico, densidade, resistência mecânica e estabilidade dimensional, bem como afetando seu processo de produção. A densificação da serragem realizada com uma prensa de pistão hidráulico (pistão e matriz), onde os briquetes densificados foram produzidos à temperatura ambiente. O efeito do teor de umidade pode influenciar nas propriedades qualitativas dos briquetes, incluindo densidade, mudança de umidade, expansão, mudanças físicas, compressão e resistência ao impacto. Estudos mostram os intervalos de umidade necessários para produzir briquetes de boa qualidade. O teor de umidade do material testado foi otimizado para alcançar o melhor valor para a melhor qualidade do biocombustível sólido. Os briquetes mais densos possuem conteúdo de alta energia por unidade volume e o percentual de umidade ideal para o processo de briquetagem é de 12%. Esses resultados e a pesquisa podem ser usados para desenvolver e otimizar tecnologias industriais e máquinas para densificação de biomassa para alcançar biocombustível sólido de alta qualidade.

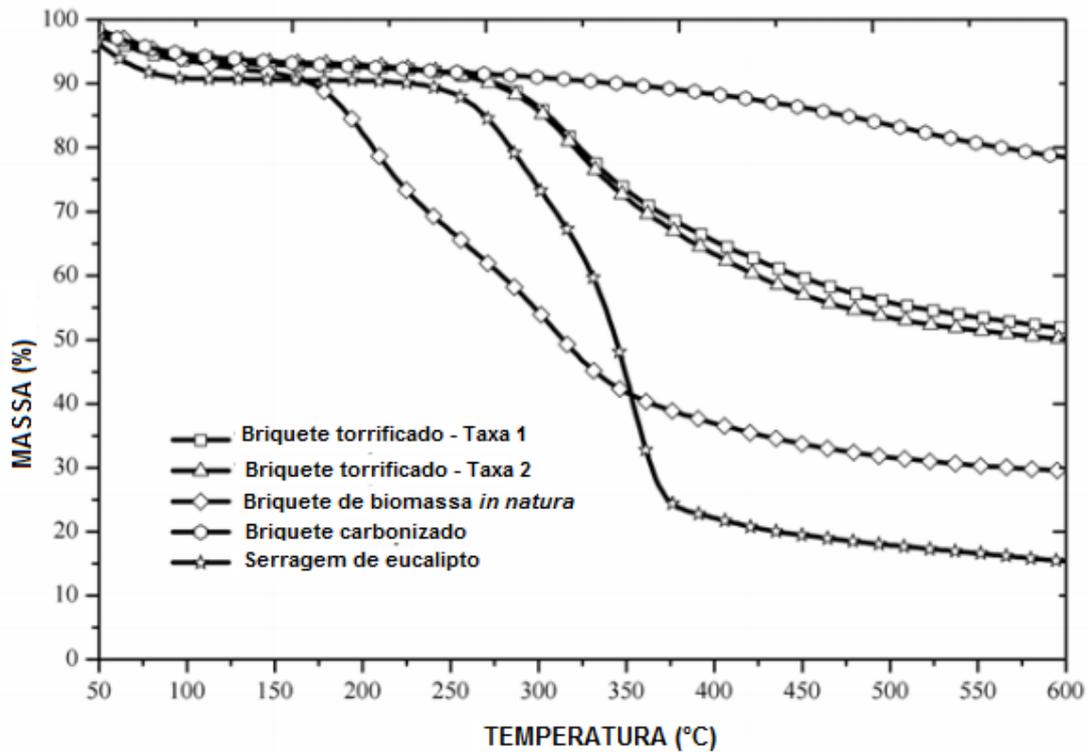
O trabalho de Emerhi. 2011, mostra o poder calorífico dos briquetes produzidos a partir de misturas de serragens de três espécies de madeiras tropicais (*Azelia africana*, *Terminalia superba*, *Melicia Elcelsa*), misturadas com diferentes agentes de ligação (amido, esterco de vaca e cinzas de madeira). Cada uma das espécies foi misturada com o aglutinante em proporção de 70/30% para esterco de vaca e cinzas de madeira e 70/15% de amido. A serragem foi misturada em uma proporção de 50/50% para cada combinação de briquetes produzidos. Foram avaliadas as propriedades relacionadas com combustíveis, percentuais de matéria volátil, percentagem de cinzas, percentagem de carbono fixo e valor calorífico dos briquetes. Todas as variáveis de processamento avaliadas no estudo não foram

significativamente diferentes, exceto por porcentagem de carbono fixo em nível de probabilidade de cinco por cento. O resultado mostra que o briquete produzido a partir da amostra de *Afzelia africana* e *Terminalia superba*, combinada com amido, tinha o maior poder calorífico de 33,116kcal/g, enquanto que o briquete produzido a partir da amostra de *Afzelia Africana* e *Terminalia superba* misturada com cinzas tinha o menor valor calorífico de 23,991kcal/g. O trabalho conclui que o objetivo da briquetagem é produzir briquetes que servirão como boa fonte de combustível, mostra que o melhor briquete foi produzido quando a serragem foi misturada com amido e diz que a produção deve ser incentivada, pois isso proporcionará uma alternativa à lenha para fonte de energia barata.

No trabalho de Dos Santos; *et al.*, 2011, foram realizados testes de TG, DTG e DTA, os quais mostram as temperaturas em que acontecem os estágios de perda de umidade, decomposição da matéria e conseqüentemente a perda de massa da celulose, hemicelulose, lignina e do bagaço da cana recém moído. O estudo mostra parâmetros que permitem caracterizar uma composição lignocelulósica de uma forma qualitativa, através da qual pode-se estimar, em alguns casos quantitativamente, a celulose, hemicelulose e a lignina presentes em um material e conclui que a transformação do bagaço em carvão é uma alternativa viável para a estocagem do mesmo, seja pulverizado ou na forma de briquetes.

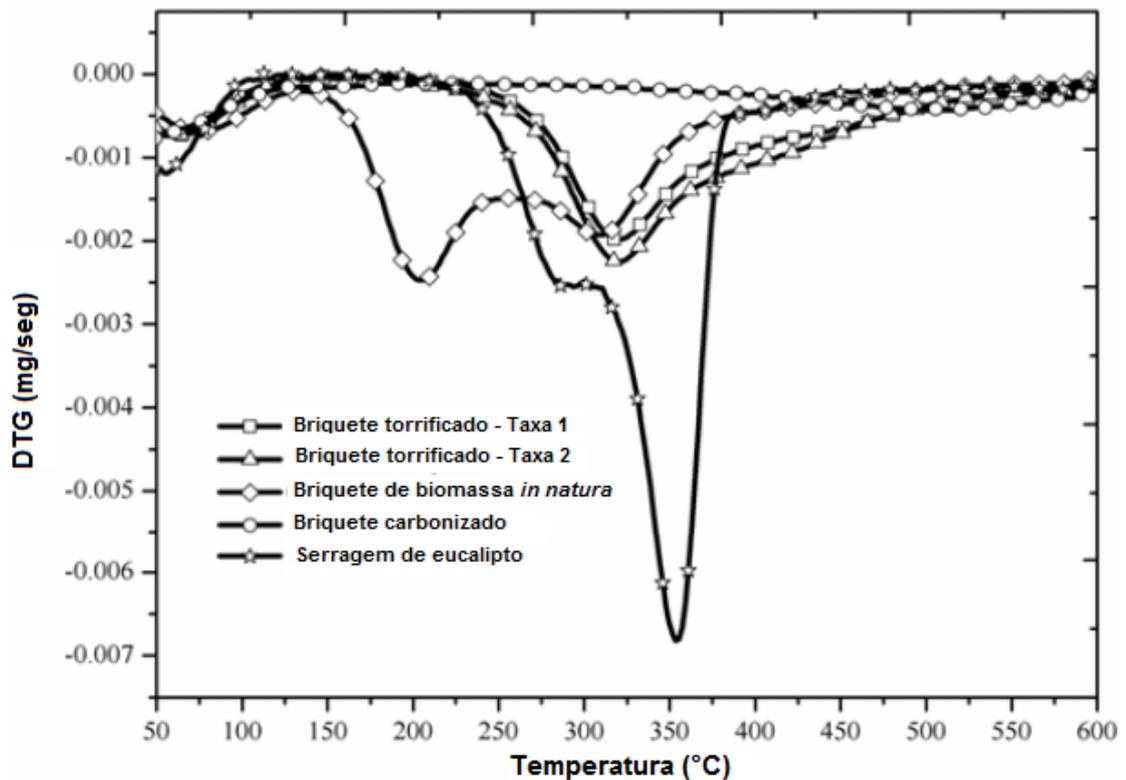
Vários trabalhos mostram a biomassa como uma energia potencial renovável e um substituto alternativo aos combustíveis fósseis. No estudo de Protasio; *et al.*, 2013, foi analisado o comportamento térmico de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café, em diferentes formas: *in natura*, torreficados e carbonizados. Utilizou-se a serragem de *Eucalyptus* como parâmetro de comparação. Os briquetes foram carbonizados considerando a temperatura final de 450° C (mantida por 30 min). A torrefação dos briquetes foi realizada em uma mufla em duas taxas de aquecimento até 250° C (mantida por 60 min). Realizou-se a análise termogravimétrica em atmosfera de nitrogênio até a temperatura de 600° C.

Figura 2 - Curvas de TG dos combustíveis analisados



Fonte: Adaptado de PROTASIO et al., 2013.

Figura 3 – Curvas de DTG dos combustíveis analisados



Fonte: Adaptado de PROTASIO et al., 2013.

Determinaram-se os teores de carbono fixo e materiais voláteis dos combustíveis. O briquete carbonizado dos resíduos do processamento dos grãos de café apresentou a maior estabilidade e baixa decomposição térmica. Observou-se baixa influência da taxa de aquecimento de torrefação nas propriedades térmicas dos briquetes e nos teores de carbono fixo e materiais voláteis. Quanto às biomassas in natura observou-se menor perda de massa total para os resíduos do processamento dos grãos de café em comparação a serragem de eucalipto. Os briquetes carbonizados e torrificados apresentaram caráter mais hidrofóbico em relação ao briquete in natura.

O trabalho de Krizan; *et al.*, 2012, mostra alguns parâmetros de processamento de briquetes, onde, primeiramente, foram analisadas as características do material de entrada (tamanho do produto moído, umidade etc.) e foram utilizados diferentes métodos de pré-tratamento (trituração, desintegração, secagem). A qualidade final do briquete depende da composição básica do material e dos melhores parâmetros tecnológicos. Os parâmetros mais importantes que afetam a qualidade do briquete são o tamanho de grão, a temperatura, a pressão de compactação e a umidade do material. A qualidade final de briquetes pode ser avaliada pela medição da densidade e resistência mecânica dos briquetes de acordo com os padrões europeus conhecidos para biocombustíveis sólidos de alta qualidade.

No trabalho de Araújo, *et al.*, 2013, a viabilidade da produção de briquetes de folhas como uma alternativa às fontes tradicionais de energia é mostrada. Sendo perfeitamente aplicável, dada a grande disponibilidade de matéria prima e, os baixos custos de produção, já que todo o material usado no processo pode ser adquirido nos aterros de podas, aumentando assim o seu tempo de vida útil. Destacam também a facilidade de implementação da tecnologia de produção, que apesar de um custo inicial relativamente alto, esse valor de investimento pode ser recuperado com a venda do próprio briquete. A bibliografia escassa sobre a produção de briquetes com podas oferece a qualquer estudo na área um grande valor e também contribui por incentivar novas pesquisas em um campo carente de informações, mas gera também um ponto negativo que é a baixa procura por esse biocombustível devido à falta de informação dos consumidores. O trabalho também mostra que os briquetes apresentam benefícios ambientais como diminuição dos resíduos destinados a aterros sanitários, a diminuição do desmatamento para uso da lenha, e

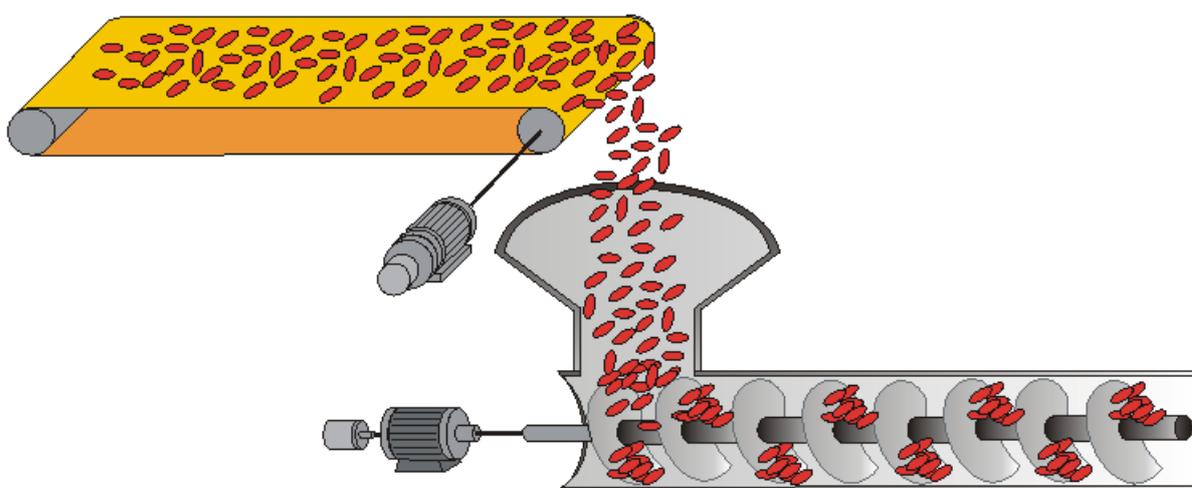
que possui baixo custo, podendo substituir a lenha o carvão e outros, além de apresentar maior poder calorífico, como também menor teor de umidade e ocupar menor espaço para armazenamento. De forma geral, todos os briquetes analisados apresentaram potencial para a produção de energia, com alto índice de poder calorífico, inclusive superior ao da lenha.

Atualmente existem diversos processos de produção de briquetes, dentre os quais os mais utilizados são a extrusão convencional e a extrusão RAM (extrusão acionada por um pistão hidráulico).

Os sistemas de extrusão convencional e extrusão RAM consistem em um processo mecânico de produção denominado semicontínuo, em que o material é forçado através de uma matriz, por um parafuso ou pistão, adquirindo assim a forma pré-determinada pela matriz. Ambos os processos demandam altas quantidades de energia para manter uma elevada pressão e temperatura, necessárias nesse tipo de equipamento para a produção dos briquetes.

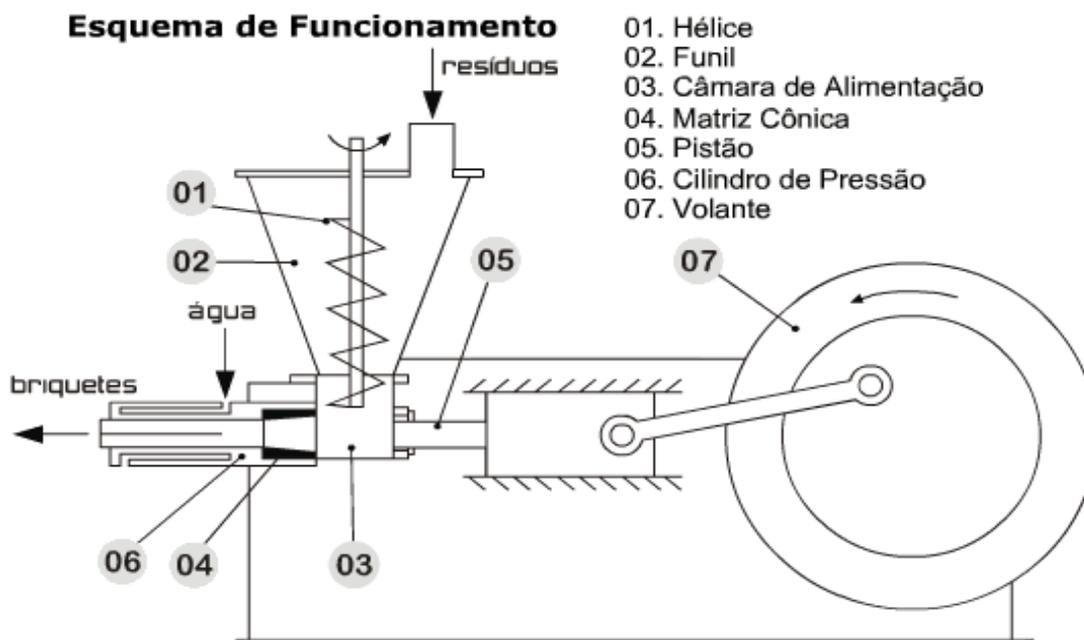
Estes sistemas são utilizados para produzir briquetes com características distintas. Briquetes produzidos pelo sistema de extrusão convencional são menores e podem possuir ou não furos no seu centro, além de terem perfis cilíndricos. Já os briquetes produzidos pelo sistema de extrusão RAM são maiores e podem possuir diversos tipos de perfis, determinados pela matriz a ser utilizada.

Figura 4 – Extrusão Convencional



Fonte: O autor, 2017.

Figura 5 – Extrusão RAM



Fonte: O autor, 2017.

Outra técnica que é capaz de produzir as chamadas lenhas ecológicas, que são semelhantes aos briquetes, é a peletização, técnica esta que utiliza um processo semelhante a extrusão convencional, onde os produtos têm densidade e dimensões menores que as de um briquete.

No Brasil, a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), regulamentou uma padronização para algumas características para os briquetes, nas quais define que um briquete deve ter uma densidade média entre $650,0 \text{ kg/m}^3$ ($0,65 \text{ g/cm}^3$) e $1200,0 \text{ kg/m}^3$ ($1,2 \text{ g/cm}^3$) e dimensões mínimas aproximadas de $60,0 \text{ mm}$ de diâmetro e entre $25,0 \text{ mm}$ e $300,0 \text{ mm}$ de comprimento.

Esse processo contribui de forma significativa para plastificação da substância lignina, contida dentro dos materiais lignocelulósicos, a qual atua como um agente aglomerante das partículas.

A lignina é uma macromolécula tridimensional amorfa que se encontra em plantas e está associada à celulose na parede celular, cuja função é conferir rigidez, impermeabilidade, resistência a ataques microbiológicos e resistência mecânica aos tecidos vegetais. Devido à presença do grupo funcional álcool em sua estrutura molecular, a mesma possui facilidade em se dissolver na água.

O processo também permite a produção de briquetes com elevado teor de umidade e contribui com a dissolução da lignina, facilitando a sua adsorção na superfície dos briquetes conferindo resistência mecânica.

2 METODOLOGIA

2.1 Técnica de briquetagem por batelada hermética

A técnica desenvolvida, denominada briquetagem por batelada hermética, consiste em compactar e aglutinar resíduos orgânicos, principalmente os de madeira. Utilizando um briquetador, o qual impõe uma pressão de compactação à mistura (resíduos de madeira e alimentícios, além de óleo e água) e proporciona uma vedação, permitindo que a pressão de vapor d'água possivelmente atue como um agente carreador da lignina, conduzindo-a para a superfície externa do material, selando e unindo as partes. Além disso, a vedação do briquetador hermético ajuda no rápido cozimento dos resíduos alimentícios, através da pressão do vapor d'água, melhorando assim a aglutinação do briquete, tornando-o estável e resistente.

Os parâmetros de operação desta técnica para produção de briquetes com uma densidade seca média de 0,8 g/cm³, devem ser de:

- Pressão de compactação entre 2,0 MPa e 3,0 MPa;
- Temperatura de aquecimento do molde entre 160°C e 180°C;
- Tempo de compactação / aglutinação entre 5 minutos e 15 minutos no calor

Observa-se que os valores descritos acima para a pressão de compactação e a temperatura de aquecimento do molde, podem ser alterados, com o objetivo de se produzir briquetes com densidade maior e/ou para se reduzir o tempo de compactação/aglutinação.

O percentual de peso ideal dos componentes da mistura para a técnica, deve ser:

- (a)** de 40% a 100% em peso de resíduos de madeira (e/ou materiais lignocelulósicos) de alta e/ou baixa granulometria;
- (b)** de 0% a 60% em peso de resíduos alimentícios;

Esses percentuais são em peso úmido natural, ou peso seco com umidade residual;

Na mistura também podem ser adicionados aditivos para melhorar a queima, a exemplo de óleos de frituras, usados em uma quantidade ideal entre 5,0 - 25,0 ml para cada 130,0 g da mistura.

Observa-se que ao se efetuar a briquetagem por essa técnica sem resíduos alimentícios em sua mistura, deve-se adicionar água em proporção entre 4% e 20% do peso dos resíduos de madeira. Já com a presença de resíduos alimentícios na mistura, deve-se adicionar a água em mesma proporção de massa dos resíduos alimentícios e os mesmos devem ser liquidificados para uma melhor eficácia da mistura. Além disso, na mistura de material, é possível utilizar resíduos alimentícios previamente cozidos ou não.

Após a produção, os briquetes devem ser estocados para a retirada do excesso de umidade, para se ter um produto com melhor desempenho na queima. O tempo médio para a estocagem de um briquete em contato direto com ambiente varia de um a cinco dias, dependendo do clima. Já para estocagem em estufa, em uma faixa de temperatura entre 80,0°C e 100,0°C, seu tempo médio vai de 12 a 24 horas. Após o período de estocagem, os briquetes podem ser armazenados por tempo indeterminado até sua utilização.

Vale ressaltar que devido ao caráter inovador da técnica desenvolvida, foi feito um depósito de patente denominado "*Produção de briquetes de sobras de madeira (e/ou lignocelulósicos) de alta granulometria utilizando resíduos alimentícios como aglutinantes*" (2014), o qual define as principais variáveis do processo não contínuo de briquetagem por batelada hermética. O depósito de patente foi aprovado e registrado pelo Escritório de Propriedade Intelectual da UERJ junto ao INPI (Instituto Nacional de Propriedade Intelectual).

2.2 Cálculos e geração de gráficos

Foi utilizado o software Excel 2013 para a realização de cálculos gerais, cálculos de desvio e erro padrão, também para a criação de tabelas e gráficos que serão apresentados nesta dissertação, sendo todos os dados e resultados gerados pelos equipamentos utilizados nos ensaios de caracterização.

2.3 Equipamentos utilizados

2.3.1 Analisador Térmico Perkin Elmer STA 6000

O analisador térmico Perkin Elmer STA 6000 possui uma gama de analisadores térmicos simultâneos (STA) que oferecem medições e análises da mudança de peso da amostra e do fluxo de calor em tempo real. Os sensores do equipamento podem realizar simultaneamente a caracterização de materiais inorgânicos, poliméricos, óleos dentre outros, combinando análise de temperatura diferencial (DTA ou DSC) com a análise termogravimétrica (TG), gerando resultados confiáveis e simples interpretação de dados.

Figura 6 - Analisador térmico Perkin Elmer STA 6000



Fonte: O autor, 2017.

Algumas aplicações para análise simultânea de (TG) são a análise de composição que analisa o conteúdo quantitativo, temperaturas de decomposição, medições de volatilidade de óleo, conteúdo de preenchimento, estudo de inflamabilidade, previsões de tempo de vida (via software de cinética de TG), medições voláteis (por exemplo água, óleo), estabilidades oxidativas, estabilidades térmicas, estudo de catalisadores e hifenização para identificar produtos fora de gaseificação.

As aplicações para o (DTA e DSC) são a análise do comportamento de fusão/cristalização, as temperaturas de transição vítrea, capacidade de calor específico, estudos cinéticos e entalpias de transição e reação.

2.3.2 Analisador de infravermelho Perkin Elmer FT-IR Frontier

O analisador de infravermelho Perkin Elmer FT-IR Frontier realiza a espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) com refletância total atenuada (ATR).

Figura 7 - Analisador de infravermelho Perkin Elmer FT-IR Frontier



Fonte: O autor, 2017.

Nesse processo a radiação na região do infravermelho é passada através da amostra, sendo que parte dela é absorvida e parte é transmitida. Uma comparação é feita com a radiação transmitida sem a amostra. O resultado da interação radiação-amostra gera um espectro molecular de absorção e de transmissão, criando-se assim uma impressão digital molecular da amostra em análise.

Os espectros produzidos terão diferenças, mesmo que mínimas, tornando desta forma a espectroscopia no infravermelho útil para vários tipos de análises (SILVERSTEIN et al., 1991 ; SMITH, 1998 ; SOLOMONS, 2001).

O FT-IR é uma técnica muito importante na análise orgânica qualitativa, podendo ser utilizada como ferramenta para a identificação de grupos funcionais e é

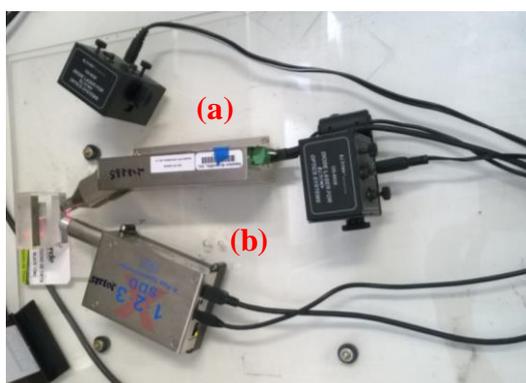
amplamente utilizada nas áreas de química e de produtos naturais, síntese e transformações orgânicas (SILVERSTEIN et al., 1991).

A espectroscopia de reflexão interna é uma técnica não destrutiva que permite a obtenção de espectros na região de infravermelho de amostras difíceis de serem manipuladas, como sólidos pouco solúveis, pós, pastas, filmes, adesivos, e outros (SKOOG et al., 2009). Devido ao seu funcionamento simples, o ATR permite a obtenção de espectros com maior rapidez, quando comparado ao modo clássico de obtenção de espectros de infravermelho.

2.3.3 Gerador de raios-x e detector SDD

Detectores SDD são detectores de Silício, e as principais características dos cristais de silício são baixo número atômico ($Z=14$), baixa energia necessária para criar um par elétron-buraco (3.6 eV), alta resistividade, portadores de carga com alta mobilidade, e possuem camada proibida relativamente alta $E_g = 1.12$ eV.

Figura 8 - Gerador de raios-x e detector SDD



Legenda: (a) - gerador de raios-x; (b) - detector SDD.
Fonte: O autor, 2017.

A região sensível que se obtém aplicando tensão reversa em um detector de silício de alta pureza é $x_0 \sim 1 - 2$ mm. A fabricação de detectores de silício mais espessos é possível através da técnica denominada lithium drifting, que consiste em inserir lentamente átomos de lítio em um cristal tipo-p (Si ou Ge, por exemplo) para criar uma região onde as concentrações de impurezas doadoras e receptoras estão

exatamente balanceadas, aumentando a região sensível para 5 a 10 mm (KNOLL, 1989).

Si(Li) são dispositivos amplamente desenvolvidos pela indústria, sendo comumente denominados Silicon-Drift Detectors (SDD). Apesar da corrente de fuga para cristais de Si ser baixa a temperatura ambiente, os SDDs precisam ser operados com resfriamento por nitrogênio líquido.

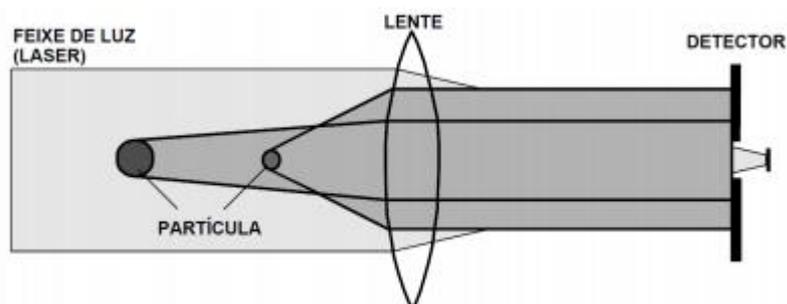
O número atômico baixo do silício implica que a secção de choque para absorção fotoelétrica de raios X é relativamente alta enquanto para raios gama é menor do que outros semicondutores. Além disso, Si possui pico de escape de raios X menos proeminente. Por estas razões, detectores de Si(Li) são apropriados para espectroscopia de raios X (1-300 keV).

Os SDDs são comumente utilizados para detecção e espectroscopia de partículas carregadas, especialmente partículas β , uma vez que a geometria dos canais de deriva permite detectar com excelente precisão qual local do detector ocorreu a interação.

2.3.4 Analisador de distribuição de tamanho de partículas Malvern Mastersizer Hydro 2000 UM

O MASTERSIZER Hydro 2000 MU utiliza o princípio da difração da luz, enviando um feixe de laser através de um dispositivo óptico pelo qual escoam a amostra líquida a ser analisada. Quando o feixe colimado encontra as partículas, parte do laser é difratado e, subsequentemente, focado, por meio de lentes no detector. Quanto menor o tamanho da partícula, maior será o ângulo de difração. O princípio esquemático de medição do MASTERSIZER 2000 é mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Princípio de determinação da distribuição do tamanho de partículas por difração laser



Fonte: Adaptado de CASTILLO, 2011.

Adicionalmente, o sistema opera com um equipamento de dispersão e bombeio HYDRO 2000MU para realizar a recirculação e escoamento da amostra a ser analisada através do MASTERSIZER 2000.

A Figura 10 apresenta o sistema de bombeio e o Mastersizer.

Figura 10 - Sistema Mastersizer 2000 e Hydro 2000MU



Fonte: O autor, 2017.

2.3.5 Prensa eletrohidráulica SOLOTESTE modelo 1.501.220

A prensa eletrohidráulica SOLOTESTE modelo 1.501.220, possui um indicador digital com capacidade para 100 ou 200 toneladas/força, com indicador eletrônico digital simples e bomba eletro-hidráulica, que permite controle manual da velocidade de avanço do pistão, além da função de avanço rápido para uso na aproximação antes do ensaio.

A bomba hidráulica elétrica utilizada possui alavanca com 4 posições que confere agilidade operacional e alta produtividade nos ensaios de ruptura por dispensar abertura e fechamento trabalhosos das antigas válvulas de rosca. Possui pistão especial em aço maciço com guias e vedações em teflon e bronze ao invés de o-rings para maior durabilidade e exclusivo sistema de proteção contra pó e resíduos, além de função S.U.P. no mostrador, que mantém eletronicamente a carga máxima atingida pelo corpo de prova. O retorno do pistão se dá através de 4 molas que permitem maior rapidez entre ensaios.

A prensa ainda dispõe de dispositivo elétrico que limita o curso do pistão para evitar acidentes e porta de proteção contra estilhaços. Acompanha pedestal para rompimento de CPs 100X200 mm. Menor divisão do mostrador: 0,01tf (10 kgf); Curso máximo do pistão: 30 mm.

Figura 11 - Prensa eletrohidráulica
SOLOTESTE modelo
1.501.220



Fonte: O autor, 2017.

O equipamento da Figura 10 faz testes de compressão axial, análises de compressão em dois eixos e análise de flexão.

2.3.6 Balança de precisão Martes Série AS5500C

A balança de precisão Martes Série AS5500C é pesadora e contadora, tem capacidade de carga máxima e campo de tara de 500/5000g, tem sensibilidade e reprodutibilidade de 0,01/0,1g, tempo de estabilização de 3s, a temperatura de trabalho ideal é entre 10 a 40°C, as dimensões do prato são (202x156)mm, as dimensões de comprimento, largura e altura são respectivamente (292x210x70)mm, pesa 3,85 kg e possui ajuste automático de voltagem.

Figura 12 - Balança de precisão
Martes Série
AS5500C



Fonte: O autor, 2017.

2.3.7 Forno de resistências JUNG modelo 7012

O forno de resistências JUNG modelo 7012 é para cerâmica, pode atingir a temperatura de até 1230°C, possui um controlador automático que permite

programar taxas de aquecimento, tempo de permanência em temperatura, desligamento automático e visor digital. Tem capacidade de 72 litros, possui altura, largura e profundidade internas de (400x400x450)mm e externas de (980x960x980)mm, pesa aproximadamente 171 kg e tem potência de trabalho de 6,8 kW.

Figura 13 - Forno de resistências JUNG modelo 7012

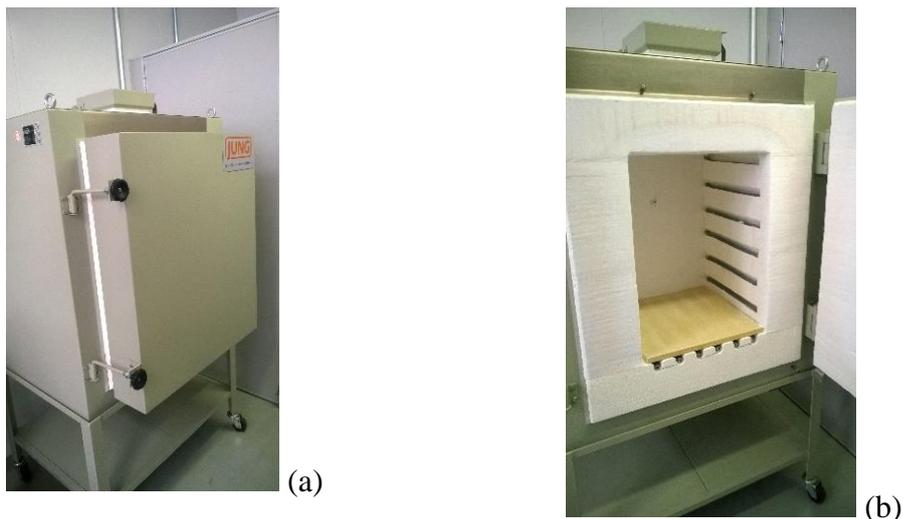


Fonte: O autor, 2017.

2.3.8 Forno de resistências JUNG modelo JC10013

O forno de resistências JUNG modelo 10013 é para cerâmica, pode atingir a temperatura de até 1300°C, possui um controlador automático que permite programar taxas de aquecimento, tempo de permanência em temperatura, desligamento automático e visor digital. Tem capacidade de 99 litros, possui altura, largura e profundidade internas de (550x400x450)mm e externas de (1180x1090x960)mm, pesa aproximadamente 279 kg e tem potência de trabalho de 7,4 kW.

Figura 14 - Forno de resistências JUNG modelo JC10013



Legenda: (a) - forno fechado; (b) - forno aberto.
Fonte: O autor, 2017.

2.3.9 Prensa hidráulica manual Eureka 0195

Para a compactação dos briquetes, foi utilizada uma prensa hidráulica manual Eureka modelo 0195 com capacidade para até 15 toneladas de carga, que pode ser observada na Figura 15.

Figura 15 - Prensa hidráulica manual Eureka 0195

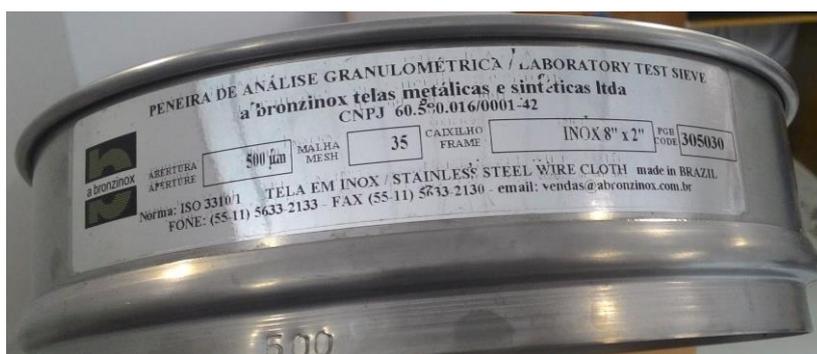


Fonte: O autor, 2017.

2.3.10 Peneira para análise e controle granulométrico Bronzinox malha 35 de 500µm PGB 305030

Para o controle granulométrico das cinzas, foi utilizada a peneira Bronzinox com malha ASTM 35 de 500 µm, que pode ser observada na Figura 16.

Figura 16 - Peneira para análise e controle granulométrico Bronzinox malha 35 de 500 µm PGB 305030



Fonte: O autor, 2017.

2.3.11 Briquetador 1

O equipamento chamado de briquetador 1, produz briquetes pela técnica de briquetagem por batelada hermética.

Figura 17 – Briquetador 1 por batelada hermética



Fonte: O autor.

O cilindro principal possui 200mm de curso útil, diâmetro interno de 84mm e é de aço 4340. O 4340 é um aço para beneficiamento com elevada

temperabilidade, ligado ao cromo-níquel-molibdênio, utilizado na fabricação de diferentes componentes mecânicos, inclusive com seções espessas, quando se deseja uma combinação de resistência mecânica média e resistência à fratura. Também possui elevada resistência à fadiga.

É utilizado em componentes para sistemas mecânicos, principalmente estruturais, onde se necessita uma homogeneidade de dureza ao longo da seção transversal em pequenas ou grandes seções. Suas principais aplicações são; eixos, engrenagens, engrenagens planetárias, colunas, mangas e cilindros, como nesse caso.

As tampas e pastilhas utilizadas para travamento e suporte são de aço 1020. O 1020 é um dos aços mais utilizado como aço para cementação, com excelente relação custo benefício comparado com aços mais ligados para o mesmo propósito. Possui excelente plasticidade e soldabilidade. É utilizado em componentes mecânicos de uso como engrenagens, eixos, virabrequins, eixos-comando, pinos guia, anéis de engrenagem, colunas, catracas, capas.

O eixo principal de curso é um fuso com rosca trapezoidal de aço R50. O aço R50 é de excelente usinabilidade para a máquina-ferramenta devido a presença do enxofre e chumbo, o que permite a obtenção de um fio de rosca preciso, além de um bom acabamento para o fuso. Esse aço tem resistência mecânica de 460/650 N/mm² e HB 120/200.

Os parafusos utilizados para o travamento dos componentes foram os M8 – 45 mm sextavados internos.

Na pastilha rosqueada de travamento superior e na seção transversal superior do cilindro, foram feitos 12 furos espaçados uniformemente de modo que associados ao fuso de 6 voltas por polegada podem obter uma precisão de curso vertical de aproximadamente 0,35 mm, permitindo um ajuste preciso no travamento, mantendo também uma precisão na carga aplicada no briquete.

2.3.12 Briquetador 2 (novo briquetador)

O briquetador 2 ou novo briquetador foi construído para melhorar o processo de produção de briquetes por batelada hermética, corrigir eventuais falhas que existiam no briquetador 1 e também para padronizar as dimensões dos briquetes.

Foram utilizados os mesmos materiais que no briquetador 1, mas com dimensões diferentes. Todos os detalhes serão mostrados no item 4 desta dissertação.

2.4 Materiais Utilizados

Foram utilizados os briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética, lenha de eucalipto e os briquetes comercializados pela empresa Tramontina do Brasil S.A.

Figura 18 - Briquete Tramontina



Fonte: O autor, 2017.

Na Figura 18 , pode-se observar algumas ranhuras em sua superfície externa (mais escura). Tais ranhuras mostram que o processo de produção deu-se através da briquetagem por extrusão RAM.

Figura 19 - Lenha de eucalipto



Fonte: O autor, 2017.

A lenha de eucalipto é largamente utilizada como fonte de energia térmica em lareiras, fornos, saunas, etc.

Também foram utilizados alguns briquetes produzidos pelo briquetador 1. Algumas de suas características podem ser observadas nas Tabelas 1, 2 e 3 abaixo.

Tabela 1 - Características do briquete produzido no teste 3

Teste 3		Realizado em 13/02/2014	
Retirado em 14/02/2014			
Briquete			
	Diâmetro	Massa	
	86 mm	184,29 g	
	Altura	Densidade	
47 mm	0,675 g/cm ³		

Fonte: O autor, 2017.

O briquete da Tabela 1 é composto de grânulos de eucalipto, arroz cozido e batido com água e óleo de soja, utilizado em frituras que seria descartado. O mesmo recebeu a denominação de teste 3, foi produzido sob uma pressão de 48,53 KPa e aquecido a uma temperatura de 200 °C, sendo mantido por um período de 40 minutos nessa temperatura.

Tabela 2 - Características do briquete produzido no teste 4

Teste 4		Realizado em 14/02/2014	
Briquete	Retirado em 18/02/2014		
			
	Diâmetro	86 mm	Massa
	Altura	95 mm	Densidade
			490,53 g
			0,889 g/cm ³

Fonte: O autor, 2017.

O briquete da Tabela 2, é composto por grânulos de eucalipto, arroz cozido e batido com água e óleo de soja utilizado em frituras . Foi feito sob a compactação de 186 kPa e aquecido até a temperatura de 200°C onde permaneceu por 45 minutos.

Tabela 3 - Características do briquete produzido no teste 11

Teste 11		Realizado em 18/03/2014	
Briquete	Retirado em 18/03/2014		
			
	Diâmetro		Massa
	86 mm		131,72 g
Altura		Densidade	
25 mm		0,907 g/cm ³	

Fonte: O autor, 2017.

O briquete da Tabela 3, denominado teste 11, é composto de grânulos de eucalipto e amido de milho misturado com água. O mesmo foi produzido sob uma pressão de compactação de 2,53 Mpa (1,5 toneladas de carga) e foi mantido à temperatura de 200°C por um período de 40 minutos.

Os briquetes 1, 2 e 3 foram utilizados por estarem em conformidade com as normas de dimensões e densidades regulamentadas pela EMBRAPA.

2.5 Análise Térmica comparativa

Esta análise avalia a variação de energia relacionada com a variação de massa e o aumento gradativo da temperatura, pois quando uma substância sofre uma mudança física ou química, observa-se uma variação correspondente na entalpia (ΔH).

2.5.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados como amostras para esse ensaio foram os briquetes teste 3, teste 4, teste 11, a lenha de eucalipto e os briquetes Tramontina.

O equipamento utilizado para realizar a análise térmica, pode ser observado na Figura 6:

2.5.2 Métodos

Os materiais utilizados foram despedaçados e cominuídos.

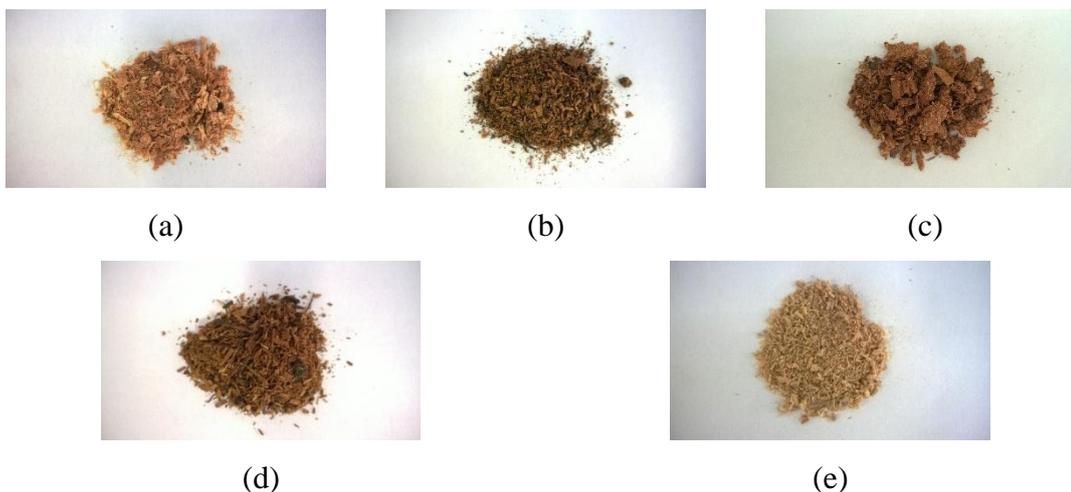
Em seguida, uma quantidade representativa de cada amostra foi colocada na câmara de análise do equipamento e o fluxograma de aquecimento para os ensaios foi programado.

A rampa de aquecimento utilizada em todos os ensaios foi de 5°C/min e que a temperatura final definida para o primeiro ensaio de cada amostra foi de 700°C, o qual foi considerado como triagem, e para os outros quatro ensaios a temperatura final definida foi de 550°C.

Ao final dos ensaios, os dados obtidos para TG, DTG e DSC foram analisados e catalogados. Essa sequência foi repetida cinco vezes para cada amostra de material.

As amostras prontas para os testes podem ser observadas na Figura 20:

Figura 20 - Granulometria das amostras utilizadas na análise térmica



Legenda: (a) - briquete Tramontina; (b) - briquete produzido no teste 4; (c) - briquete produzido no teste 11; (d) - briquete produzido no teste 3; (e) - lenha de eucalipto.

Fonte: O autor, 2017.

2.6 Análise de Composição por Queima

A Análise de Composição por Queima avalia a variação de massa dos materiais lignocelulósicos comparando o percentual de celulose/hemicelulose e o percentual de lignina presentes nas amostras, de acordo com (dos Santos et al,2011).

2.6.1 Materiais Utilizados

Foram utilizados para este ensaio parte das amostras da Figura 20, a balança de precisão da Figura 12 e forno de resistências da Figura 13.

2.6.2 Métodos

O processo de preparo das amostras foi o mesmo efetuado para as amostras da Análise Térmica.

Foi efetuada a aferição e catalogação da massa dos cadinhos de cerâmica que seriam utilizados. Em seguida, foi colocada uma quantidade representativa de cada amostra dentro de seu respectivo cadinho e feita uma nova aferição do conjunto cadinho/amostra, para cada amostra.

O forno de resistências foi configurado para uma taxa de aquecimento de 5°C/min desde a temperatura ambiente até a temperatura de 100°C e manter-se nessa temperatura por uma hora para que fosse efetuada a secagem das amostras.

Decorrido o período de secagem, os conjuntos amostras/cadinhos secos foram tiveram a suas massas aferidas e foram catalogados.

Em seguida, as amostras foram colocadas novamente no forno, o qual foi reprogramado para aquecer desde a temperatura de 100°C até 360°C, a uma taxa de 20°C/min, mantendo essa temperatura por um período de três horas.

De acordo com (Dos Santos; *et al.*, 2011), a 360°C toda a celulose e hemicelulose de um material lignocelulósico são consumidas na queima, restando a lignina, a qual começa a ser consumida a temperatura de 460°C. Essas temperaturas foram definidas como pontos de avaliação dos gráficos de Tg e DTG obtidos na análise térmica feita anteriormente. Vale ressaltar que devido a faixa de temperatura de combustão da celulose e hemicelulose serem sobrepostas, não foi possível separar seus percentuais de massa individualmente.

Após as três horas de queima, o forno foi desligado, os conjuntos cinzas/cadinhos foram retirados e posicionados para o resfriamento. Assim que as temperaturas se estabilizaram com a temperatura ambiente, as massas das amostras foram aferidas na balança de precisão e os resultados catalogados.

2.7 Análise por Infravermelho

A análise de infravermelho foi feita pelo método de refletância total atenuada. A técnica consiste na incidência de raios no espectro de infravermelho sobre a superfície do material e análise de sua resposta através de um detector. Esta análise tem a finalidade de avaliar grupos funcionais e a composição da amostra.

2.7.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados como amostras para esse ensaio foram os briquetes teste 3, teste 4, teste 11, a lenha de eucalipto, os briquetes Tramontina e as cinzas obtidas na análise de composição por queima.

O equipamento utilizado foi o analisador de infravermelho Perkin Elmer FT-IR Frontier, que pode ser observado na Figura 7:

2.7.2 Métodos

Para efetuar a análise, a amostra foi posicionada no centro da câmara do equipamento e foi iniciada a irradiação de raios de grande parte do espectro do infravermelho sobre a amostra. Em seguida, o software do equipamento gerou um gráfico de transmitância por comprimento de onda emitido pela amostra, em percentual. O próprio software converteu o gráfico de transmitância em gráfico de absorbância ainda em percentual.

Cada etapa foi realizada quatro vezes para cada amostra antes e depois da queima.

2.8 Análise de Teor de Cinzas

A análise de teor de cinzas visa avaliar a quantidade de cinzas geradas após a queima do material.

2.8.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados como amostras para esse ensaio foram os briquetes teste 4 e os briquetes Tramontina.

Figura 21- Amostras da análise de teor de cinzas



Legenda: (a) - briquete Tramontina; (b) - briquete produzido no teste 4.
Fonte: O autor, 2016.

As amostras foram cominuídas e colocadas em um cadinho de cerâmica para alta temperatura. Também foi utilizado a balança de precisão o forno de resistências, equipamentos que podem ser observados nas Figuras 12 e 13.

2.8.2 Métodos

Para a análise do teor de cinzas, primeiramente foram aferidas as massas dos cadinhos de cerâmica. Em seguida, foram colocados pedaços/lascas das respectivas amostras dentro do cadinho e as massas do conjunto amostra/cadinho foram aferidas novamente. O forno de resistências Figura 13 foi programado para

uma taxa de aquecimento de 10°C/min, da temperatura ambiente até 525°C e permanecer nessa temperatura por um período de uma hora.

Assim que a temperatura de 170°C foi alcançada, a amostra foi colocada dentro do forno e o foi feito o aquecimento até a temperatura de 525°C. Como o forno não possuía meios de oxigenação, para melhora da queima, a porta do mesmo foi ligeiramente aberta por 2 segundos a cada 20 minutos.

De acordo com Dos Santos *et al*, 2011, a grande parte dos materiais orgânicos sofrem combustão à temperatura próxima de 525°C.

No momento em que o tempo de queima foi alcançado, o forno foi desligado, a porta do mesmo foi aberta e após decorridos 12 minutos o conjunto amostra/cadinho foi retirado. Assim que a temperatura se estabilizou, a massa do conjunto foi aferida e catalogada. A sequência foi realizada três vezes para cada amostra.

2.9 Análise de Espectroscopia por Raios-X

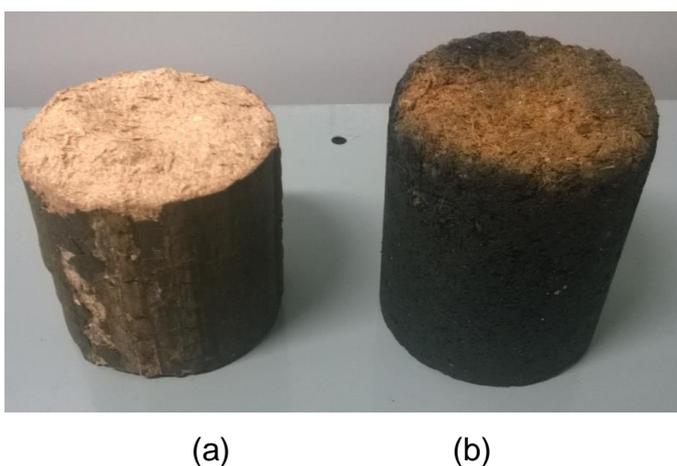
A análise de espectroscopia por raios-x, feita pela técnica de fluorescência, tem como base a incidência de raios-x inclinadamente sobre a superfície da amostra e por meio de um detector é realizada a análise dos raios liberados dessa amostra. Vale ressaltar que a técnica de espectrometria de fluorescência de Raios-X permite uma análise qualitativa, ou seja, permite identificar quais elementos estão presentes em uma amostra e também estimar uma proporção de cada elemento, pois tem como base um espectro de emissão fluorescente característico de cada elemento presente na amostra.

Através de uma fonte de excitação, pode-se emitir feixes de partículas carregadas por tubos de Raios-X, aceleradores de partículas, radiações alfa ou gama. A espectroscopia de fluorescência de Raios-X é uma técnica não destrutiva.

2.9.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados nesta análise foram o briquete Tramontina e o briquete teste 4.

Figura 22 - Amostras da análise de espectroscopia por raios-x



Legenda: (a) - briquete Tramontina; (b) - briquete teste 4.
Fonte: O autor, 2017.

O equipamento utilizado foi o Gerador de raios-x e detector SDD

2.9.2 Métodos

Para efetuar essa análise, os briquetes foram dispostos no equipamento de maneira que pudesse ser avaliada as superfícies laterais e as seções transversais. Levou-se 10 minutos para a aquisição de dados para cada superfície de cada briquete. Durante todos os ensaios, o gerador de raios-x permaneceu com uma voltagem de 15,0 kV e amperagem de 15,0 μ A. Pode ser observado que, devido a natureza orgânica dos materiais utilizados, apenas elementos inorgânicos tidos como contaminantes seriam detectados pelo equipamento e isso se deve à resolução do detector SDD utilizado.

2.10 Análise de distribuição de tamanho de partículas de cinzas

A análise de distribuição de tamanho de partículas de cinzas, feita pela técnica de difração laser, consiste em medir as distribuições de tamanhos das partículas por medição da variação angular na intensidade da luz difundida à medida que um feixe a laser interage com as partículas dispersas da amostra, onde partículas grandes dispersam a luz em pequenos ângulos em relação ao feixe de laser e partículas pequenas dispersam a luz em ângulos grandes. Os dados da intensidade da dispersão angular são analisados para calcular o tamanho das partículas responsáveis por criar o padrão de dispersão. O tamanho das partículas é indicado como o diâmetro de uma esfera de volume equivalente.

2.10.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados foram as cinzas dos briquetes e as cinzas dos briquetes padronizados.

Os equipamento utilizado foi o Analisador de distribuição de tamanho de partículas Malvern Mastersizer modelo 2000 MU, o forno de resistências da Figura 13 e a peneira para análise e controle granulométrico, Bronzinox malha 35 de 500 μm PGB 305030.

Figura 23 - Amostra de cinza com alta granulometria na peneira



Fonte: O autor, 2017

2.10.2 Métodos

As amostras dos briquetes Tramontina e dos briquetes padronizados foram cominuídas e colocadas dentro de cadinhos de cerâmica, os quais foram levados ao forno de resistências até a temperatura de 100°C por uma hora para a redução da umidade. Em seguida, a temperatura foi elevada para 525 °C, onde permaneceu por um período de 4 horas até que as amostras queimassem totalmente, virando cinzas. As cinzas obtidas foram peneiradas a finalidade de se obter as menores granulometrias possíveis. A cinzas foram dissolvidas em água para a análise no equipamento mostrado na Figura 10, o qual realizou a análise de distribuição do tamanho de partículas com e sem a utilização de.

O ultrassom serve para desaglomerar as partículas, melhorando assim os resultados da análise.

2.11 Novo briquetador desenvolvido

Diante de alguns resultados, notou-se a necessidade de produzir os briquetes pela técnica de batelada hermética de uma forma mais padronizada, produzindo-os com a composição que obteve o melhor resultado de poder calorífico. Foi necessário efetuar ensaios para a determinação da resistência mecânica média dos briquetes. Para tanto, foi desenvolvido e construído um novo briquetador.

O briquetador 2, ou novo briquetador, tem as mesmas funções do briquetador 1, o qual serve como recipiente/molde com um pistão/êmbolo para manter uma pressão previamente determinada, vedar de forma hermética as possíveis frestas e passagens além de aquecer de forma mais uniforme possível, permitindo a distribuição de calor pela superfície do material, e também fornecer proteção.

O novo equipamento, assim como o anterior, funciona em um sistema não contínuo por batelada, o qual permite a utilização de partículas com maior granulometria além de aglutinantes orgânicos sólidos ou líquidos. Podem ser utilizados também aditivos orgânicos para melhorar a queimada mistura de materiais e a adição de água, sem comprometer o funcionamento do equipamento e/ou da

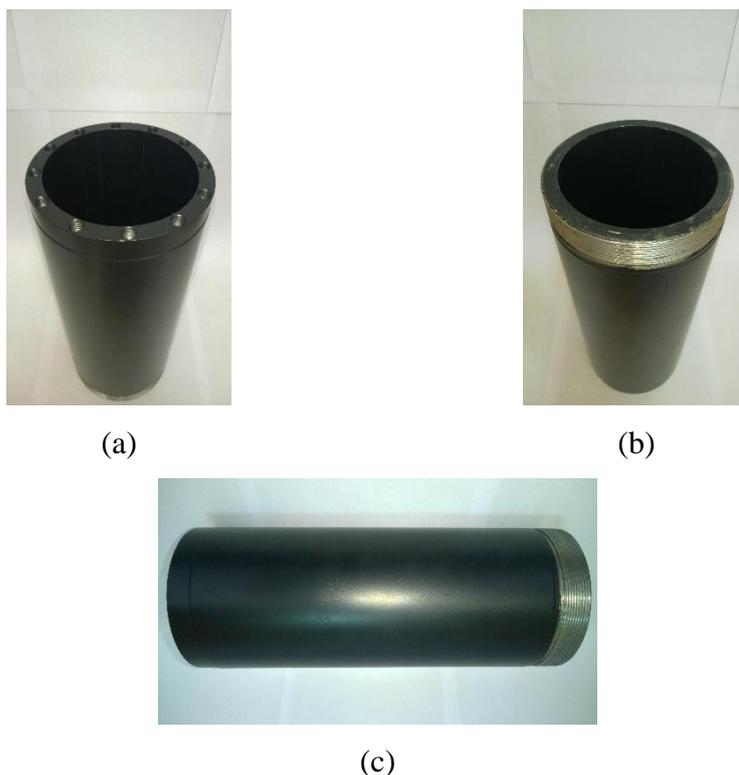
operação de briquetagem. Algumas modificações foram feitas no novo briquetador, dentre elas as que mais se destacam são um aumento no comprimento, onde o antigo possuía 200 mm de comprimento total e o novo possui 300mm, um aumento no diâmetro, no qual o antigo possuía 86 mm e o novo possui 100 mm. O novo equipamento pode produzir briquetes com comprimento de até 250 mm, além de ter sido pintado com tinta resistente a alta temperatura para que não oxidasse e conseqüentemente não transferisse oxidação para o briquete produzido.

Para facilitar o manuseio do novo equipamento, a sua base foi rosqueada e não parafusada como na versão antiga, o que facilita a fixação e retirada da mesma.

2.11.1 O Corpo no novo briquetador

O corpo do novo equipamento tem a função de molde e de guia para o pistão/êmbolo comprimir o material. Para a melhor fixação, na base foi usinado um rosqueamento e foram feitos doze furos com espaçamentos equidistantes na seção transversal superior, para uma maior precisão no controle da altura do pistão/êmbolo durante a compressão do material. Tais modificações podem ser observadas na Figura 24:

Figura 24 - O corpo do novo briquetador



Legenda: (a) - vista da face superior, tendo 12 furos para o encaixe do pistão/êmbolo; (b) - vista da face inferior, tendo a rosca externa para o encaixe da base; (c) - vista lateral.
Fonte: O autor, 2017.

2.11.2 A base do briquetador

A base do novo equipamento tem as funções de servir como barreira inferior no processo de preenchimento de material, dar sustentação durante a compactação feita pelo pistão/êmbolo e facilitar o processo de retirada do briquete, onde a mesma é desacoplada para que o pistão/êmbolo seja pressionado e extraia o material.

Pode-se observar a base do briquetador na Figura 25:

Figura 25- A base do novo briquetador



(a)



(b)



(c)

Legenda: (a) - vista da face superior; (b) - vista da face inferior; (c) - base + corpo.
Fonte: O autor, 2017.

2.11.3 O pistão/êmbolo do briquetador

As funções do pistão/êmbolo são comprimir o material, manter a pressão desejada durante o processo de aquecimento e extrair o briquete produzido de dentro do equipamento.

Na trava do pistão/êmbolo existem seis furos dispostos de forma equalizada, os quais permitem que três parafusos do tipo Allen M8 – 45 mm façam o travamento junto ao corpo do novo briquetador. Na seção transversal superior do novo briquetador, existem doze furos equidistantes, os quais permitem, ao serem alinhado com os furos da trava do pistão/êmbolo, fornecendo uma precisão de aproximadamente 0,35 mm no curso vertical para cada alinhamento.

Sobre o fuso, o qual serve como cursor para o pistão/êmbolo, existe uma pastilha de aço 1020 onde existem dois furos laterais para a fixação de bastões de

apoio, os quais são utilizados para a regulação da altura dos pistões e também como apoio na movimentação do equipamento durante o processo de colocação e retirada do forno.

Os componentes supra citados podem ser observados na Figura 26:

Figura 26 - O pistão/êmbolo do novo briquetador



(a)



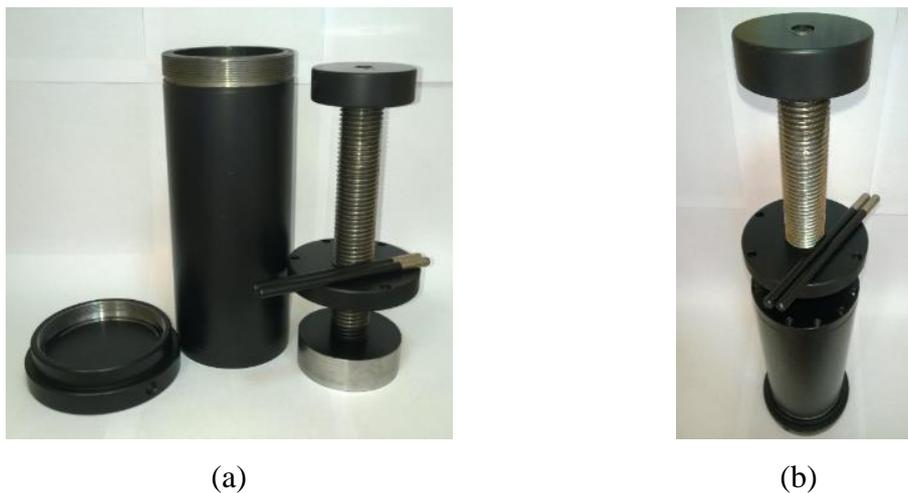
(b)

Legenda: (a) - pistão/êmbolo; (b) - pistão/êmbolo + corpo.
Fonte: O autor, 2017.

2.11.4 Observações

Na Figura 27 pode-se observar, respectivamente, o briquetador desmontado e montado. Vale ressaltar que devido à precisão de usinagem, o êmbolo encaixa perfeitamente no cilindro veda-o hermeticamente.

Figura 27 – O novo briquetador de briquetagem por batelada hermética



Legenda: (a) - reator desmontado; (b) - reator montado.
Fonte: O autor, 2017.

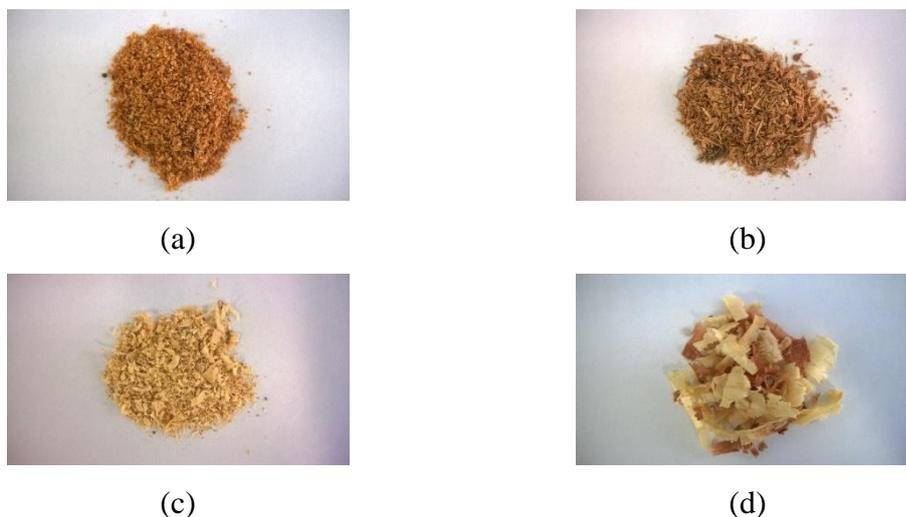
2.12 Produção de briquetes padronizados

Devido aos resultados das análises efetuadas, houve a necessidade de produzir briquetes padronizados de acordo com a composição, para se otimizar os resultados de poder calorífico.

2.12.1 Materiais Utilizados

Foram coletados em serrarias da região do município de Nova Friburgo, resíduos lignocelulósicos que podem ser observados na Figura 28:

Figura 28 - Resíduos lignocelulósicos utilizados na briquetagem



Legenda: (a) - pó de eucalipto; (b) - serragem de eucalipto; (c) - pó e serragem da mistura de maçaranduba e pinus; (d) - raspas da mistura de maçaranduba e pinus.

Nota: resíduos coletados nas serrarias da região do município de Nova Friburgo em 26/07/2016.

Fonte: O autor, 2017.

Foram coletados 20 kg de resíduos lignocelulósicos e também uma quantidade considerável de arroz cozido liquidificado com água e óleo de fritura já utilizado.

Foram utilizados também o novo briquetador , uma prensa hidráulica manual, o forno de resistências 10013, uma capela química e uma balança de precisão mostrada.

Nas Figuras 12, 14 e 29 podem ser observados a prensa hidráulica, o forno de resistências e a capela química respectivamente .

Figura 29 - Capela química



Fonte: O autor, 2017.

2.12.2 Métodos

As granulometrias dos resíduos de serrarias foram separadas, em seguida foi misturado em um recipiente uma proporção de resíduos alimentícios liquidificados com água, óleo de fritura e os resíduos de serrarias. Após, a mistura final foi depositada dentro do novo briquetador.

A mistura foi prensada até alcançar uma pressão de 1,87 Mpa (1,5 toneladas para o diâmetro). No momento que a pressão se estabilizou, o pistão/êmbolo foi travado.

O forno de resistências da Figura 14 foi programado para uma taxa de 15°C/min, partindo da temperatura ambiente até a temperatura de 350°C. Alcançada a temperatura de 350°C, o briquetador foi colocado dentro do forno por 40 minutos para aquecer todo o conjunto.

Após o aquecimento do conjunto, o equipamento foi colocado dentro da capela química para que fosse feito um resfriamento. Após 24 horas o briquete foi extraído e a sua massa e altura foram aferidas e catalogadas.

O procedimento descrito anteriormente foi realizado sete vezes, sendo possível produzir três briquetes padronizados, pois as primeiras quatro tentativas não deram certo.

2.13 Análise térmica dos briquetes padronizados

Esta segunda análise também visa avaliar a variação de energia relacionada à variação de massa com o aumento gradativo da temperatura com a correspondente variação na entalpia (ΔH).

2.13.1 Materiais utilizados

Os briquetes padronizados produzidos no novo briquetador foram cominuídos e utilizados como amostras nesta análise, a fim de comparar e catalogar os resultados.

Figura 30 - Aspecto das amostras dos briquetes padronizados



Fonte: O autor, 2016.

2.13.2 Métodos

Assim como na primeira análise térmica, os briquetes padronizados utilizados foram cominuídos, em seguida, foi separada uma quantidade representativa de cada amostra, as quais foram colocadas na câmara de análise do equipamento. Também foi definido, no software de controle do equipamento, o fluxograma de aquecimento para os ensaios realizados.

Ao final dos ensaios, os dados obtidos para TG, DTG e DSC foram analisados e catalogados. Essa sequência foi repetida uma vez para cada amostra de material.

Nesta segunda análise térmica, a taxa de aquecimento também foi de 5°C/min, partindo da temperatura ambiente até 550°C.

2.14 Análise mecânica dos briquetes padronizados

Esta análise visou realizar ensaios para a determinação da resistência mecânica à compressão axial média dos briquetes padronizados, obtendo-se assim o fator de empilhamento para a estocagem dos mesmos.

2.14.1 Materiais Utilizados

Para a análise mecânica foram utilizados os briquetes padronizados produzidos com o novo briquetador e um equipamento de compressão para madeira e concreto mostrado na Figura 15.

2.14.2 Métodos

Os briquetes padronizados foram posicionados no centro do equipamento entre as bases de compressão e ajustados com as garras e peças destinados para auxiliar no ensaio.

Em seguida o ensaio foi iniciado com a ativação do pistão de compactação, o qual foi pressionando gradativamente o material até que o mesmo rompesse sua estrutura. Foram catalogados os resultados dos valores de cargas obtidas no início da deformação e também ao final do curso máximo do pistão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise Térmica comparativa

3.1.1 Resultados

Os resultados da análise térmica comparativa, bem como estimativas, podem ser observados nas Tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9:

Nessas Tabelas, o ΔH Total refere-se a variação de energia relacionada a variação de massa com o aumento gradativo da temperatura de toda a queima e o ΔH Exotérmico refere-se a variação de energia relacionada a variação de massa da zona exotérmica da queima, o que significa que representa o poder calorífico estimado do material utilizado como amostra. A perda percentual de massa refere-se a massa consumida na apenas na zona exotérmica da amostra.

Tabela 4 - Dados da análise térmica do briquete Tramontina

	Amostra 1-Triagem	Amostra 1-A	Amostra 1-B	Amostra 1-C	Amostra 1-D
Massa Inicial	20,412 mg	20,406 mg	20,458 mg	20,402 mg	20,453 mg
% de Umidade	8,01 %	8,10 %	7,86 %	8,29 %	8,17 %
ΔH Total	8.154,31 J/g	5.553,26 J/g	5.556,38 J/g	5.883,18 J/g	6.003,09 J/g
ΔH Exotérmico	624,70 J/g	1.779,92 J/g	1.979,63 J/g	1.897,23 J/g	4.007,60 J/g
Ti Exotérmico	319,57 °C	311,47 °C	303,27 °C	306,46 °C	247,80 °C
Tf Exotérmico	493,92 °C	504,53 °C	501,72 °C	500,26 °C	507,27 °C
Perda % de Massa	36,72 %	63,94 %	69,00 %	69,43 %	88,10 %

Fonte: O autor, 2017.

Tabela 5 - Dados da análise térmica do briquete produzido no teste 4

	Amostra 2-Triagem	Amostra 2-A	Amostra 2-B	Amostra 2-C	Amostra 2-D
Massa Inicial	20,366 mg	20,425 mg	20,458 mg	20,432 mg	20,473 mg
% de Umidade	8,29 %	7,95 %	8,77 %	8,53 %	7,71 %
ΔH Total	10.368,57 J/g	7.776,09 J/g	7.201,87 J/g	7.765,29 J/g	7.626,92 J/g
ΔH Exotérmico	3.070,61 J/g	3.927,54 J/g	3.262,81 J/g	3.371,51 J/g	4.658,06 J/g
Ti Exotérmico	294,78 °C	275,13 °C	281,07 °C	285,20 °C	263,81 °C
Tf Exotérmico	480,62 °C	485,37 °C	479,12 °C	473,39 °C	484,67 °C
Perda % de Massa	68,03 %	79,74 %	72,03 %	69,75 %	82,02 %

Fonte: O autor, 2017.

Tabela 6 - Dados da análise térmica do briquete produzido no teste 11

	Amostra 3-Triagem	Amostra 3-A	Amostra 3-B	Amostra 3-C	Amostra 3-D
Massa Inicial	20,327 mg	20,436 mg	20,428 mg	20,431 mg	20,455 mg
% de Umidade	10,90 %	10,55 %	10,53 %	10,11 %	8,98 %
ΔH Total	10.411,47 J/g	6.540,05 J/g	6.763,26 J/g	6.952,72 J/g	6.158,62 J/g
ΔH Exotérmico	2.160,89 J/g	1.947,10 J/g	2.303,48 J/g	2.051,52 J/g	2.580,71 J/g
Ti Exotérmico	309,57 °C	305,89 °C	303,13 °C	309,35 °C	295,61 °C
Tf Exotérmico	480,72 °C	482,80 °C	480,85 °C	481,22 °C	479,56 °C
Perda % de Massa	61,09 %	60,74 %	63,65 %	60,35 %	61,48 %

Fonte: O autor, 2017.

Tabela 7 - Dados da análise térmica do briquete produzido no teste 3

	Amostra 4-Triagem	Amostra 4-A	Amostra 4-B	Amostra 4-C	Amostra 4-D
Massa Inicial	20,465 mg	20,448 mg	20,444 mg	20,463 mg	20,459 mg
% de Umidade	7,76 %	6,87 %	7,67 %	7,51 %	7,67 %
ΔH Total	10.814,17 J/g	7.436,34 J/g	7.702,72 J/g	7.010,81 J/g	7.572,55 J/g
ΔH Exotérmico	3.315,66 J/g	3.572,14 J/g	3.353,46 J/g	2.766,82 J/g	4.353,73 J/g
Ti Exotérmico	303,53 °C	293,51 °C	298,07 °C	305,35 °C	278,63 °C
Tf Exotérmico	486,57 °C	486,05 °C	482,81 °C	491,86 °C	481,63 °C
Perda % de Massa	66,34 %	70,49 %	66,94 %	64,11 %	75,56 %

Fonte: O autor, 2017.

Tabela 8 - Dados da análise térmica da lenha de eucalipto

	Amostra 5-Triagem	Amostra 5-A	Amostra 5-B	Amostra 5-C	Amostra 5-D
Massa Inicial	20,312 mg	20,424 mg	20,406 mg	20,420 mg	20,447 mg
% de Umidade	16,83 %	12,60 %	15,91 %	15,37 %	13,25 %
ΔH Total	9.843,27 J/g	7.166,38 J/g	7.226,86 J/g	6.611,21 J/g	6.826,27 J/g
ΔH Exotérmico	2.803,28 J/g	2.948,78 J/g	2.927,87 J/g	3.368,49 J/g	3.275,42 J/g
Ti Exotérmico	271,73 °C	272,43 °C	275,62 °C	258,19 °C	265,01 °C
Tf Exotérmico	457,49 °C	456,44 °C	459,71 °C	462,67 °C	462,79 °C
Perda % de Massa	74,20 %	74,12 %	70,17 %	77,43 %	77,15 %

Fonte: O autor, 2017.

Tabela 9 - Estimativa de propriedades das amostras

	Briquete Tramontina	Briquete produzido no teste 4	Briquete produzido no teste 11	Briquete produzido no teste 3	Lenha de Eucalipto
ΔH Total	5.748,98 ± 114,74 J/g	7.592,54 ± 134,58 J/g	6.603,66 ± 170,64 J/g	7.430,61 ± 150,13 J/g	6.957,68 ± 145,29 J/g
ΔH Exotérmico	2.416,09 ± 532,08 J/g	3.804,98 ± 319,45 J/g	2.220,70 ± 141,40 J/g	3.511,54 ± 328,20 J/g	3.130,14 ± 112,44 J/g
Ti Exotérmico	292,25 ± 14,91 °C	276,30 ± 4,65 °C	303,50 ± 2,92 °C	293,89 ± 5,64 °C	267,81 ± 3,90 °C
Tf Exotérmico	503,45 ± 1,55 °C	480,64 ± 2,79 °C	481,11 ± 0,67 °C	485,59 ± 2,29 °C	460,40 ± 1,50 °C
Perda % de Massa	72,62 ± 5,31 %	75,88 ± 2,96 %	61,55 ± 0,74 %	69,27 ± 2,47 %	74,72 ± 1,69 %

Fonte: O autor, 2017.

3.1.2 Discussões

Observando os resultados de perda percentual de massa, nota-se que o briquete Tramontina teve o menor desempenho, com uma variação de 51,38%. Os demais briquetes e a lenha de eucalipto tiveram uma variação entre 3 – 14%, mostrando maior regularidade.

Os resultados dos valores de ΔH Total e ΔH Exotérmico dos briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética são próximos ou superiores, se comparados aos briquetes Tramontina e a lenha de eucalipto.

As faixas de temperaturas nas quais ocorreram as zonas exotérmicas foram muito próximas, como mostra o Ti Exotérmico da Tabela 9.

Observa-se também que o percentual de perda de massa das amostras foi superior a 60%, indicando um rendimento na geração de energia produzida, por massa, em cada amostra.

A literatura sugere um teor de umidade de 15-20% para a queima, visto que os valores superiores reduzem o valor do calor de combustão, a temperatura da câmara de queima e a temperatura dos gases de escape (Gonçalves; *et al.*, 2009). Valores de umidade acima de 15% podem levar à quebra do briquete ou à degradação biológica durante o transporte e armazenamento. Por outro lado, baixo

teor de água (<5%) pode resultar em perda de material, bem como a sua quebra, geração de finos durante o transporte e armazenamento e observando as Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8 pode-se notar que as amostras se enquadram nestas especificações para a umidade.

Embora a umidade do briquete seja influenciada pelo conteúdo de umidade da biomassa de origem e por se tratar de um material higroscópico, o produto densificado pode ter sua umidade alterada quando não armazenado corretamente.

As análises gráficas de TG, DTG e DSC das amostras relacionadas às Tabelas anteriores podem ser observadas no Apêndice A, na página 104.

3.2 Análise de Composição por Queima

3.2.1 Resultados

Os resultados da análise de composição por queima podem ser observados na Tabela 10 e nos Gráficos 1, 2 e 3:

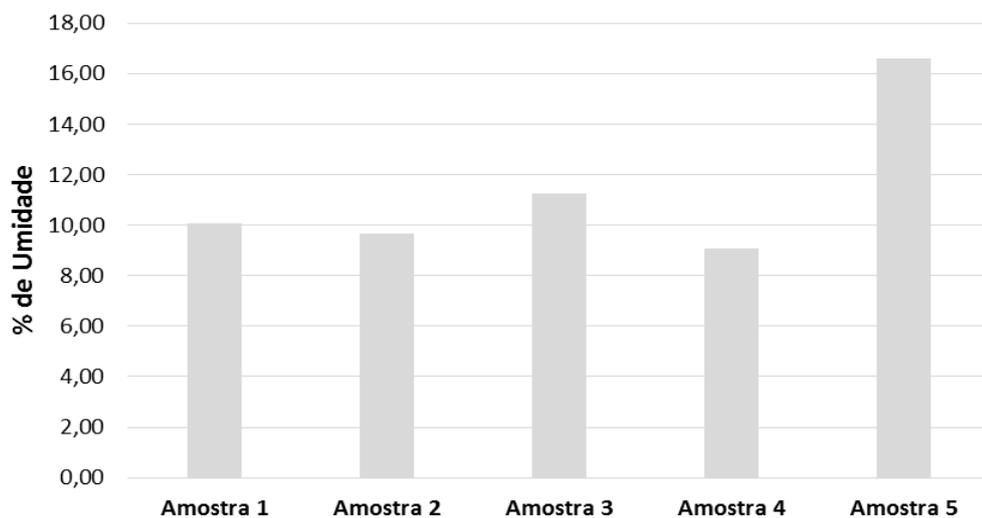
Tabela 10 - Dados da análise de composição por queima

	Briquete Tramontina	Briquete produzido no teste 4	Briquete produzido no teste 11	Briquete produzido no teste 3	Lenha de Eucalipto
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Massa Úmida	5,25 g	4,56 g	5,33 g	5,73 g	4,10 g
Massa Seca	4,72 g	4,12 g	4,73 g	5,21 g	3,42 g
% de Umidade	10,10 %	9,65 %	11,26 %	9,08 %	16,59 %
Massa de Cinzas	0,36 g	0,35 g	0,43 g	0,49 g	0,12 g
% Celulose/Hemicelulose*	92,37 %	91,50 %	90,91 %	90,60 %	96,49 %
% Lignina*	7,63 %	8,50 %	9,09 %	9,40 %	3,51 %

Legenda: (*) - Contém impurezas.

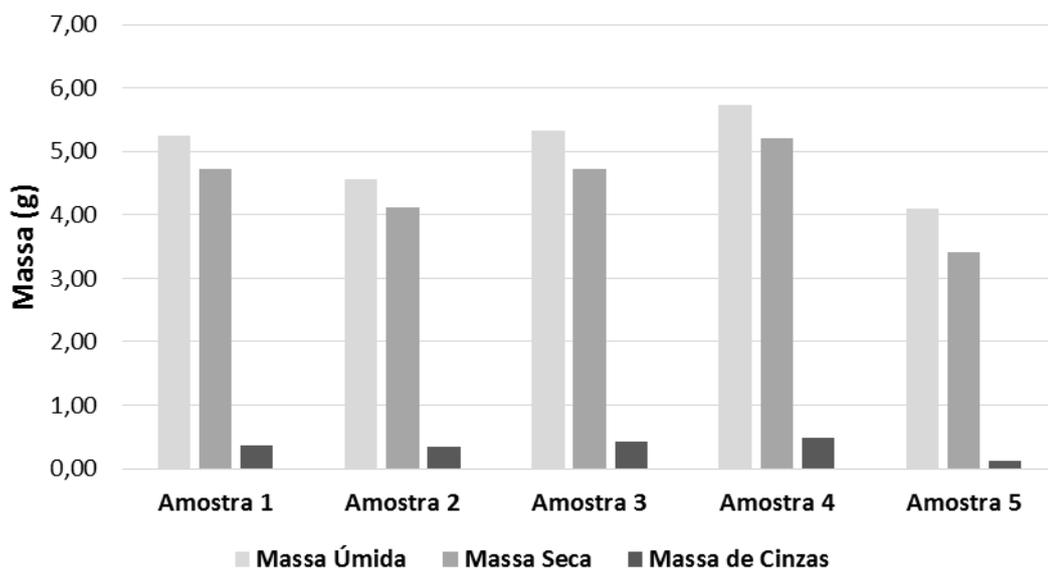
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 1 - Percentual de umidade das amostras



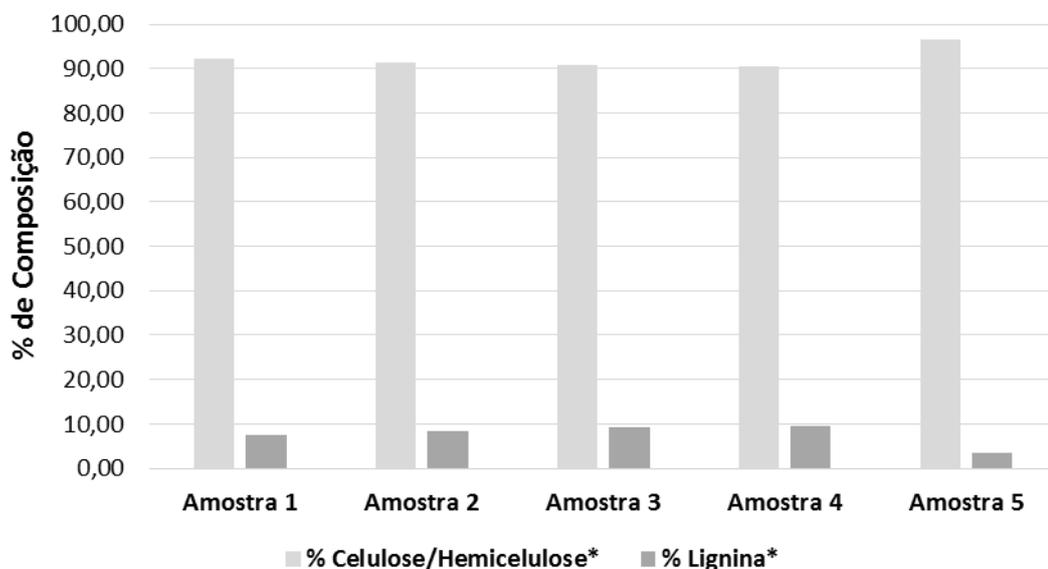
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 2 - Variação de massa



Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 3 - Percentual de composição das amostras



Legenda: (*) - Contém impurezas.

Fonte: O autor, 2017.

Os cadinhos com as amostras dentro do forno de resistências e as cinzas resultantes do processo de queima podem ser observados nas Figuras 26 e 27:

Figura 31 – Cadinhos dentro do forno de resistências



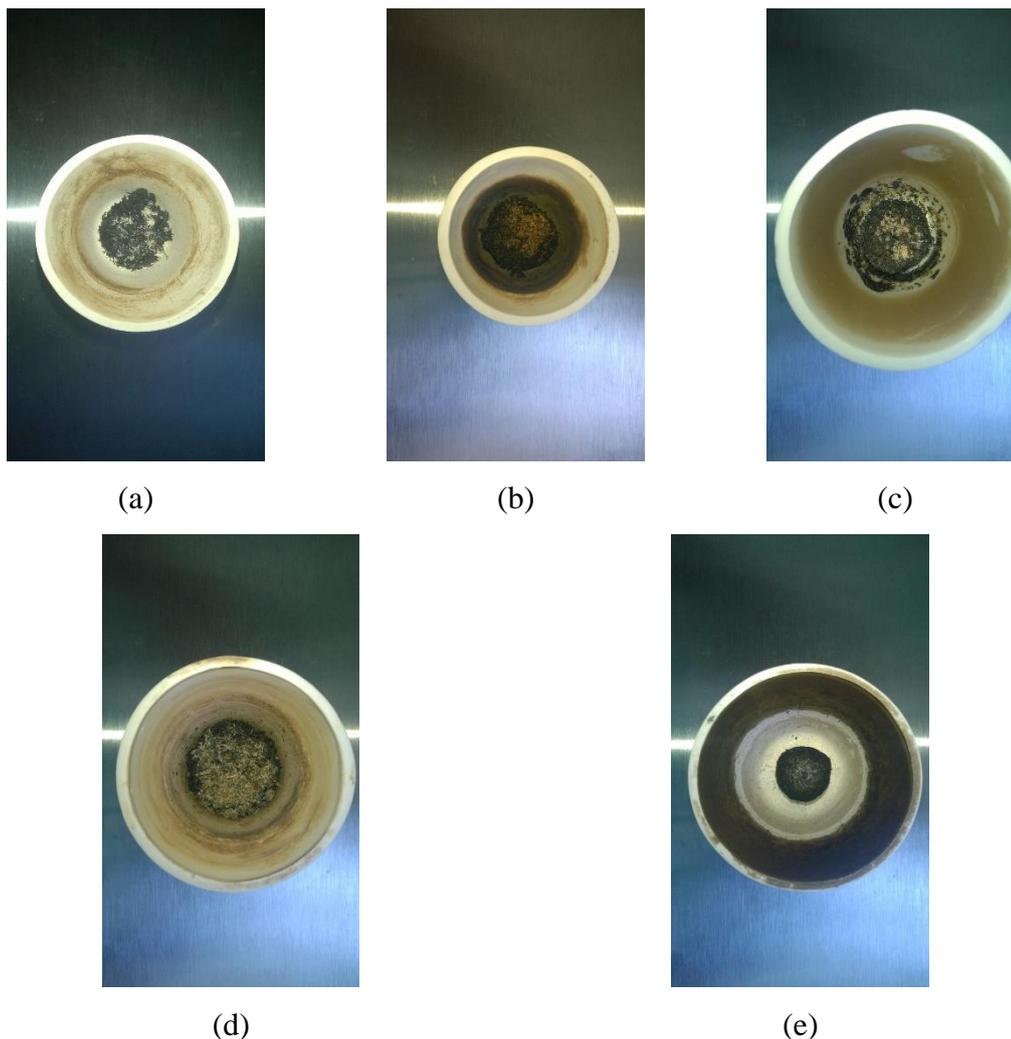
(a)

(b)

Legenda: (a) - cadinhos antes da queima das amostras; (b) - cadinhos depois da queima das amostras.

Fonte: O autor, 2017.

Figura 32 - Cinzas da análise de composição por queima



Legenda: (a) - briquete Tramontina; (b) - briquete produzido no teste 4; (c) - briquete produzido no teste 11; (d) - briquete produzido no teste 3; (e) - lenha de eucalipto.
Fonte: O autor, 2017.

3.2.2 Discussões

Comparando os resultados observados nas Tabelas e nos Gráficos anteriores, pode-se notar que o percentual de cinzas da lenha de eucalipto foi menor do que os percentuais dos briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética e do que os briquetes Tramontina.

No percentual de composição de celulose/hemicelulose e lignina das amostras, nota-se que a lenha de eucalipto possuía uma quantidade maior de celulose/hemicelulose e portanto uma quantidade menor de lignina. Esse teste

comparativo foi feito com base nas temperaturas de degradação, de acordo com (dos Santos; *et al.*, 2011).

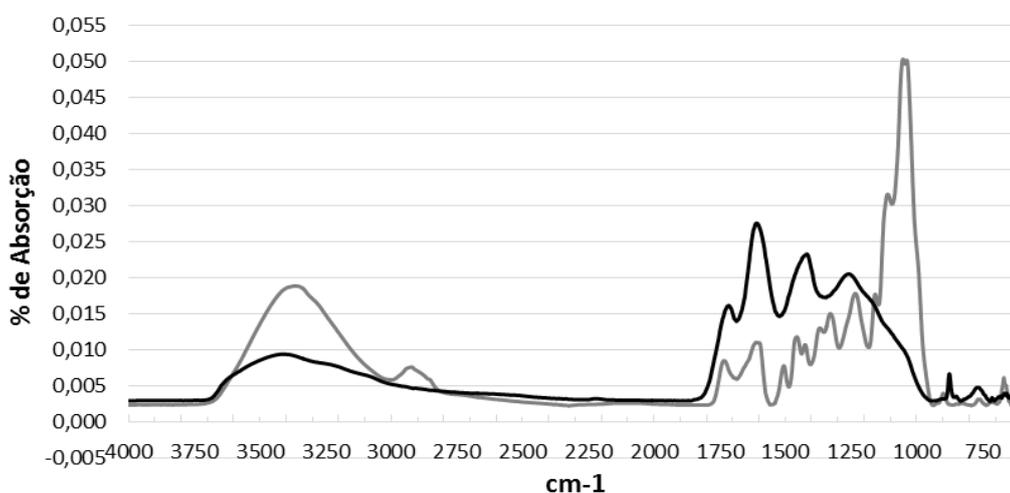
Observando a Figura 27, pode-se notar que, após a queima das amostras, o cadinho que estava com a lenha de eucalipto ficou mais escuro devido a fuligem gerada durante a queima e demonstra que esse material entrou em combustão com geração de chamas. Os demais cadinhos, mais claros, mostram que as outras amostras provavelmente tiveram uma queima com pouca fuligem e menos chamas.

3.3 Análise por infravermelho

3.3.1 Resultados

Nos Gráficos 4, 5, 6, 7 e 8 e nas Tabelas 11, 12, 13, 14 e 15 pode-se observar respectivamente as curvas médias das amostras antes e após a queima, bem como os picos característicos de cada amostra.

Gráfico 4 - Curvas do briquete Tramontina



Nota: as curvas em cinza e em preto correspondem, respectivamente, a antes e depois da queima.

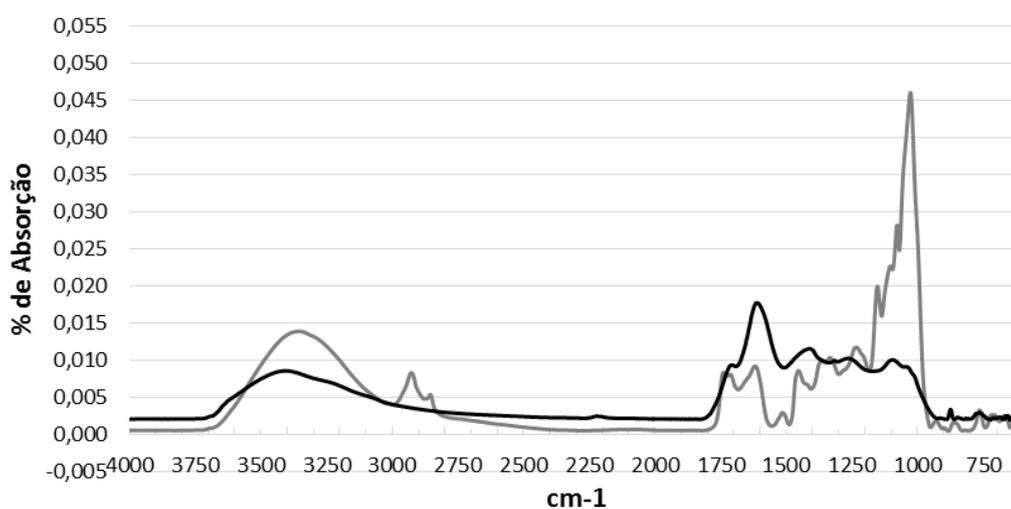
Fonte: O autor, 2017.

Tabela 11 - Picos das curvas do briquete Tramontina

Antes da queima		Depois da queima	
cm ⁻¹	% de absorbância	cm ⁻¹	% de absorbância
1052	0,050397	764	0,004837
1111	0,031648	876	0,006713
1158	0,017766	1257	0,020569
1234	0,017873	1418	0,023360
1329	0,015064	1608	0,027626
1368	0,013066	1715	0,016204
1425	0,010776	3405	0,009443
1456	0,011843	-	-
1505	0,007830	-	-
1611	0,011091	-	-
1734	0,008546	-	-
2923	0,007663	-	-
3369	0,018905	-	-

Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 5 - Curvas do briquete produzido no teste 4



Nota: as curvas em cinza e em preto correspondem, respectivamente, a antes e depois da queima.

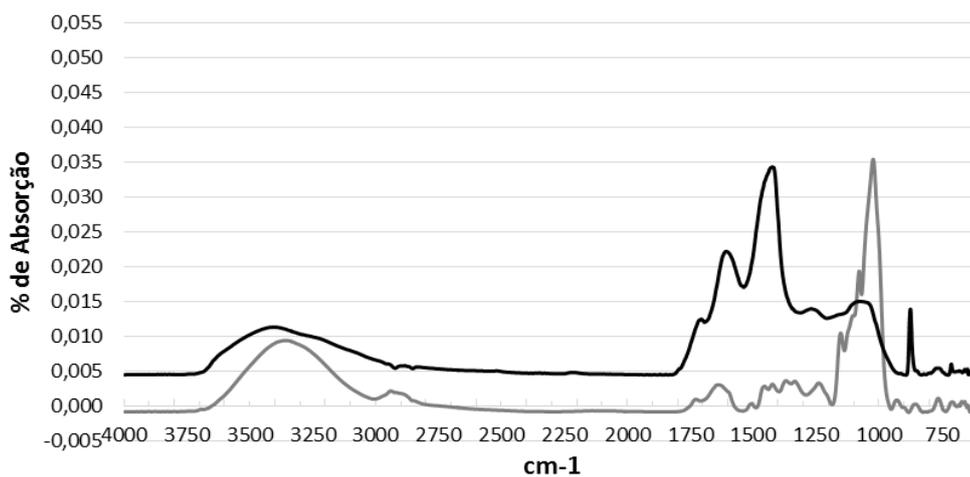
Fonte: O autor, 2017.

Tabela 12 - Picos das curvas do briquete produzido no teste 4

Antes da queima		Depois da queima	
cm ⁻¹	% de absorbância	cm ⁻¹	% de absorbância
928	0,001845	873	0,003347
1028	0,046112	1096	0,010121
1082	0,027388	1270	0,010287
1153	0,020006	1413	0,011601
1235	0,011795	1615	0,017793
1334	0,010391	1715	0,009274
1454	0,008661	3395	0,008603
1515	0,002976	-	-
1619	0,009256	-	-
1740	0,008406	-	-
2856	0,005420	-	-
2928	0,008356	-	-
3365	0,013931	-	-

Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 6 - Curvas do briquete produzido no teste 11



Nota: as curvas em cinza e em preto correspondem, respectivamente, a antes e depois da queima.

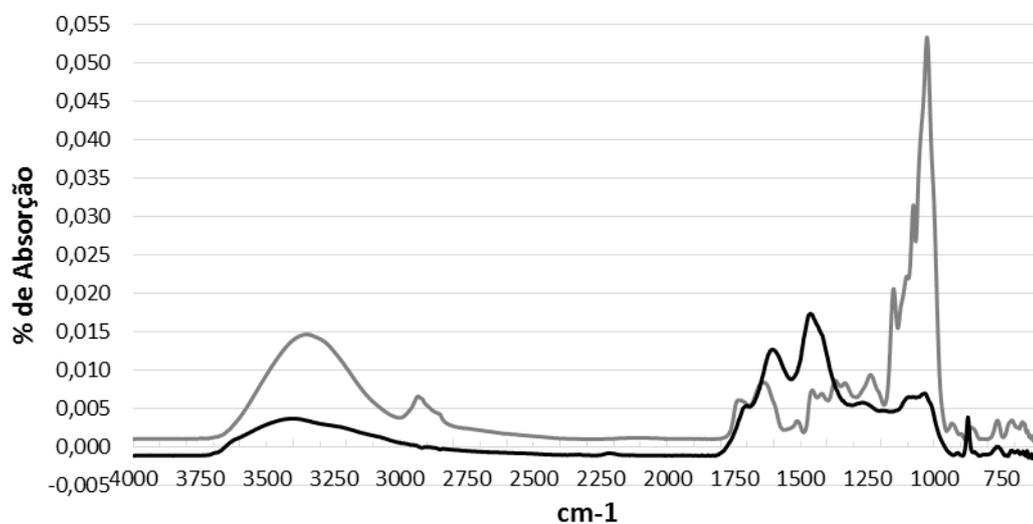
Fonte: O autor, 2017.

Tabela 13 - Picos das curvas do briquete produzido no teste 11

Antes da queima		Depois da queima	
cm ⁻¹	% de absorbância	cm ⁻¹	% de absorbância
765	0,001158	875	0,013966
1023	0,035492	1059	0,015019
1079	0,019417	1270	0,014022
1152	0,010539	1419	0,034329
1240	0,003344	1608	0,022256
1334	0,003619	1707	0,012525
1370	0,003684	3378	0,011379
1424	0,003185	-	-
1454	0,002893	-	-
1638	0,003109	-	-
1728	0,001013	-	-
2940	0,002205	-	-
3361	0,009460	-	-

Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 7 - Curvas do briquete produzido no teste 3



Nota: as curvas em cinza e em preto correspondem, respectivamente, a antes e depois da queima.

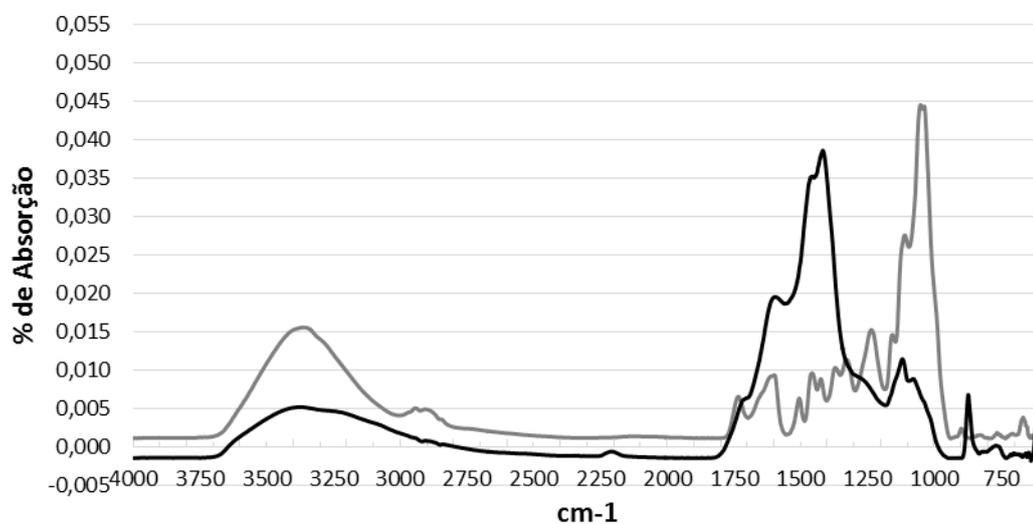
Fonte: O autor, 2017.

Tabela 14 - Picos das curvas do briquete produzido no teste 3

Antes da queima		Depois da queima	
cm ⁻¹	% de absorvância	cm ⁻¹	% de absorvância
1027	0,053415	873	0,003921
1078	0,031535	1035	0,007018
1152	0,020646	1269	0,005824
1239	0,009423	1457	0,017276
1334	0,008378	1607	0,012737
1370	0,008684	1704	0,005407
1421	0,006984	3397	0,003734
1456	0,007437	-	-
1513	0,003410	-	-
1638	0,008449	-	-
1731	0,006134	-	-
2933	0,006632	-	-
3347	0,014704	-	-

Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 8 - Curvas da lenha de eucalipto



Nota: as curvas em cinza e em preto correspondem, respectivamente, a antes e depois da queima.

Fonte: O autor, 2017.

Tabela 15 - Picos das curvas da lenha de eucalipto

Antes da queima		Depois da queima	
cm ⁻¹	% de absorvância	cm ⁻¹	% de absorvância
1051	0,044602	873	0,006849
1111	0,027623	1078	0,008926
1157	0,014664	1119	0,011488
1235	0,015295	1417	0,038675
1329	0,011458	1456	0,035320
1371	0,010367	1596	0,019583
1425	0,008905	3380	0,005238
1457	0,009654	-	-
1506	0,006385	-	-
1596	0,009303	-	-
1734	0,006591	-	-
2943	0,005119	-	-
3360	0,015615	-	-

Fonte: O autor, 2017.

Em todas as amostras analisadas obteve-se treze picos antes da queima e sete picos após a queima.

3.3.2 Discussões

Para uma análise qualitativa, foi determinado que se um pico de um grupo funcional se repetisse três vezes ou mais, haveria maior probabilidade de existência. Seguindo esse raciocínio, observou-se que os principais grupos funcionais detectados foram os alcanos, álcoois, fenóis e aromáticos, os quais são os principais componentes da estrutura molecular da celulose, hemicelulose e da lignina.

Nas amostras do briquete Tramontina e da lenha de eucalipto, antes da queima, era presente ao menos um grupo funcional característico dos sulfóxidos e nitritos, os quais mostram a presença significativa de enxofre e nitrogênio. Nos briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética não foram observado esses picos característicos.

Após a queima, os grupos funcionais álcoois e fenóis apareceram com maior probabilidade. Em todas as amostras analisadas obteve-se treze picos antes da queima e sete picos após a queima.

3.4 Análise do teor de cinzas

3.4.1 Resultados

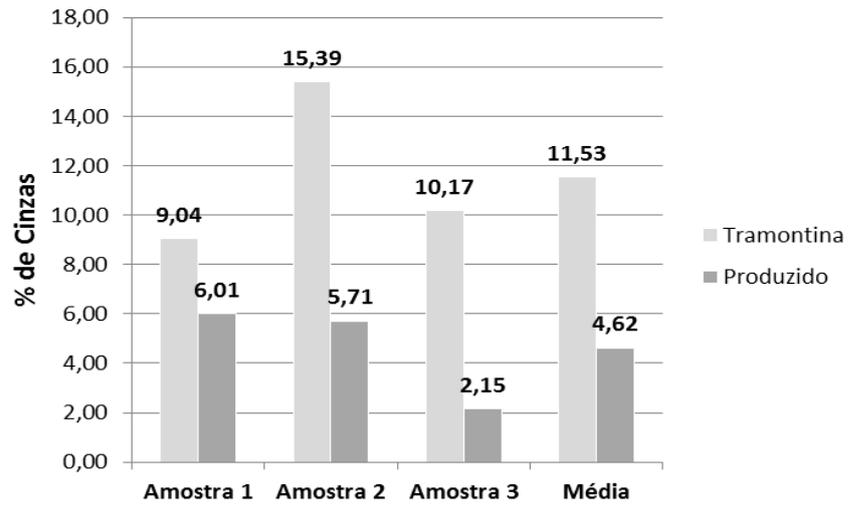
Na Tabela 16 e no Gráfico 9 podem ser observados os resultados obtidos na análise do teor de cinzas.

Tabela 16 - Dados da análise de teor de cinzas

	Briquete Tramontina			Briquete produzido no teste 4		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Massa Amostra	14,93 g	17,15 g	14,36 g	16,14 g	15,58 g	16,28 g
Massa Cinzas	1,35 g	2,64 g	1,46 g	0,97 g	0,89 g	0,35 g
Teor de Cinzas	9,04 %	15,39 %	10,17 %	6,01 %	5,71 %	2,15 %
Média	11,53 %			4,62 %		

Fonte: O autor, 2017.

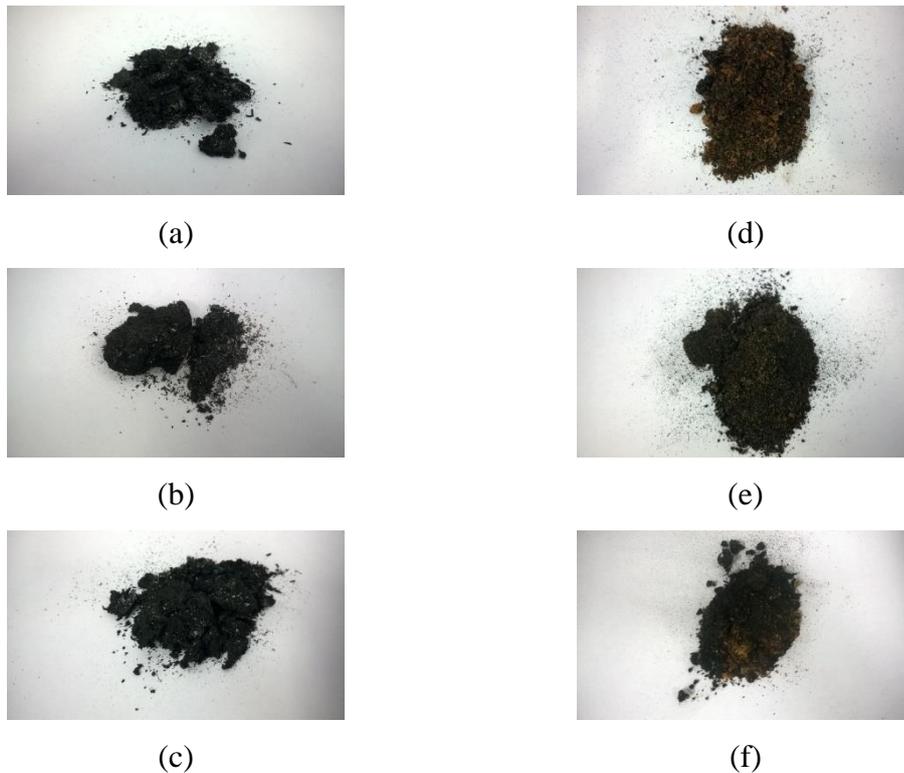
Gráfico 9 - Percentual de cinzas



Fonte: O autor, 2017.

O aspecto das cinzas analisadas nesse teste pode ser observado na Figura 33:

Figura 33 - Cinzas obtidas



Legenda: (a) - briquete Tramontina (Amostra 1); (b) - briquete Tramontina (Amostra 2); (c) - briquete Tramontina (Amostra 3); (d) - briquete produzido (Amostra 1); (e) - briquete produzido (Amostra 2); (f) - briquete produzido (Amostra 3).

Fonte: O autor, 2017.

3.4.2 Discussões

Pode-se observar no Gráfico 9 que o briquete Tramontina apresentou maior percentual de cinzas. As cinzas oriundas do briquete Tramontina ficaram negras, enquanto as cinzas do briquete produzido no teste 4 ficaram mais marrons. Essa diferença na coloração se deve a óxidos de ferro presentes na superfície interna do briquetador 1, antigo.

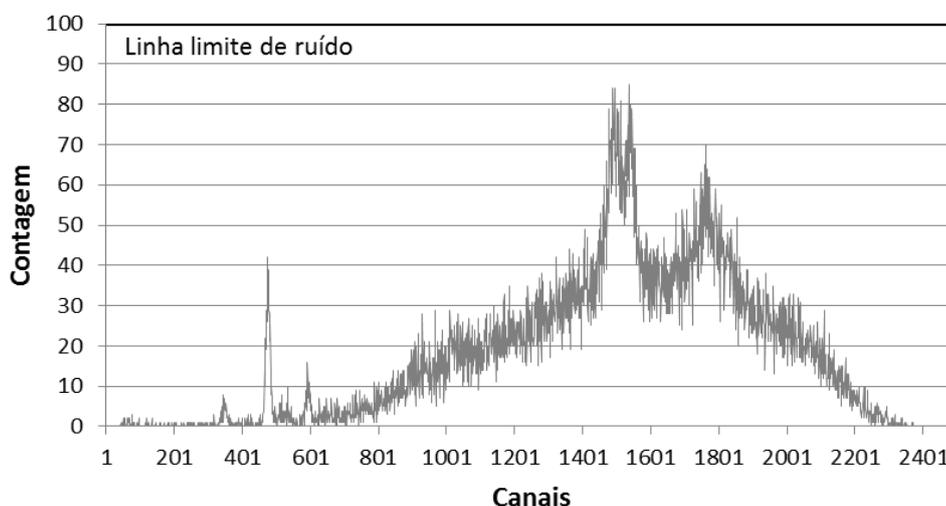
Nesta análise pode-se notar que os briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética, adicionados de resíduos alimentícios aos lignocelulósicos, produzem menos cinzas por unidade de massa do que os briquetes Tramontina.

3.5 Análise de espectroscopia por raios-x

3.5.1 Resultados

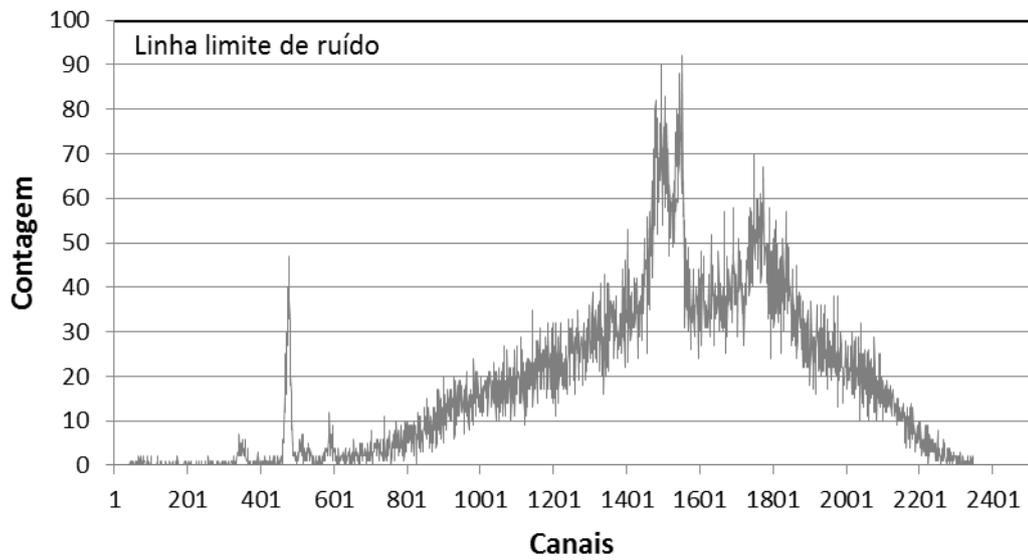
Pode-se observar nos Gráficos 10, 11, 12 e 13 os resultados.

Gráfico 10 - Resultados na face lateral do briquete Tramontina



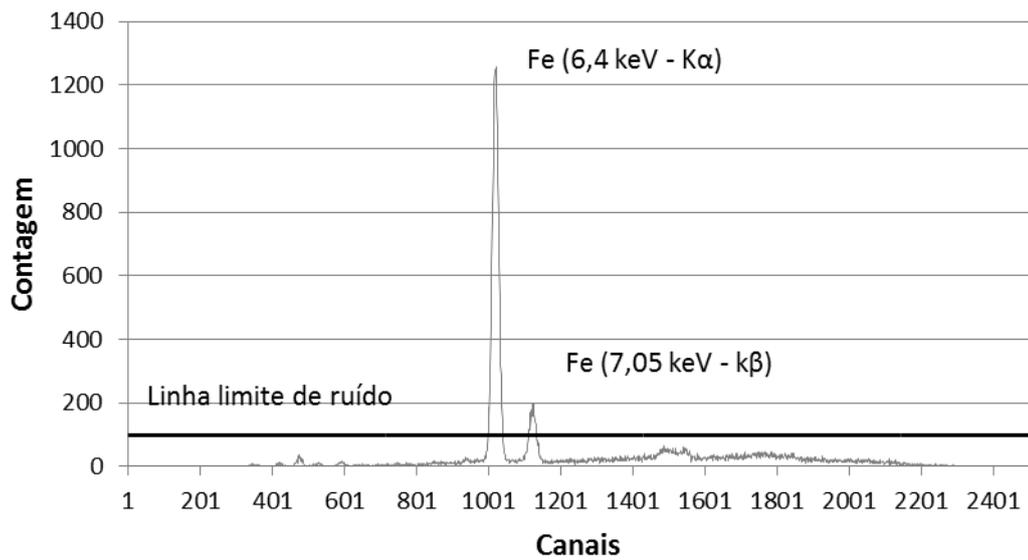
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 11 - Resultados na face transversal do briquete Tramontina



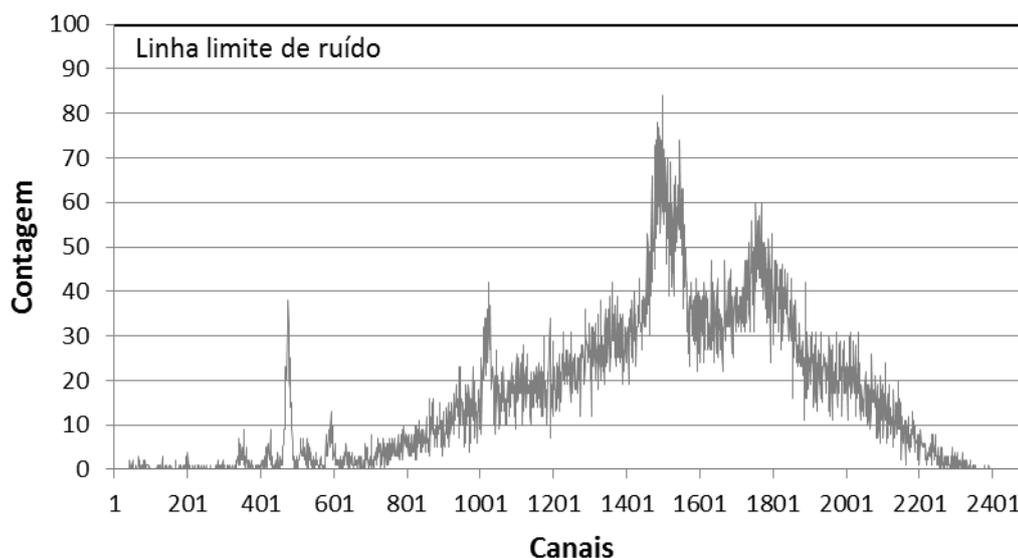
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 12 - Resultados na face lateral do briquete produzido no teste 4



Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 13 - Resultados na face transversal do briquete produzido no teste 4



Fonte: O autor, 2017.

3.5.2 Discussões

Nos resultados anteriores, detectado óxido de ferro na superfície do briquete produzido no teste 4..

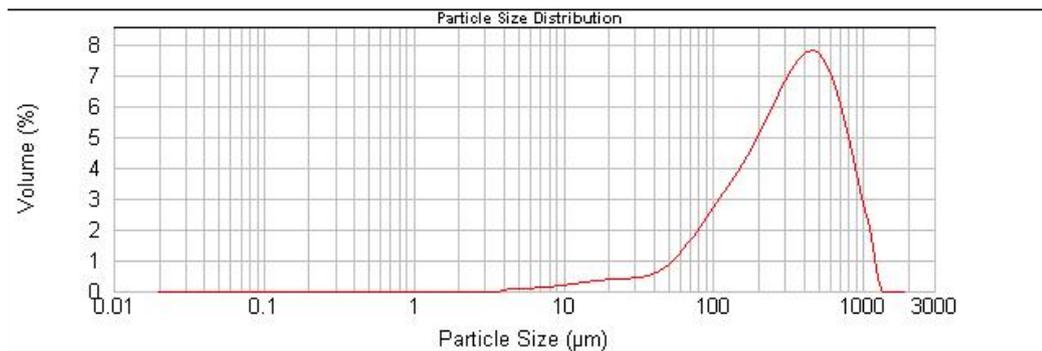
Mesmo tendo sido encontrado óxidos de ferro na superfície do briquete produzido pela técnica de briquetagem por batelada hermética, notou-se que a eficiência não foi comprometida.

3.6 Análise de distribuição de tamanho de partículas de cinzas

3.6.1 Resultados

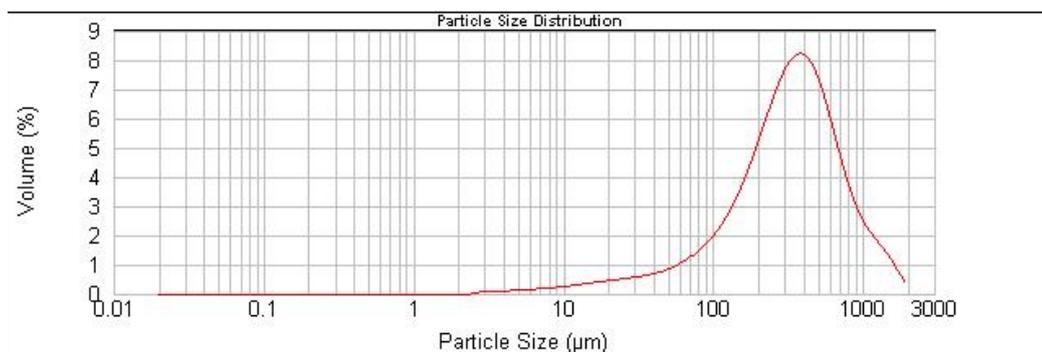
A seguir seguem os resultados para a análise de distribuição de tamanho de partículas com e sem ultrassom, para as amostras de cinzas dos briquetes padronizados e para os briquetes Tramontina.

Gráfico 14 – Resultado de distribuição de tamanho de partículas para o briquete padronizado sem a utilização de ultrassom



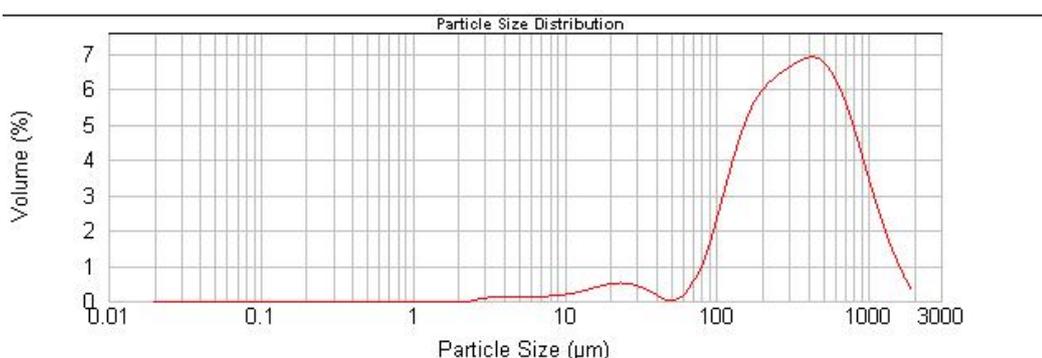
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 15 - Resultado de distribuição de tamanho de partículas para o briquete padronizado com a utilização de ultrassom



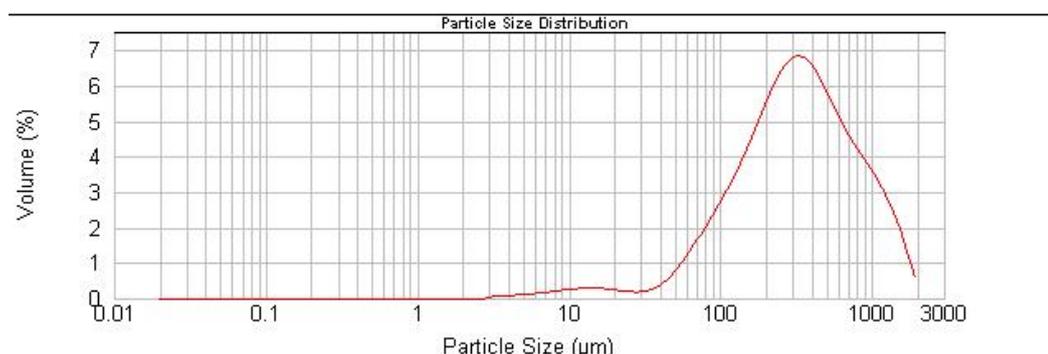
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 16 – Resultado de distribuição de tamanho de partículas para o briquete Tramontina sem a utilização de ultrassom



Fonte: O autor, 2017

Gráfico 17 – Resultado de distribuição de tamanho de partículas para o briquete Tramontina com a utilização de ultrassom



Fonte: O autor, 2017.

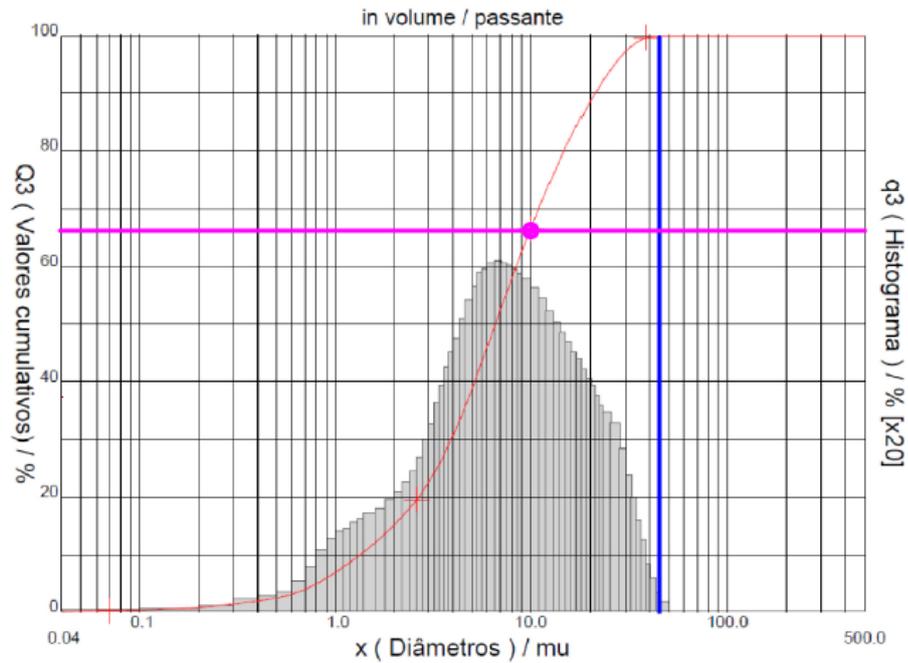
3.6.2 Discussões

Analisando os Gráficos 14 e 15, nota-se que a distribuição de tamanho de partículas dos briquetes padronizados ficou entre 400 µm e 500 µm e com a utilização do ultrassom, ficou entre 200 µm e 400 µm, apresentando uma leve redução devido a desaglomeração de partículas provocadas pelo ultrassom.

Ao analisar os Gráficos 16 e 17, nota-se que a distribuição de tamanho de partículas dos briquetes Tramontina ficaram entre 300 µm e 500 µm e com a utilização do ultrassom, ficaram entre 200 µm e 400 µm, apresentando uma leve redução também devido ao ultrassom.

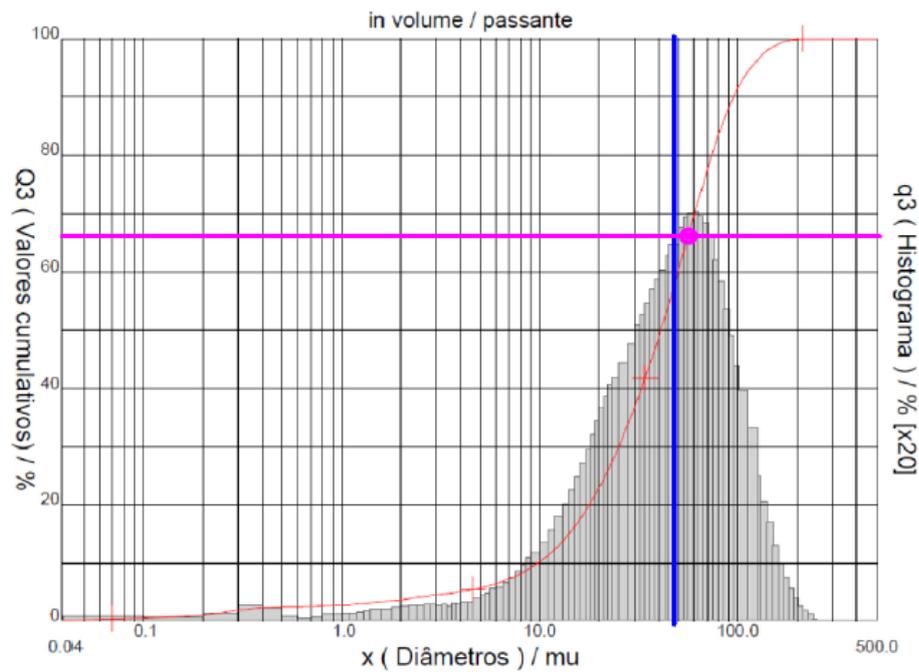
Os Gráficos 18 e 19 mostram as distribuições de tamanho de partículas para cinzas moídas e requemadas, segundo (Resende; D.S., 2013).

Figura 34 - Granulometria da cinza de lenha moída



Fonte: Adaptado de RESENDE, 2013

Figura 35 - Granulometria da cinza de lenha requemada



Fonte: Adaptado de RESENDE, 2013

Ao observar as Figuras 34 e 35, nota-se que a granulometria das cinzas de lenha moída fica próximo a 10 μ m e as granulometria das cinzas de lenha requemada fica entre 60 μ m e 100 μ m. Comparando os resultados, observa-se que

a granulometria das cinzas dos briquetes padronizados e dos briquetes Tramontina são maiores que a granulometria das cinzas da lenha moída e requeimada.

3.7 Produção de briquetes padronizados

3.7.1 Resultados

Na Figura 36 pode ser observado os briquetes padronizados produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética, com o novo briquetador desenvolvido.

Figura 36 - Briquetes padronizados produzidos



Legenda: (da esquerda para direita) - estão os briquetes produzidos no teste C, no teste E e no teste F.

Fonte: O autor, 2017.

As proporções dos materiais utilizados para a produção dos briquetes padronizados podem ser observadas na Tabela 17:

Tabela 17 - Componentes da mistura dos briquetes padronizados

Pó e serragem de eucalipto	Pó e serragem de pinus / maçaranduba	Raspa de pinus / maçaranduba	Arroz cozido triturado com água	Óleo de fritura usado
----------------------------	--------------------------------------	------------------------------	---------------------------------	-----------------------

Teste C	400,86 g	400,87 g	80,41 g	531,20 g	152,09 g
Teste E	401,29 g	400,95 g	80,69 g	531,30 g	152,05 g
Teste F	401,44 g	400,34 g	80,91 g	531,20 g	152,13 g

Fonte: O autor, 2017.

Algumas características como massa da mistura, massa do briquete, percentual de perda de massa, altura e densidade das misturas estão na Tabela 18:

Tabela 18 - Características gerais dos briquetes padronizados

	Massa da Mistura	Massa do Briquete	Perda % de Massa	Altura do Briquete	Densidade do Briquete
--	------------------	-------------------	------------------	--------------------	-----------------------

Teste C	1.565,43 g	1.381,90 g	11,72 %	204 mm	0,862 g/cm ³
Teste E	1.566,28 g	1.376,90 g	12,09 %	204 mm	0,859 g/cm ³
Teste F	1.566,02 g	1.387,00g	11,43 %	204 mm	0,866 g/cm ³

Fonte: O autor, 2017.

3.7.2 Discussões

A perda percentual de massa representa a umidade perdida durante o processo de aglutinação dos componentes lignocelulósicos e resíduos alimentícios liquidificados com água.

Na Figura 29 e nas Tabelas 17 e 18, pode-se notar que a técnica de briquetagem por batelada hermética e o novo briquetador desenvolvido, possibilitam produzir briquetes padronizados em tamanho, massa e densidade.

3.8 Análise térmica dos briquetes padronizados

3.8.1 Resultados

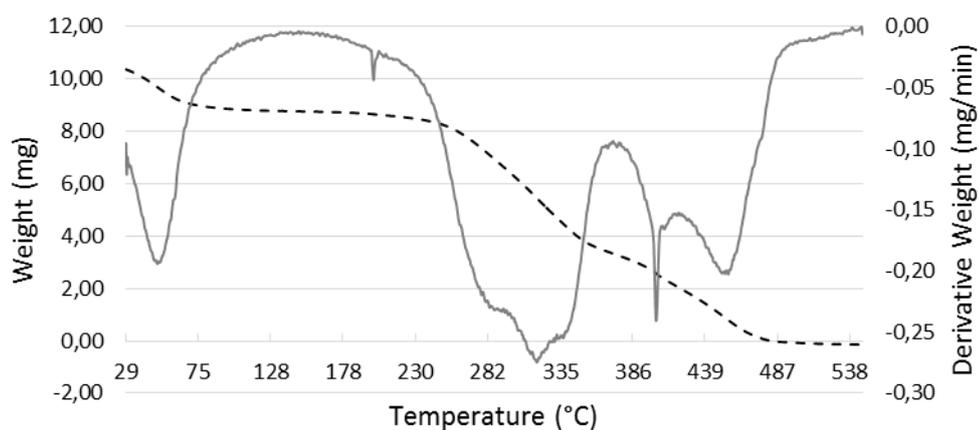
Na Tabela 19, o ΔH Total refere-se a variação de energia relacionada a variação de massa com o aumento gradativo da temperatura de toda a queima e o ΔH Exotérmico refere-se a variação de energia relacionada a variação de massa da zona exotérmica da queima, o que significa que representa o poder calorífico estimado do material utilizado como amostra. A perda percentual de massa refere-se a massa consumida na apenas na zona exotérmica da amostra.

Tabela 19 - Dados da análise térmica dos briquetes padronizados

	Teste C	Teste E	Teste F	Média das curvas
Massa Inicial	10,327 mg	10,499 mg	10,293 mg	10,373 mg
% de Umidade	11,67 %	16,02 %	16,31 %	14,67 %
ΔH Total	9.912,09 J/g	10.023,03 J/g	11.016,71 J/g	10,317,28 J/g
ΔH Exotérmico	1.429,24 J/g	1.001,44 J/g	1.615,34 J/g	1.256,91 J/g
Ti Exotérmico	408,51 °C	411,12 °C	385,54 °C	392,15 °C
Tf Exotérmico	478,39 °C	468,89 °C	466,61 °C	474,52 °C
Perda % de Massa	24,60 %	19,73 %	28,63 %	26,72 %

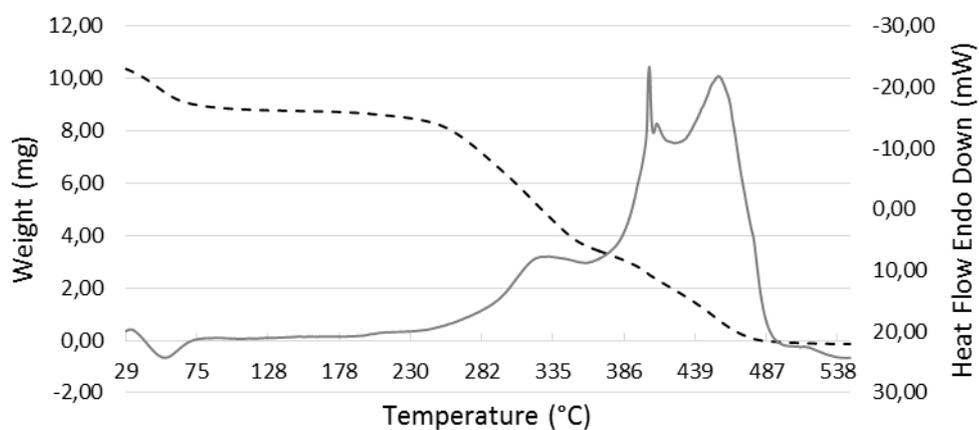
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 18 - Curvas de TG e DTG da média dos resultados



Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 19 - Curvas de TG e DSC da média dos resultados



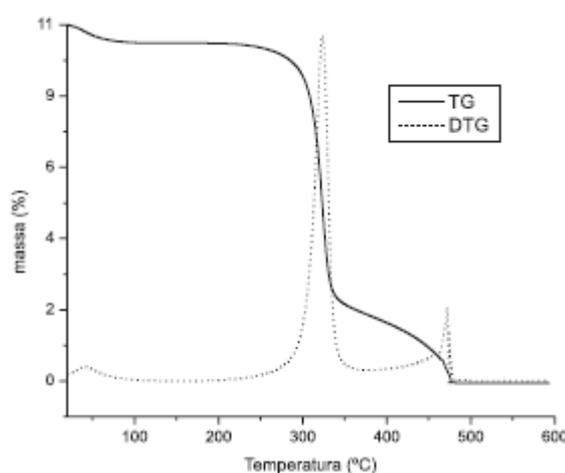
Fonte: O autor, 2017.

3.8.2 Discussões

Nota-se nos resultados apresentados na Tabela 19 e nos Gráficos 14 e 15 que os briquetes padronizados produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética apresentam, fazendo uma média das curvas, um ΔH Total em torno de 10kJ/g, assim como os 10kJ/g obtidos nos resultados da análise térmica comparativa do primeiro teste de análise térmica dos briquetes não padronizados. Houve também uma região exotérmica neste último teste de análise térmica, de

duas a três vezes menor, devido a quantidade de massa utilizada no último teste, que foi a metade da utilizada anteriormente. Fazendo uma comparação com os resultados obtidos por Gonçalves; José E. et al (2009), no qual foi aferido a energia gerada por briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira e para uma mistura de 75% de madeira e 25% de resíduos de sólidos urbanos, foi encontrado um poder calorífico em torno de 17kJ/g.

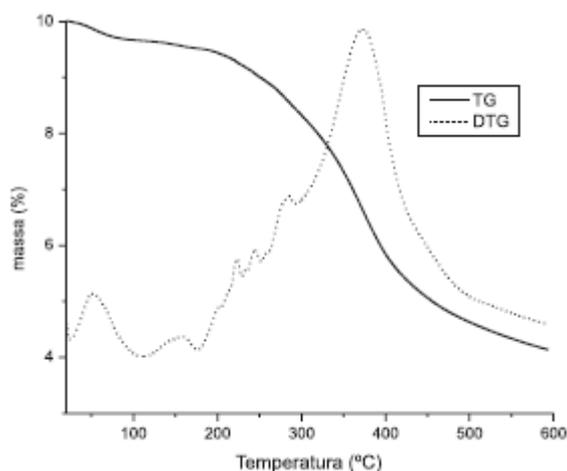
Figura 37 – Curvas TG e DTG da celulose D microcristalina comercial



Nota: obtidas em atmosfera de ar com razão de aquecimento de 10°C/min.

Fonte: Adaptado de DOS SANTOS *et al.* 2011.

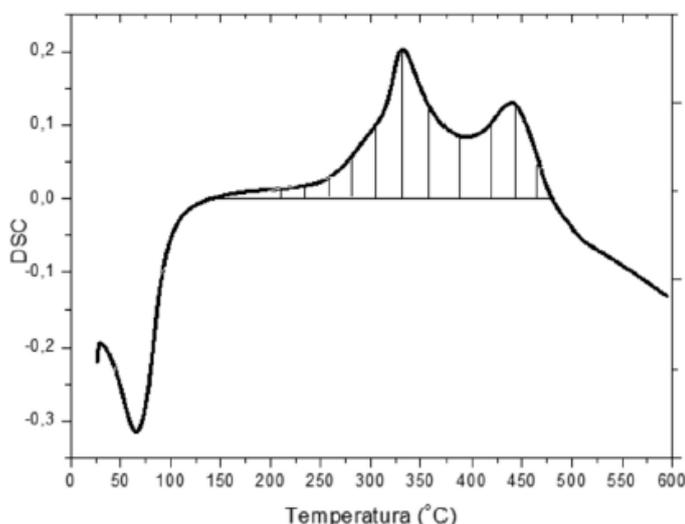
Figura 38 – Curvas de TG e DTG para a lignina



Nota: obtidas em atmosfera de ar com razão de aquecimento de 10°C/min.

Fonte: Adaptado de DOS SANTOS *et al.* 2011.

Figura 39 – Curva DSC para a amostra de bagaço recém-moído



Nota: obtida em atmosfera de ar com razão de aquecimento de 10°C/min.

Fonte: Adaptado de DOS SANTOS *et al.* 2011.

Ao comparar as Figuras 35 e 36 que representam respectivamente Curvas TG e DTG da celulose D microcristalina comercial e Curvas de TG e DTG para a lignina, com o Gráfico 18 que representa as Curvas de TG e DTG da média dos resultados para os briquetes padronizados, torna-se difícil a analogia uma vez que nos briquetes padronizados existem diversas substâncias além da celulose e lignina e em proporções diferentes, mas pode-se observar uma semelhança nos intervalos das temperaturas e que existe um primeiro estágio com temperatura inferior aos 100°C que representa a perda de umidade, um segundo estágio entre 250°C e aproximadamente 400°C que representa a degradação da celulose e um intervalo acima de 400 °C que representa a degradação da lignina.

Comparando-se a Figura 37 que representa Curva DSC para a amostra de bagaço recém-moído com o Gráfico 19 que representa Curvas de TG e DSC da média dos resultados para os briquetes padronizados, podemos observar que ambos iniciam a zona exotérmica em aproximadamente 250 °C e terminam em aproximadamente 500°C.

Todos os Gráficos de TG, DTG e DSC podem ser observados no Apêndice B, na página 121 desta dissertação.

3.9 Análise Mecânica

3.9.1 Resultados

Na Tabela 20 pode-se observar os resultados obtidos para a compressão axial e fator de empilhamento para os briquetes padronizados.

Tabela 20 - Dados da análise mecânica de compressão axial

	Teste C	Teste E	Teste F	Média
Carga no início da deformação	645,0 kg	682,5 kg	585,0 kg	637,5 kg
Carga máxima suportada	860,0 kg	910,0 kg	780,0 kg	850,0 kg
Fator de empilhamento máximo	466,7 briquetes	495,7 briquetes	421,8 briquetes	461,4 briquetes

Fonte: O autor, 2017.

Figura 40 - Características dos briquetes padronizados após a análise mecânica



Legenda: da esquerda para direita estão os briquetes produzidos no teste C no teste E e no teste F.

Fonte: O autor, 2017.

3.9.2 Discussões

Os resultados mostrados na Tabela 20 mostram que os briquetes padronizados produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética, com o novo briquetador, podem suportar mais de 400 vezes o próprio peso sem correr risco de deformação aparente. Este valor representa uma grande capacidade de manuseio, estocagem e transporte.

CONCLUSÕES

A análise dos resultados dos testes obtidos nos diversos testes propostos permitiu algumas conclusões importantes conforme descrito a seguir:

- Os resultados da análise térmica comparativa, Tabela 9, mostram que o ΔH exotérmico, ou seja, o poder calorífico estimado dos briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética é, dependendo da composição, igual ou superior aos briquetes Tramontina e à lenha de eucalipto e também mostram que o teor de umidade presente nas amostras são compatíveis com os que a literatura indica.
- A análise de composição por queima mostrou que a lenha de eucalipto absorve mais umidade do que os briquetes Tramontina e os produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética. A análise também mostra que a lenha de eucalipto gerou uma menor quantidade de cinzas, em comparação com os outros materiais. No percentual de composição de celulose/hemicelulose e lignina das amostras, nota-se que a lenha de eucalipto possuía uma quantidade maior de celulose/hemicelulose, e, portanto uma quantidade menor de lignina. Observando os recipientes utilizados para a queima, no caso os cadinhos, pode-se notar que a lenha de eucalipto gerou mais fuligem do que os outros materiais em análise.
- A análise por infravermelho mostrou que, nas amostras do briquete Tramontina e da lenha de eucalipto antes da queima, a presença de ao menos um grupo funcional característico dos sulfóxidos e nitritos, os quais mostram a presença significativa de enxofre e nitrogênio. Nos briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética não foram observado esses picos característicos e após a queima, os grupos funcionais álcoois e fenóis apareceram com maior probabilidade.
- A análise do teor de cinzas mostrou que os briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética, adicionados de resíduos alimentícios aos lignocelulósicos, produzem menos cinzas por unidade de massa do que os briquetes Tramontina.

- A análise de espectroscopia por raios-x mostrou que os briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética continham em sua superfície óxidos de ferro e nos briquetes Tramontina nada foi identificado na análise. Esse resultado levou a pensar que, possivelmente, o briquetador estava contaminando os briquetes produzidos com óxidos de ferro, o que contribuiu com a ideia de um novo briquetador que corrigisse essa falha.
- A análise de distribuição de tamanho de partículas de cinzas mostrou que as cinzas dos briquetes padronizados produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética possuem distribuição granulométrica próxima às das cinzas dos briquetes Tramontina.
- O novo briquetador foi desenvolvido com o intuito de corrigir eventuais falhas do antigo, como a contaminação por óxidos de ferro para os briquetes. Também foi possível produzir briquetes que estivessem de acordo com as normas de testes mecânicos do equipamento mostrado na Figura 11.
- A análise térmica dos briquetes padronizados mostrou um ΔH Total de aproximadamente 10 kJ/g. Notou-se também uma região exotérmica menor nos briquetes padronizados, o que se justifica pelo fato de ter sido feito o teste com uma menor quantidade de massa. Também foram geradas médias de TG e DTG dos briquetes padronizados e foi observada algumas semelhanças relacionadas à temperatura de início e fim da degradação. As curvas de DSC para a amostra de bagaço recém-moído e as curvas de TG e DSC da média dos resultados para os briquetes padronizados mostram que ambos iniciam a zona exotérmica em aproximadamente 250°C e terminam em aproximadamente 500°C.
- A análise mecânica mostrou que os briquetes padronizados produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética com o novo briquetador, podem suportar mais de 400 vezes o próprio peso, sem correr risco de deformação aparente. Este valor representa uma certa segurança na capacidade de manuseio, estocagem e transporte.

TRABALHOS FUTUROS

- Fazer testes dos gases gerados a partir da queima dos briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética, utilizando a técnica de cromatografia, determinando quais as substâncias presentes nos gases;
- Fazer testes calorimétricos dos briquetes produzidos pela técnica de batelada hermética, utilizando bomba calorimétrica para amostra com grande quantidade de massa a fim de se obter um resultado representativo;
- Comparar resultados obtidos com os resultados de outros biocombustíveis existentes na literatura;
- Com base nos resultados e na utilização, projetar um equipamento para a produção dos briquetes produzidos pela técnica de briquetagem por batelada hermética em escala;

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM C702 - C702M*: standard practice for reducing samples of aggregate to testing size. Estados Unidos, 2011.

_____. *ASTM D1102*: standard test method for ash in wood. Estados Unidos, 2013.

_____. *ASTM D1857 - D1857M*: standard test method for fusibility of coal and coke ash. Estados Unidos, 2010.

_____. *ASTM D2929*: standard test method for sulfur content of cellulosic materials by x-ray. Estados Unidos, 2011.

_____. *ASTM D4208*: standard test method for total chlorine in coal by oxygen bomb combustion/ion selective electrode method. Estados Unidos, 2013.

_____. *ASTM D6721*: standard test method for determination of chlorine in coal by oxidative hydrolysis microcoulometry. Estados Unidos, 2015.

_____. *ASTM E29*: standard practice for using significant digits in test data to determine conformance with specifications. Estados Unidos, 2013.

_____. *ASTM E776*: standard test method for determination of forms of chlorine in refuse-derived fuel. Estados Unidos, 2016.

_____. *ASTM E870*: standard test method for analysis of wood fuels. Estados Unidos, 2006.

_____. *ASTM E871*: standard test method for moisture analysis of particulate wood fuels. Estados Unidos, 2013.

_____. *ASTM E872*: standard test method for volatile matter in analysis of particulate wood fuels. Estados Unidos, 2013.

_____. *ASTM E873*: standard test method for bulk densified particulate biomass fuels. Estados Unidos, 2013.

_____. *ASTM E955*: standard test method for thermal characteristics of refuse-derived fuel macrosamples. Estados Unidos, 2009.

_____. *ASTM E1534*: standard test method for determination of ash content of particulate wood fuels. Estados Unidos, 2013.

_____. *ASTM E1756*: standard test method for determination of total solids in biomass. Estados Unidos, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM SI/10*. American national standard for metric practice. Estados Unidos, 2010.

ARAÚJO, V.C.; et al. Estudo do aproveitamento de podas de arvores para produção de briquetes em dois municípios do Rio Grande do Sul. IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN - Tecnologia e Inovação para Semiárido, p.673-679, 2013.

BIOMASSA – COMÉRCIO DE RAÇÕES, ENERGIA E ADUBOS LTDA (BR/SP). Thierry Constant Eddy François Marie Gauthier; Paulo Rosário Carvalho de Oliveira Costa; Luiz Antonio Stamatis de Arruda Sampaio. *Processo industrial, com baixo consumo de energia, de transformação de biomassa, com umidade relativa superior a 25% para produção de grânulos combustíveis*. BR n. PI 0700893-7 A, 08 mar. 2007, 02 jan. 2008.

BIOMASSA – COMÉRCIO DE RAÇÕES, ENERGIA E ADUBOS LTDA (BR/SP). Thierry Constant Eddy François Marie Gauthier; Paulo Rosário Carvalho de Oliveira Costa; Luiz Antonio Stamatis de Arruda Sampaio. *Processo industrial, com baixo consumo de energia, de transformação de biomassa, com umidade relativa igual ou inferior a 25% para produção de pallets combustíveis*. BR n. PI 0700892-9 A, 08 mar. 2007, 02 jan. 2008.

BRIQUETAGEM e peletização de resíduos agrícolas e florestais. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65331/1/FOLDER-Briquetagem2-2012.pdf>>. Acesso em: 05 de mar. de 2014.

BRIQUETAGEM no Brasil, A. Disponível em: <http://www.gruporenova.com.br/reciclagem_atuacao.asp>. Acesso em: 14 de ago. de 2013.

BRIQUETE. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Briquete>>. Acesso em: 12 de jul. de 2013.

BRIQUETES de biomassa e *pellets*. Disponível em: <<http://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=http://www.ashden.org/briquettes&prev=/search%3Fq%3Dbriquetes%2Bwoody%26biw%3D1366%26bih%3D630>>. Acesso em: 12 de julho de 2013.

ELECTRICITE DE FRANCE. Fouzi Tabet; Guillaume Foissac; Pierre Plion; Vicent Fichet. *Briquete baseado em um corpo comprimido lignocelulósico impregnado com combustível líquido*. BR n. PI 10 2012 005108-7 A2, 07 mar. 2012, 04 fev. 2014.

EMERHI, E.A. Physical and combustion properties of briquettes produced from sawdust of three hardwood species and different organic bindres. *Department of Florestry and Wildlife, Delta State University, Awai Campus, Asaba, Nigeria*, p.236-246, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA AGROENERGIA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Documentos 13: Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais*. ISSN 2177-4439. Brasília, DF: 2012. 132 p. Relatório técnico.

HENRIQUES, Rachel Martins. *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica*. Rio de Janeiro (COOPE/UFRJ, Msc., Planejamento Energético, 2004)

JOSÉ E. GONÇALVES; et al. *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 – Campina Grande – PB – UAEAUF CG.

KEMMER, E.M.; PONTALTI J.R. *Método para reutilização de resíduos industriais sólidos, provenientes de madeira para uso como energia*. BR n. PI 0302261-7 A, 20 jun. 2003, 22 mar. 2005.

KLAUMANN, G.S.A. *Composto à base de resíduos de madeira*. BR n. PI 0804015-0 A2, 23 out. 2008, 22 jun. 2010.

KRIZAN, Peter; et al. Optimal conditions for valuation of wood waste by briquetting. 8th International DAAAM Baltic Conference - INDUSTRIAL ENGINEERING, Tallinn, Estônia, 2012.

LIGNINA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Lignina>>. Acesso em: 28 de fev. de 2014.

MATÚS, Milos; et al. Effects of initial moisture content on physical and mechanical properties of norway spruce briquettes. International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering, v. 9, n. 10, p.1227-1233, 2015.

PRODUÇÃO de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/952626/1/DOC13.pdf>>. Acesso em: 05 de mar. de 2014.

PROTASIO, Thiago de Paula et al . Thermal decomposition of torrefied and carbonized briquettes of residues from coffee grain processing. **Ciênc. agrotec.**, Lavras , v. 37, n. 3, p. 221-228, June 2013 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542013000300004&lng=en&nrm=iso>. access on 30 Sept. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000300004>.

QUIRINO, Waldir F.; VALE, Ailton Teixeira do; ANDRADE, Ana Paula Abreu de; ABREU, Vera Lúcia Silva; AZEVEDO, Ana Cristina dos Santos. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósico. *Revista da Madeira*, n 89, p.100-106, abril 2005.

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS. Resende, Domingos Sávio de. Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar. 2013.

SANT'ANNA, Mikele Cândida Souza de; et al. Caracterização de Briquetes Obtidos com Resíduos da Agroindústria. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 14, n. 3, p.289-294, 2012.

SANTOS, Moacyr L. dos; LIMA, Omar J. de; NASSAR, Eduardo J.; CIUFFI, Katia J.; CAFELI, Paulo S. Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. *Quim. Nova*, v. 34, n. 3, 507-511, 2011.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI/SP. Lucas Rocha Bertolo; Pamela Nóbrega de Queiróz; Renan Yuri Lino; Victor dos Reis Garcia; Wagner Augusto Vaz Júnior; Wilker lassia Dias dos Santos. *Processo de produção de briquetes*. BR n. PI 1104560-4 A2, 02 set. 2011, 13 ago. 2013.
SILVA, D. A. da. et al. Caracterização de Biomassa para Briquetes. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p.713-722, out./dez. 2015.

SILVA, Felipe Bicalho Azeredo da.: *Desenvolvimento de uma técnica para produção de briquetes verdes com uma alta granulometria de resíduos de biomassa*. 2014. 74f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Instituto Politécnico do Rio de Janeiro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2014

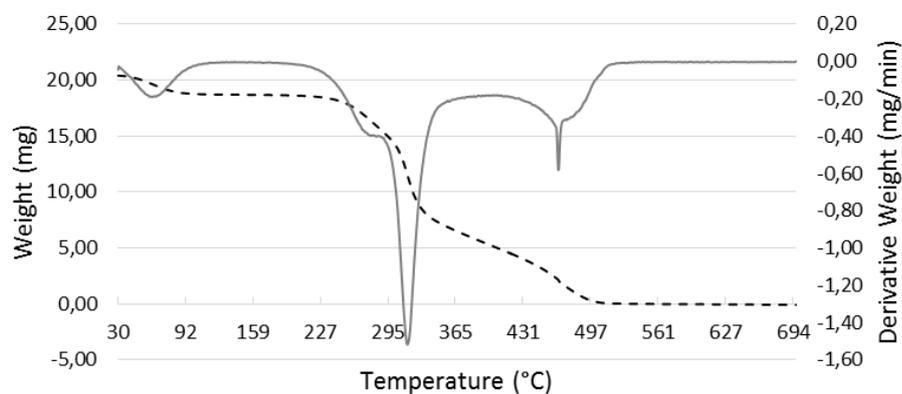
SILVERSTEIN, Robert M.; WEBSTER, Francis X. ; KIEMLE, David J. *Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos*. 7.ed. Rio de Janeiro : LTC, 2006.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Felipe Bicalho Azeredo da Silva; Philipe Lopes Jurge Tardin; Leôncio Diógenes Tavares Câmara. *Produção de briquetes de sobras de madeira (e/ou lignocelulósicos) de alta granulometria utilizando resíduos alimentícios como aglutinantes*. BR n. PI. 10 2014 025318-1, 10 out. 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE. Fernanda Rocha Moraes; Gabriel Francisco da Silva; João Bosco Ribeiro Carvalho; Maria Suzana Sila; Mikele Cândida Souza de Sant'Anna; Wilson Luciano de Souza. *Composto a partir de biomassa e glicerina*. BR n. PI 0905574-6 A2, 17 dez. 2009, 16 ago. 2011.

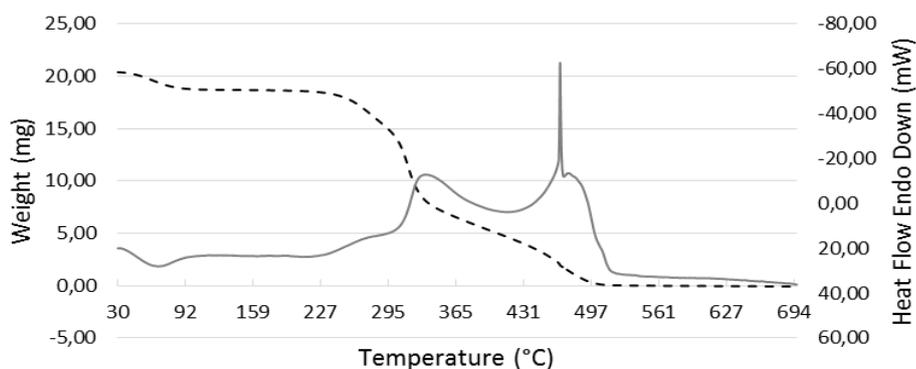
APÊNDICE A - Gráficos da análise térmica da primeira etapa de caracterização

Gráfico 20 - Curvas de TG e DTG da amostra 1-Triagem



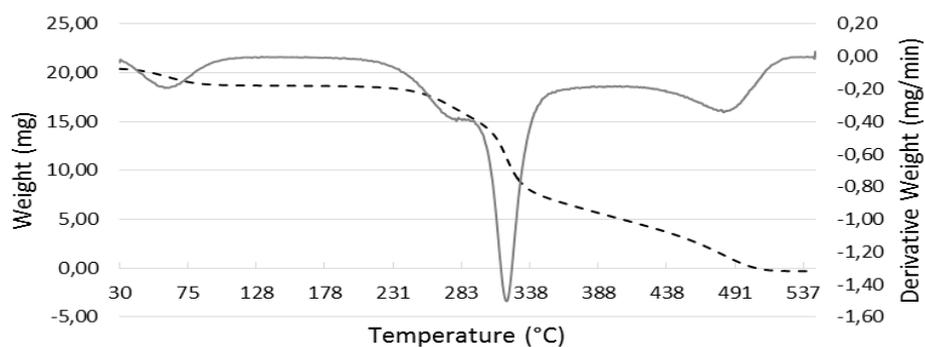
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 21 - Curvas de TG e DSC da amostra 1-Triagem



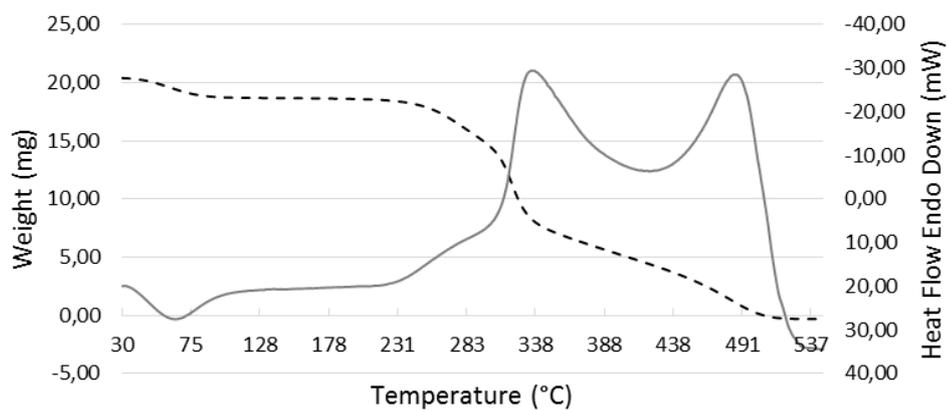
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 22 - Curvas de TG e DTG da amostra 1-A



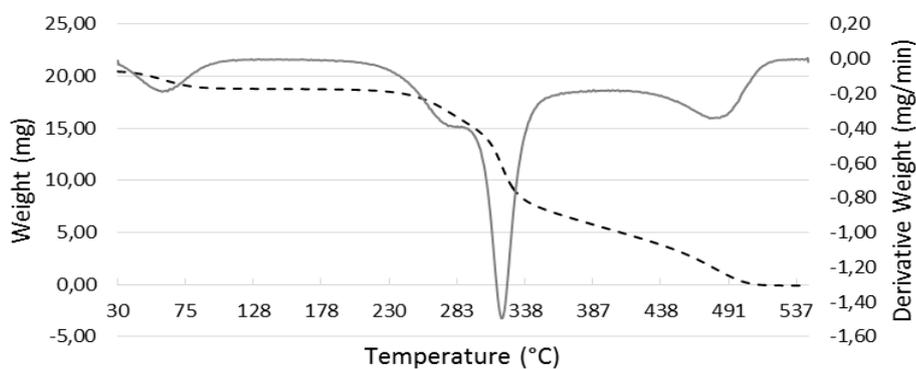
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 23 - Curvas de TG e DSC da amostra 1-A



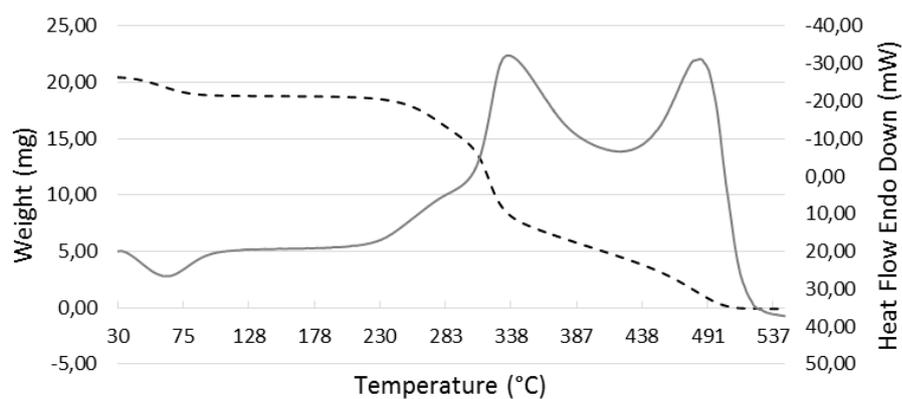
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 24 - Curvas de TG e DTG da amostra 1-B



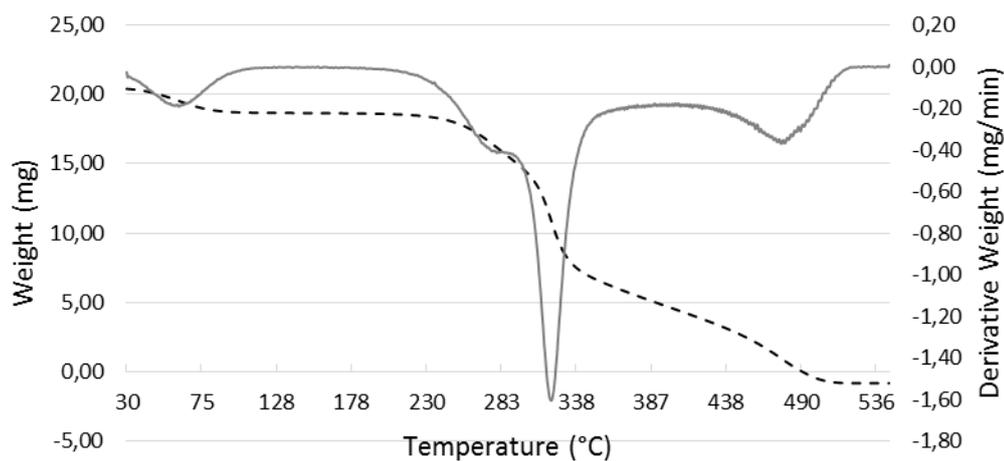
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 25 - Curvas de TG e DSC da amostra 1-B



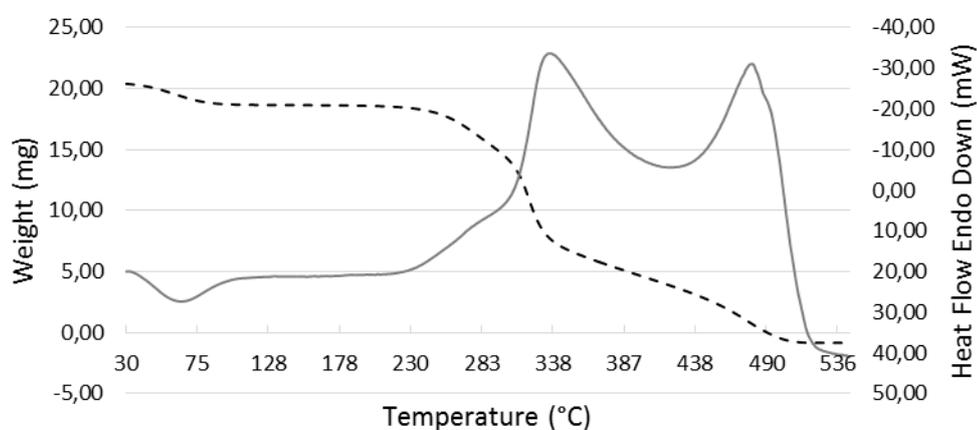
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 26 - Curvas de TG e DTG da amostra 1-C



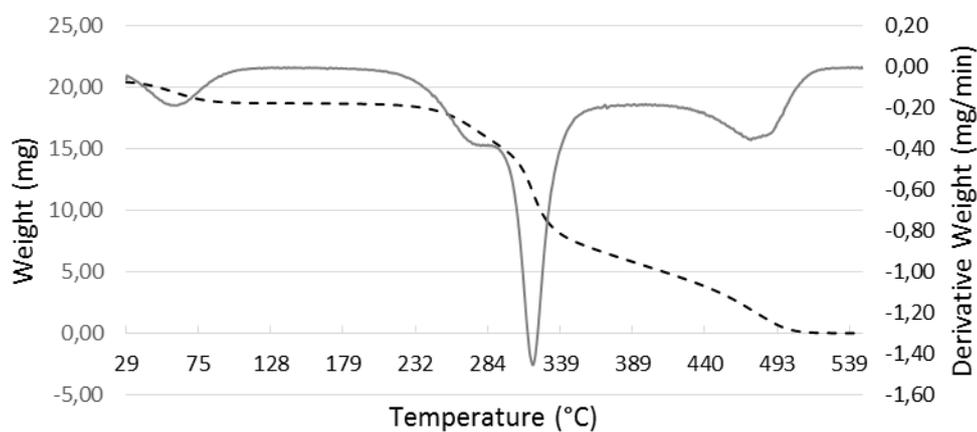
Fonte: O autor, 2017.

Gráfico 27 - Curvas de TG e DSC da amostra 1-C



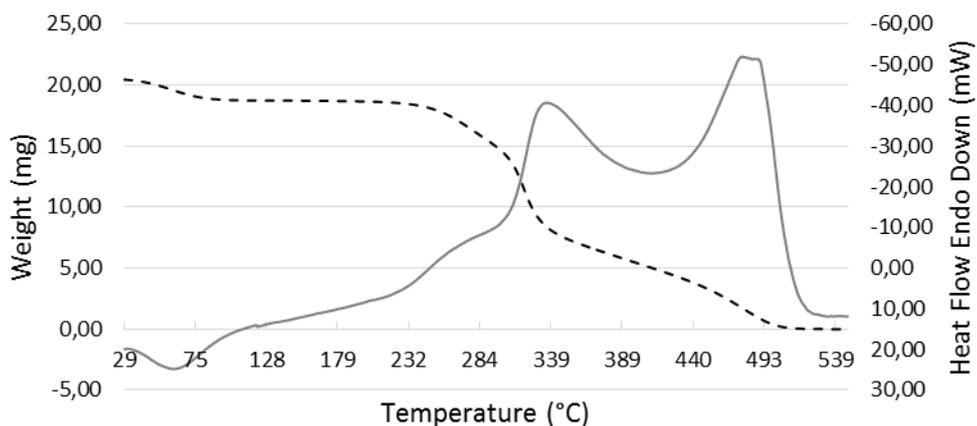
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 28 - Curvas de TG e DTG da amostra 1-D



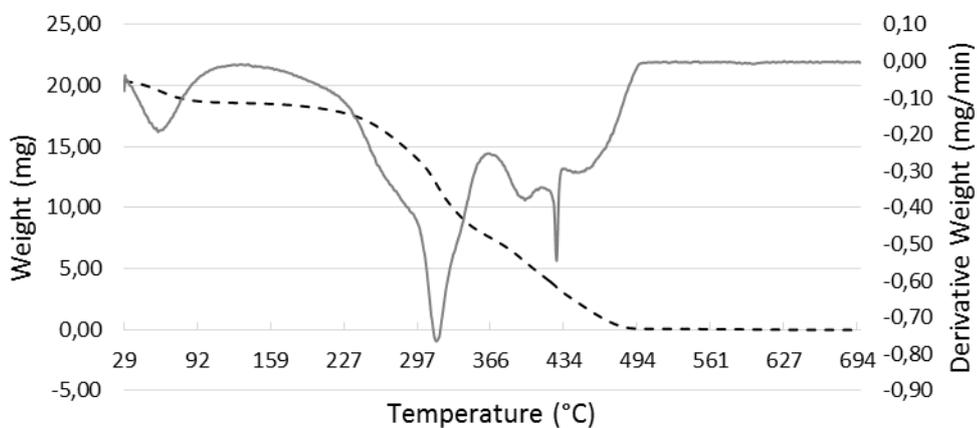
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 29 - Curvas de TG e DSC da amostra 1-D



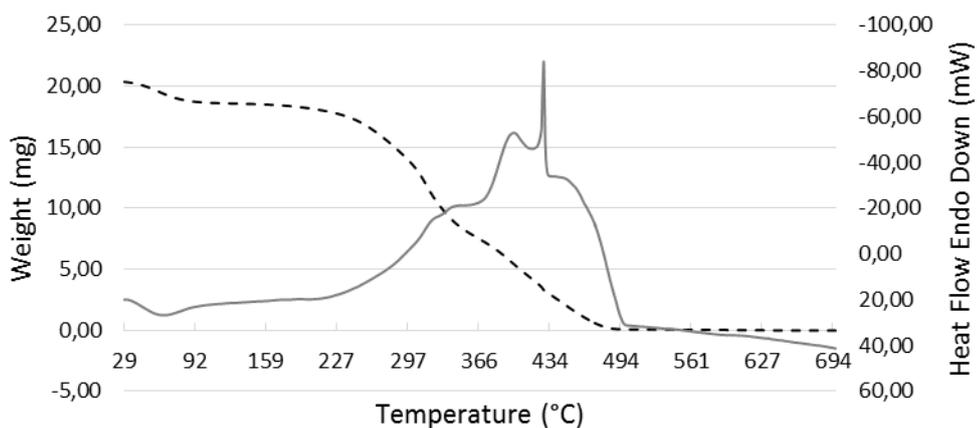
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 30 - Curvas de TG e DTG da amostra 2-Triagem



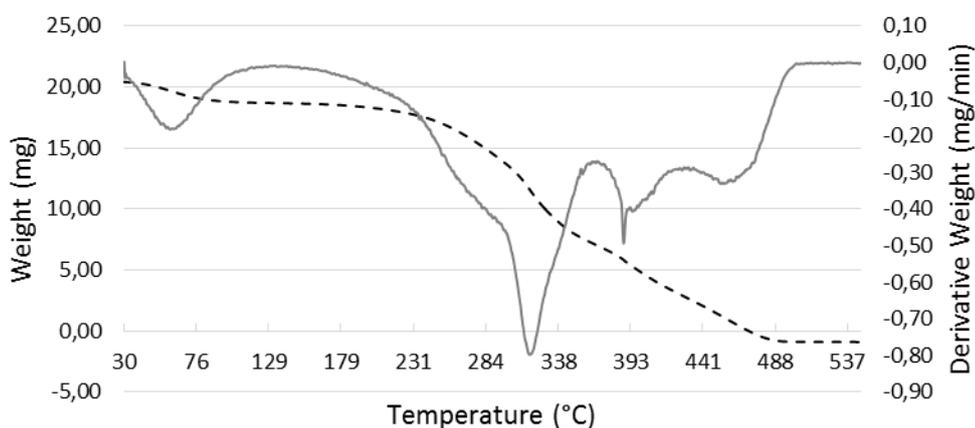
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 31 - Curvas de TG e DSC da amostra 2-Triagem



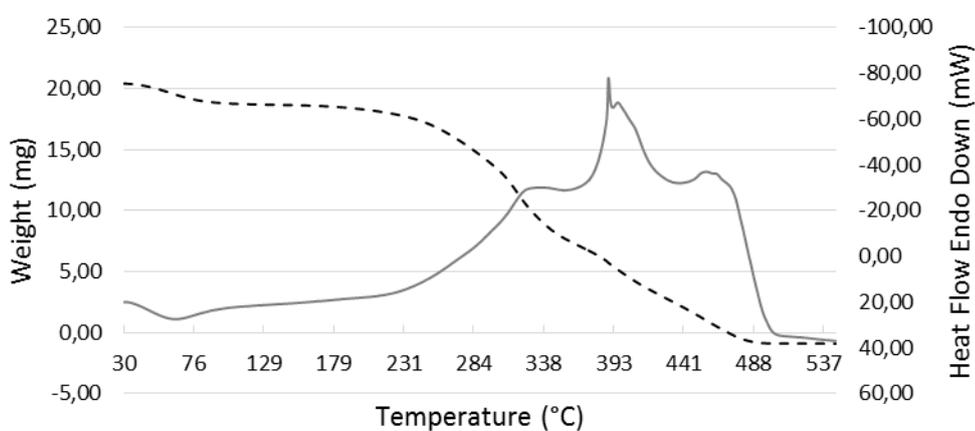
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 32 - Curvas de TG e DTG da amostra 2-A



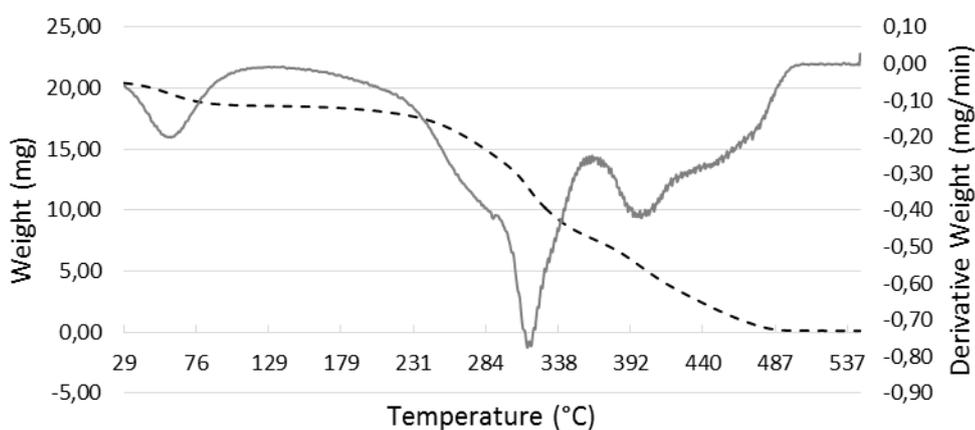
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 33 - Curvas de TG e DSC da amostra 2-A



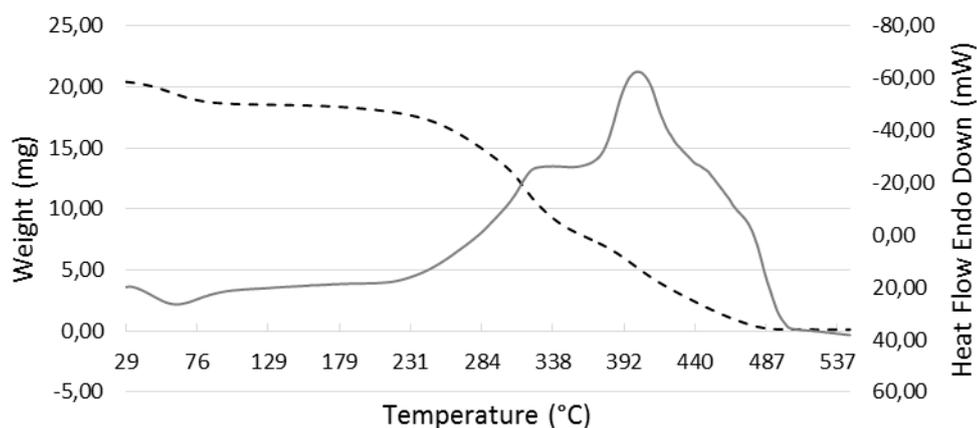
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 34 - Curvas de TG e DTG da amostra 2-B



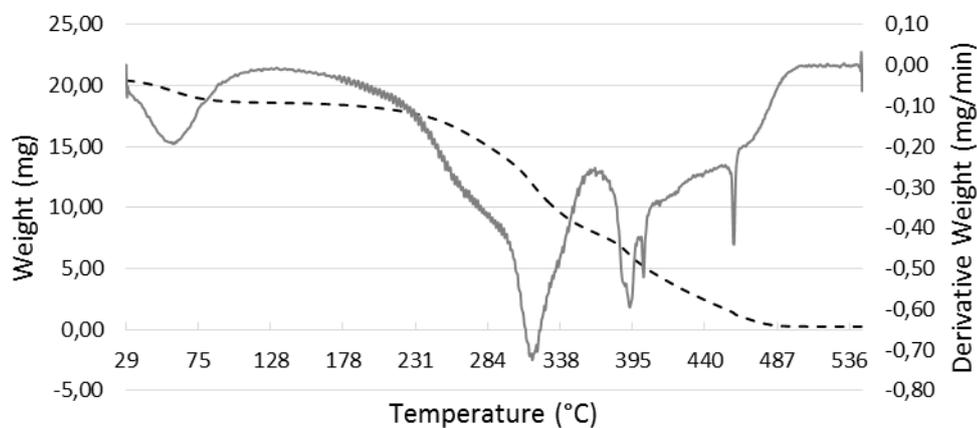
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 35 - Curvas de TG e DSC da amostra 2-B



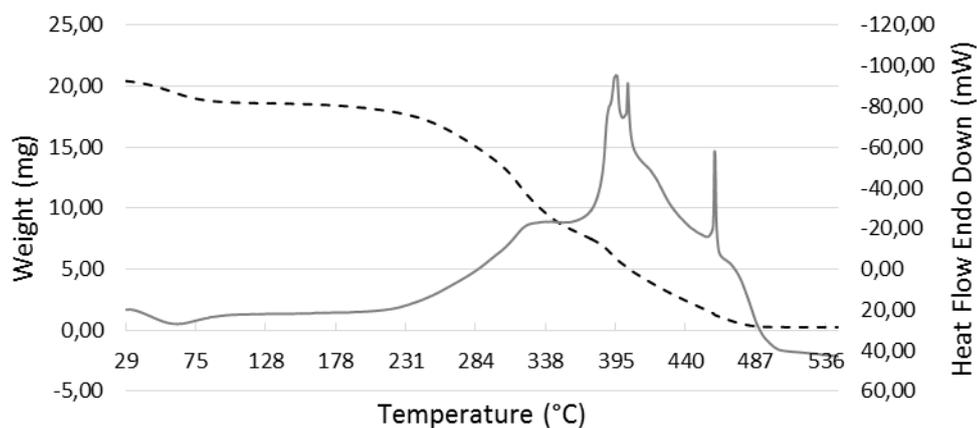
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 36 - Curvas de TG e DTG da amostra 2-C



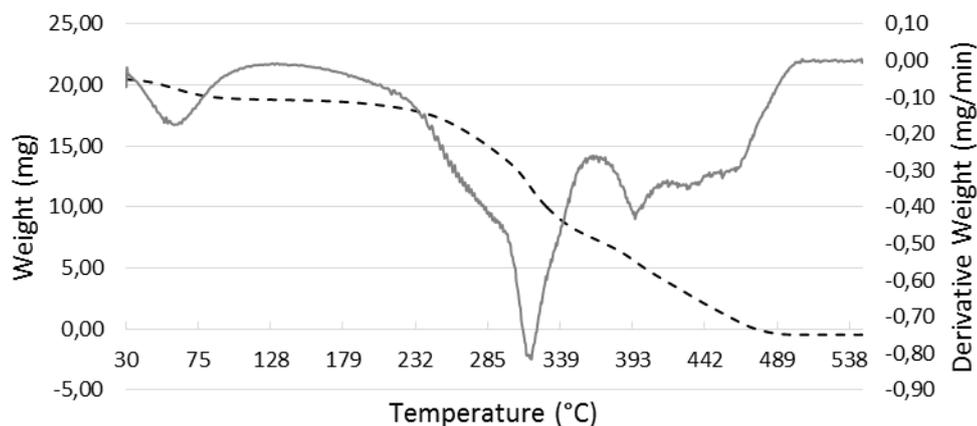
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 37- Curvas de TG e DSC da amostra 2-C



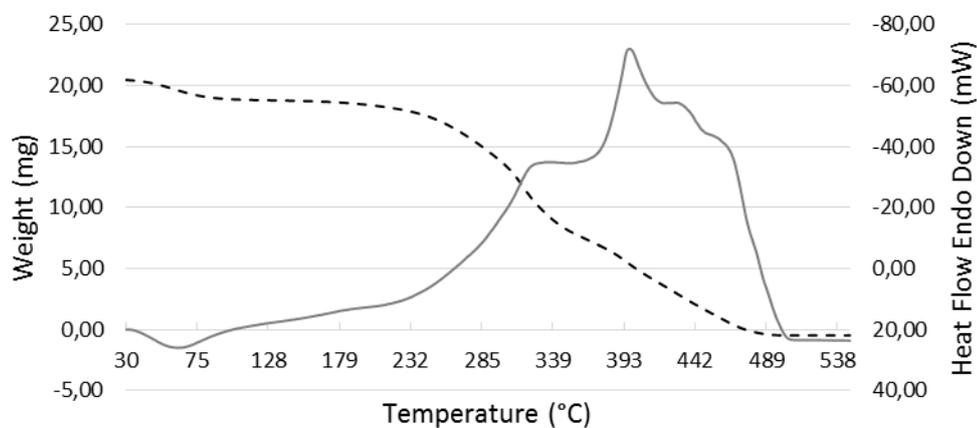
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 38 - Curvas de TG e DTG da amostra 2-D



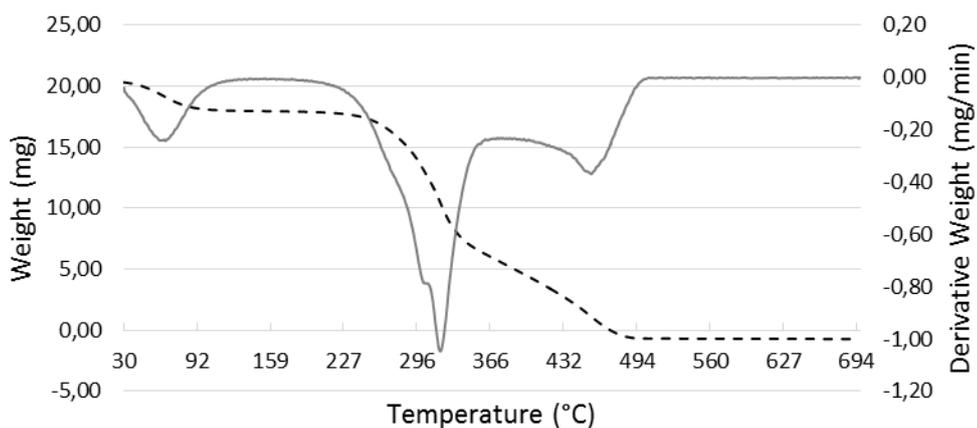
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 39 - Curvas de TG e DSC da amostra 2-D



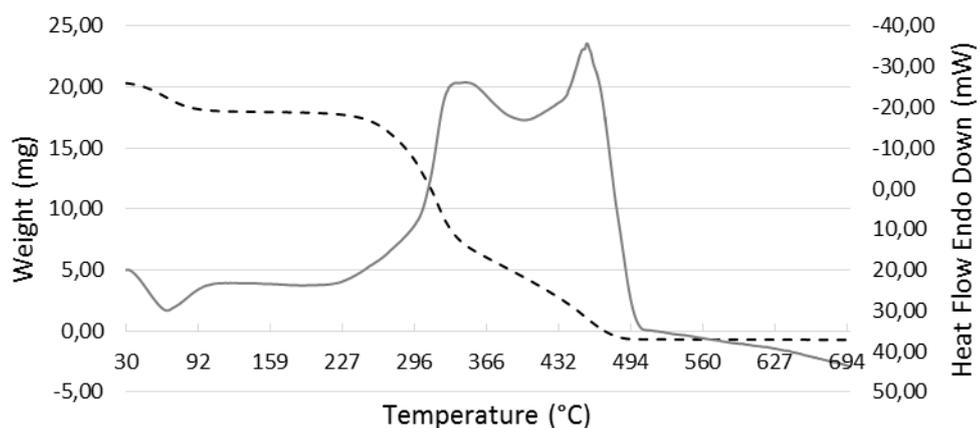
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 40 - Curvas de TG e DTG da amostra 3-Triagem



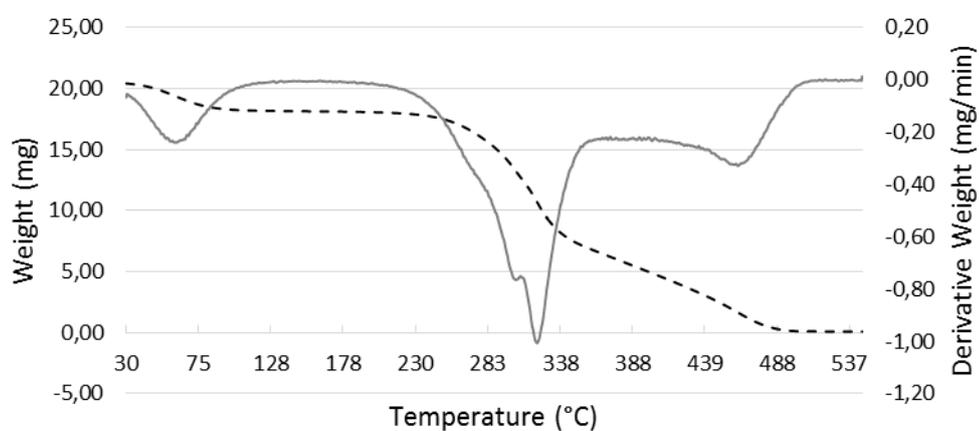
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 41 - Curvas de TG e DSC da amostra 3-Triagem



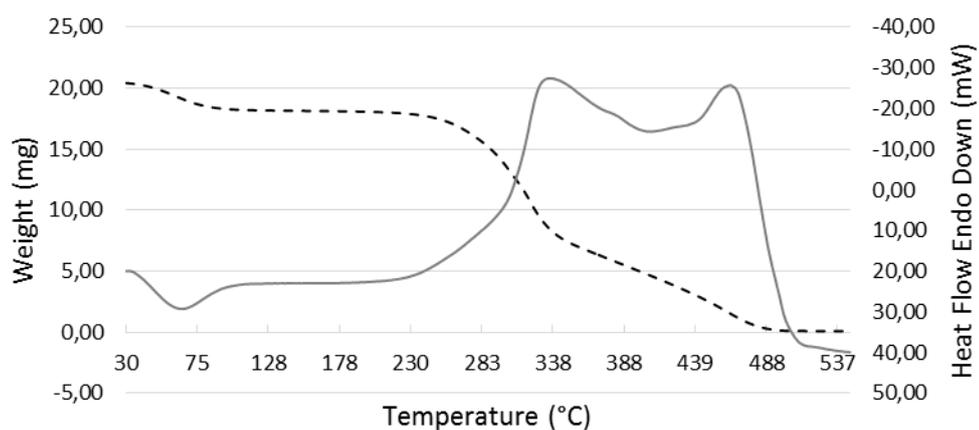
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 42 - Curvas de TG e DTG da amostra 3-A



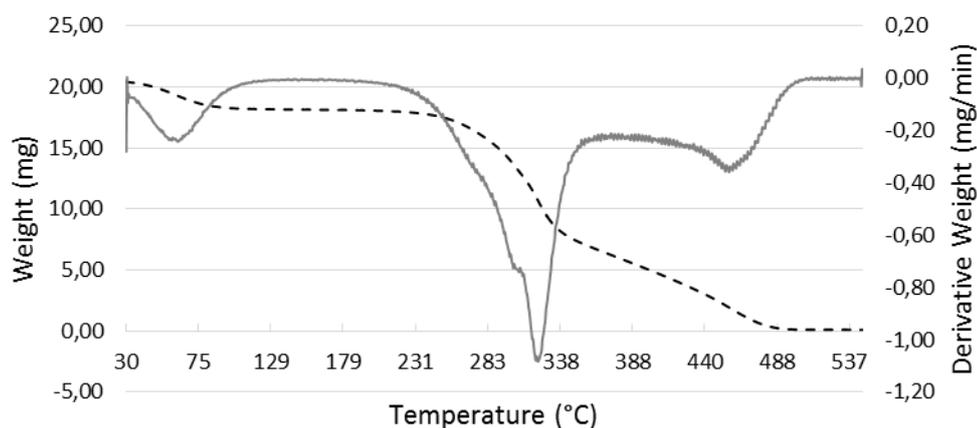
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 43 - Curvas de TG e DSC da amostra 3-A



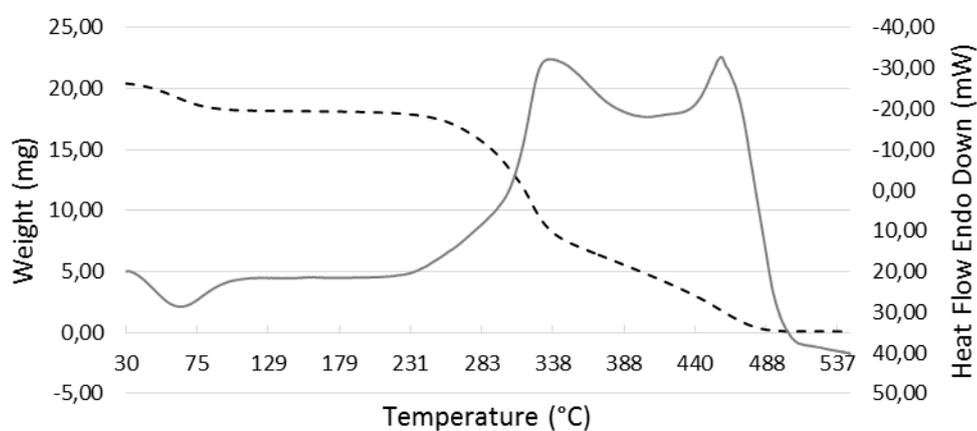
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 44 - Curvas de TG e DTG da amostra 3-B



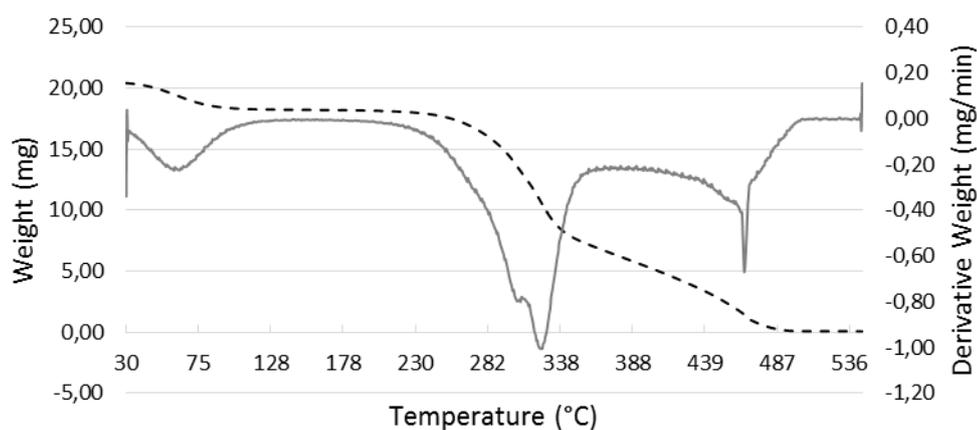
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 45 - Curvas de TG e DSC da amostra 3-B



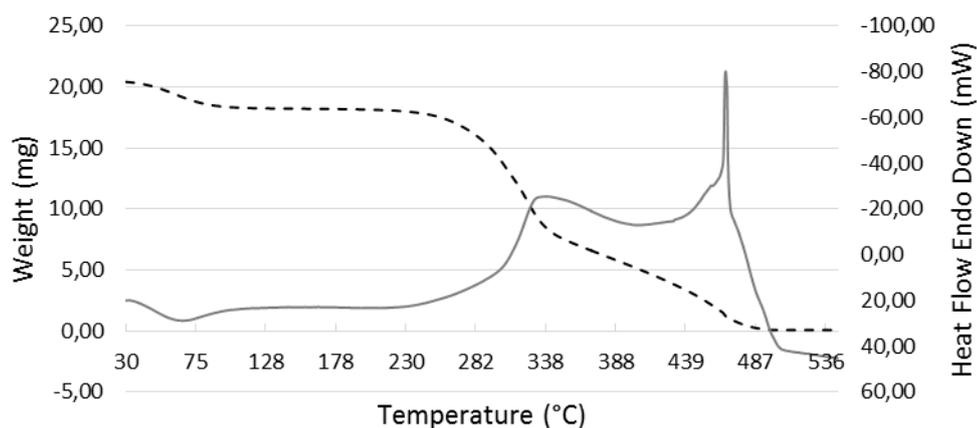
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 46 - Curvas de TG e DTG da amostra 3-C



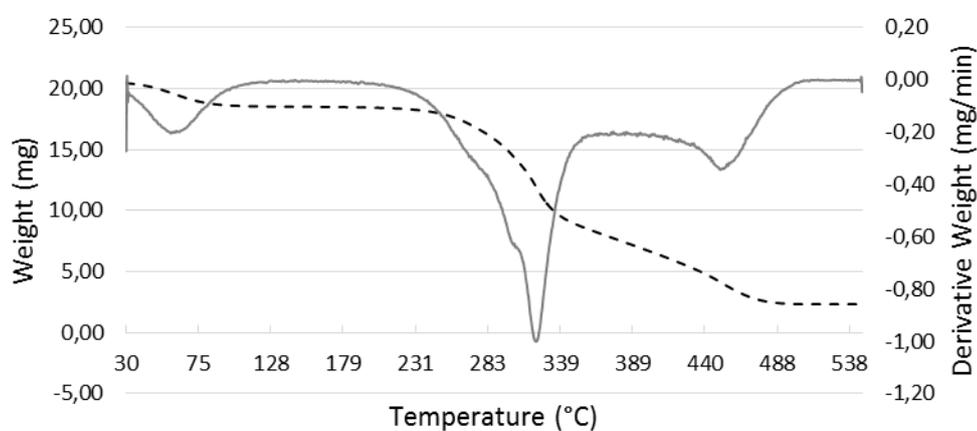
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 47 - Curvas de TG e DSC da amostra 3-C



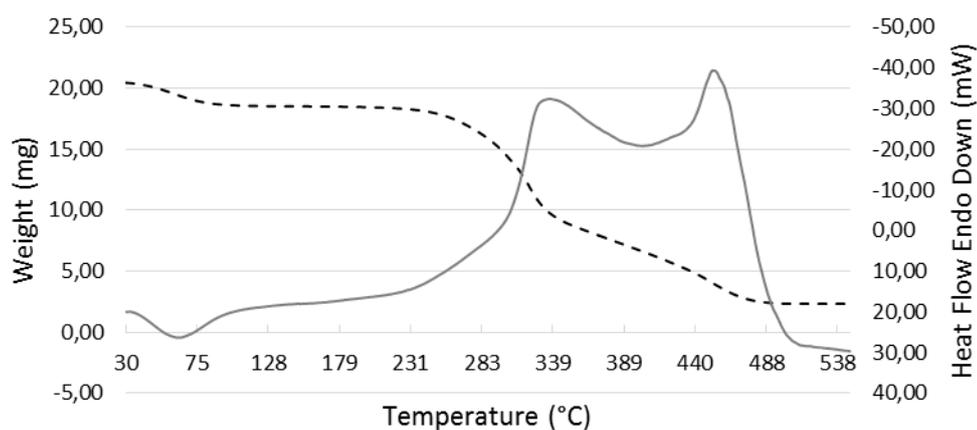
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 48 - Curvas de TG e DTG da amostra 3-D



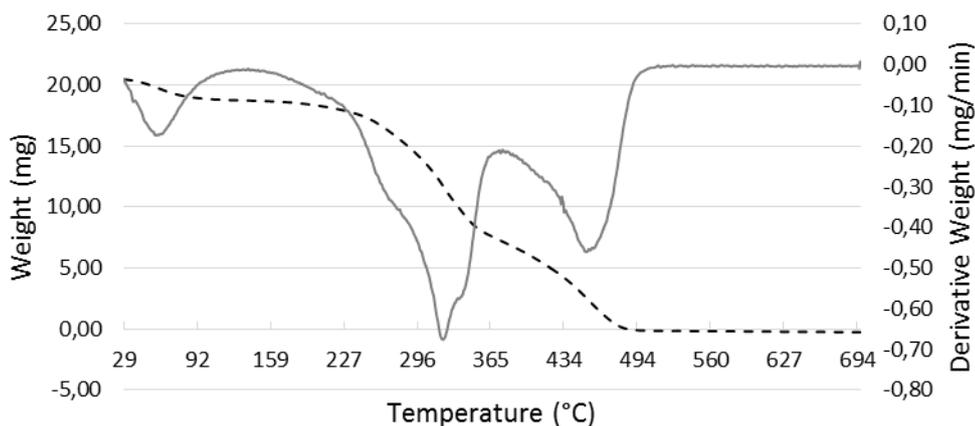
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 49 - Curvas de TG e DSC da amostra 3-D



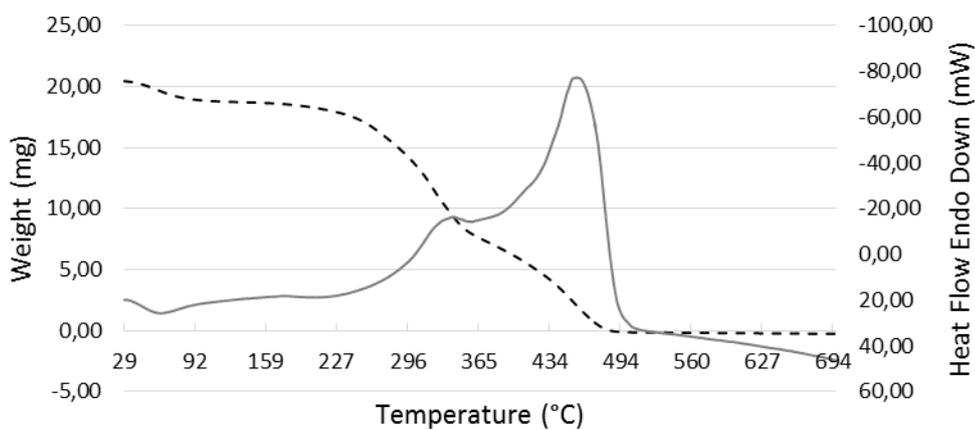
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 50 - Curvas de TG e DTG da amostra 4-Triagem



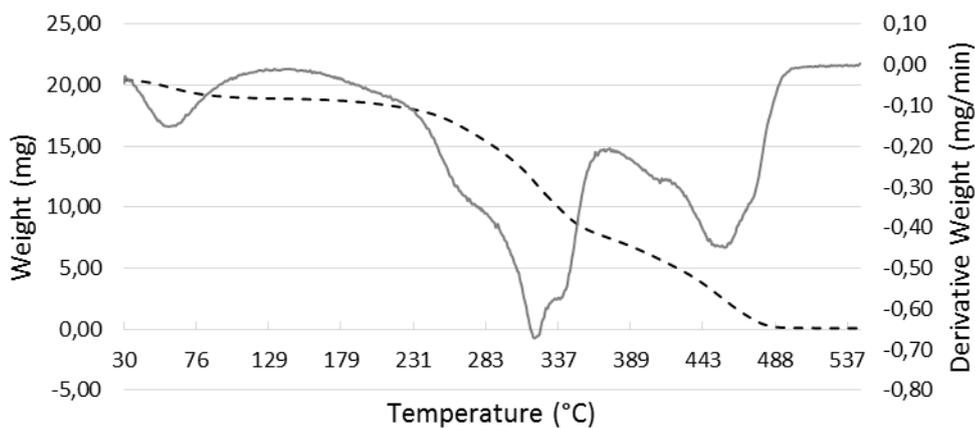
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 51 - Curvas de TG e DSC da amostra 4-Triagem



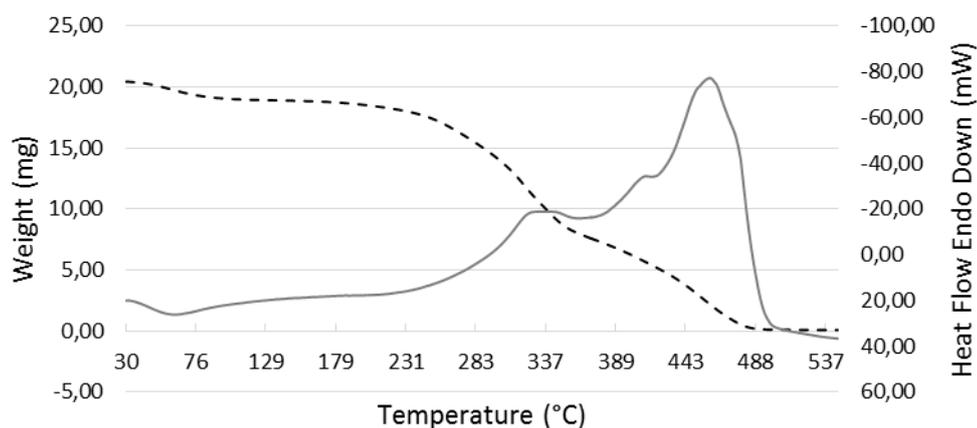
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 52 - Curvas de TG e DTG da amostra 4-A



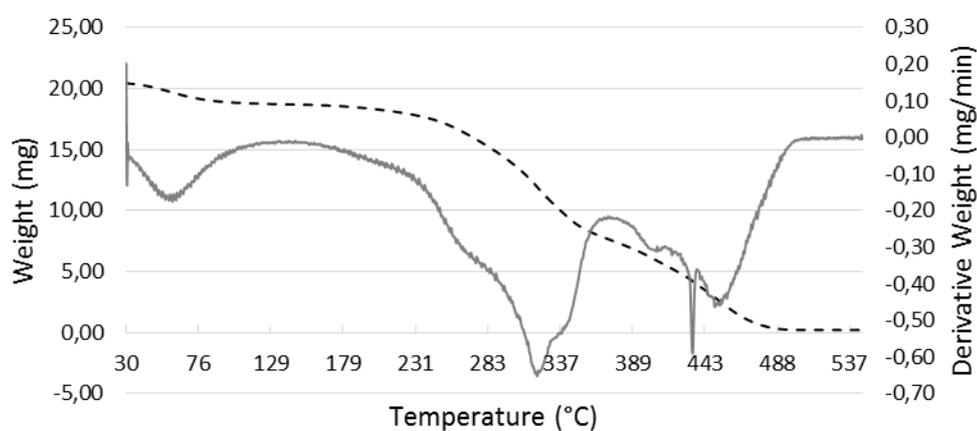
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 53 - Curvas de TG e DSC da amostra 4-A



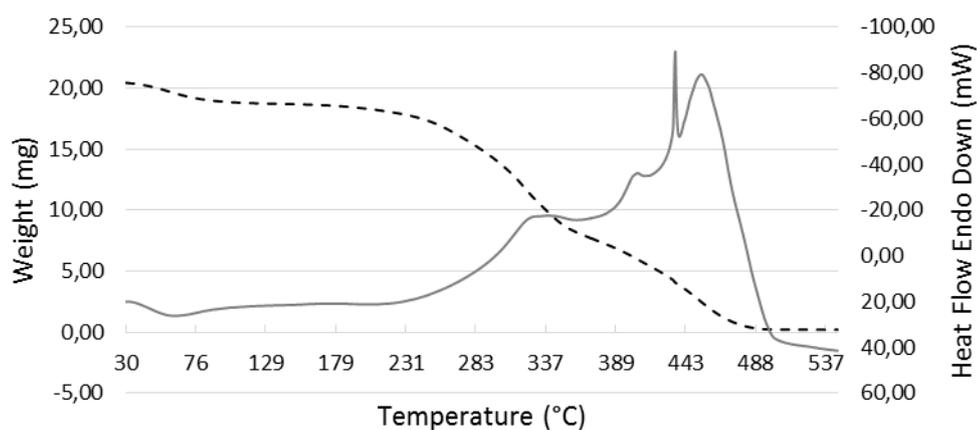
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 54 - Curvas de TG e DTG da amostra 4-B



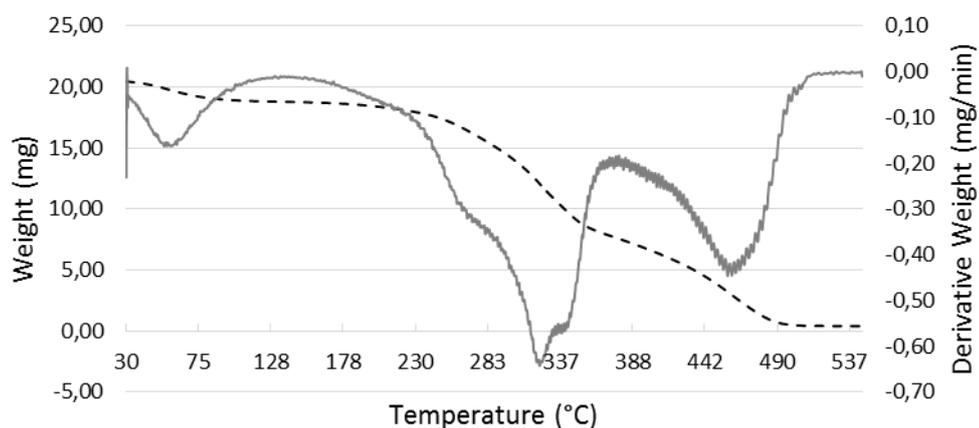
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 55 - Curvas de TG e DSC da amostra 4-B



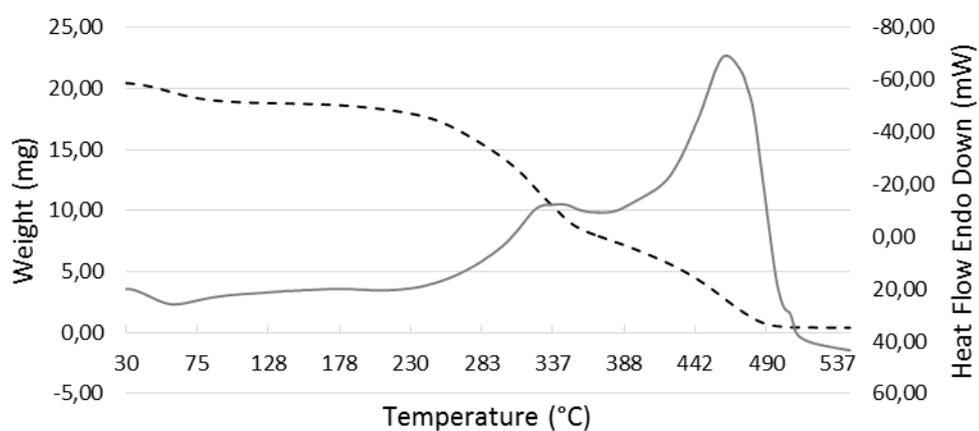
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 56 - Curvas de TG e DTG da amostra 4-C



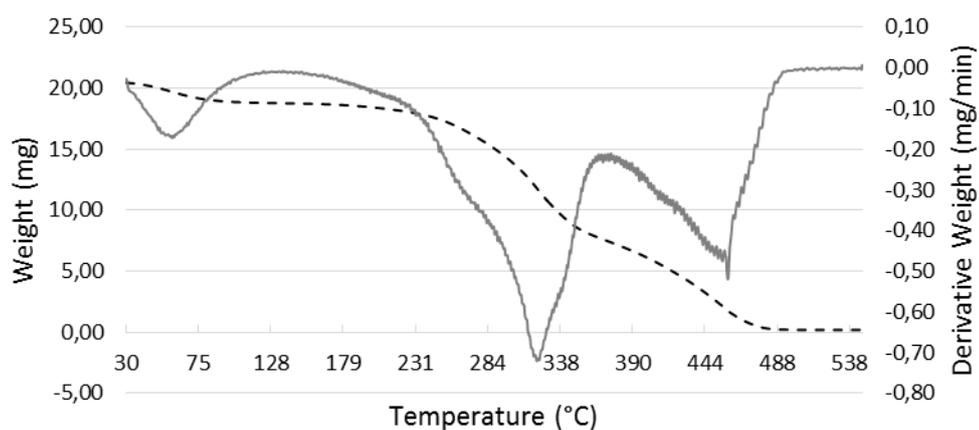
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 57 - Curvas de TG e DSC da amostra 4-C



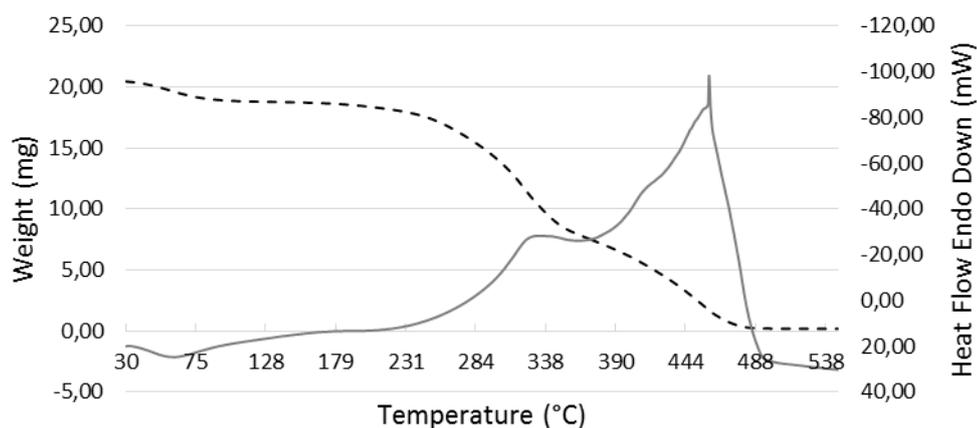
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 58 - Curvas de TG e DTG da amostra 4-D



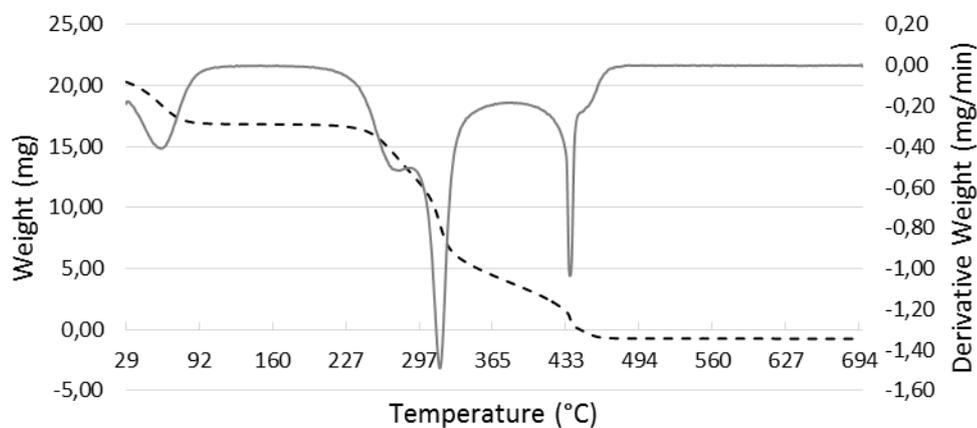
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 59 - Curvas de TG e DSC da amostra 4-D



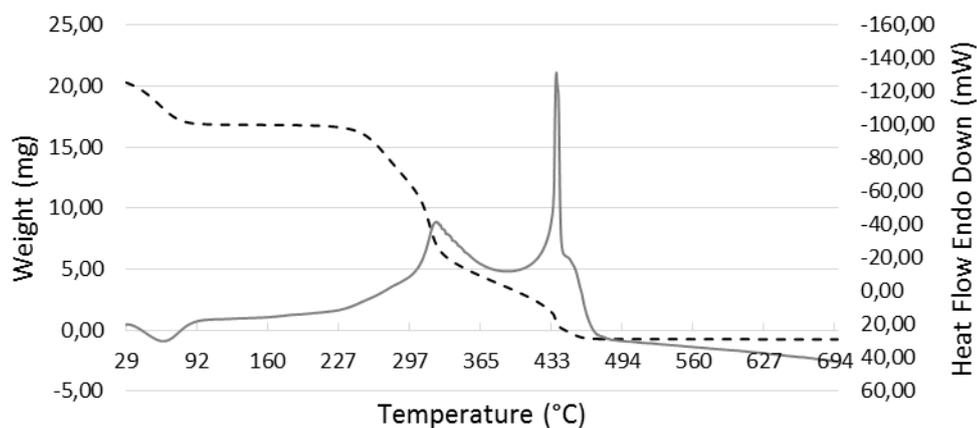
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 60 - Curvas de TG e DTG da amostra 5-Triagem



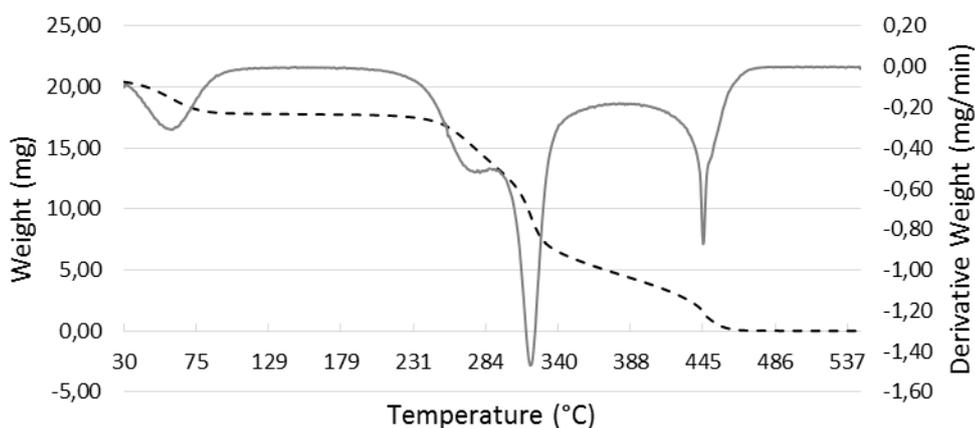
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 61 - Curvas de TG e DSC da amostra 5-Triagem



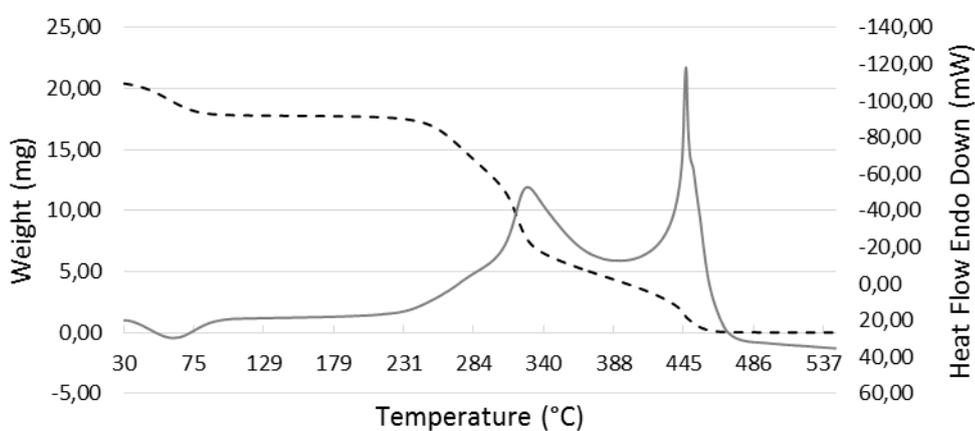
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 62 - Curvas de TG e DTG da amostra 5-A



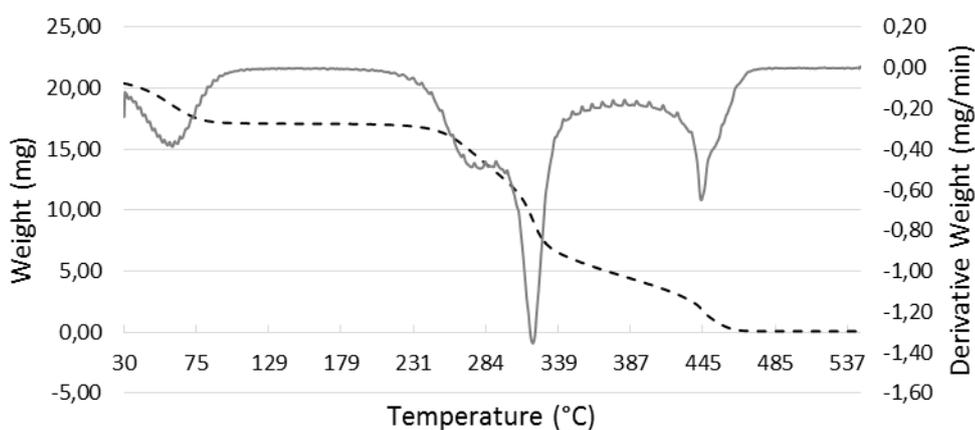
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 63 - Curvas de TG e DSC da amostra 5-A



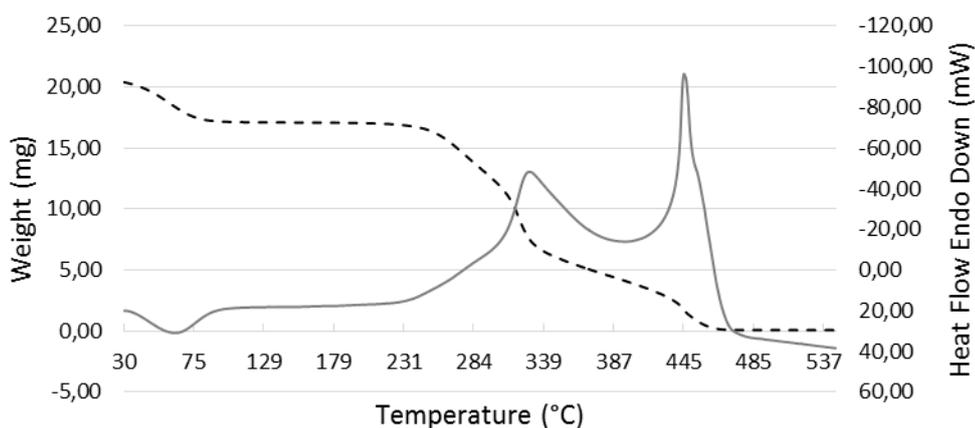
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 64 - Curvas de TG e DTG da amostra 5-B



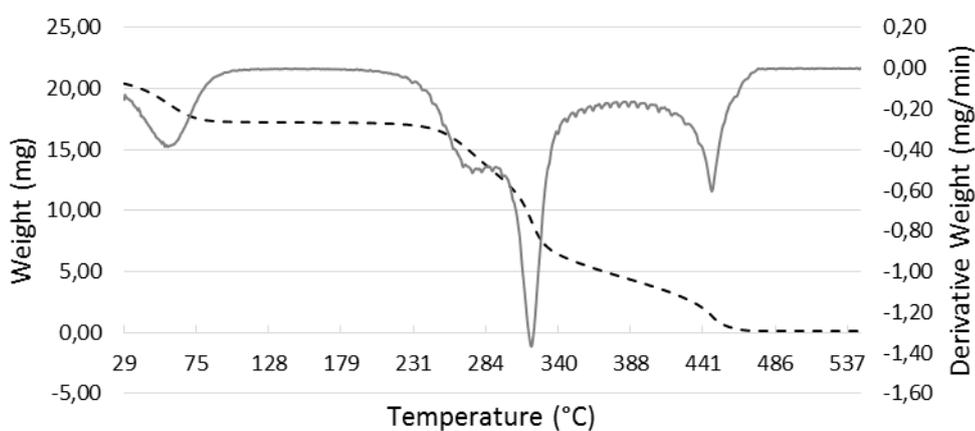
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 65 - Curvas de TG e DSC da amostra 5-B



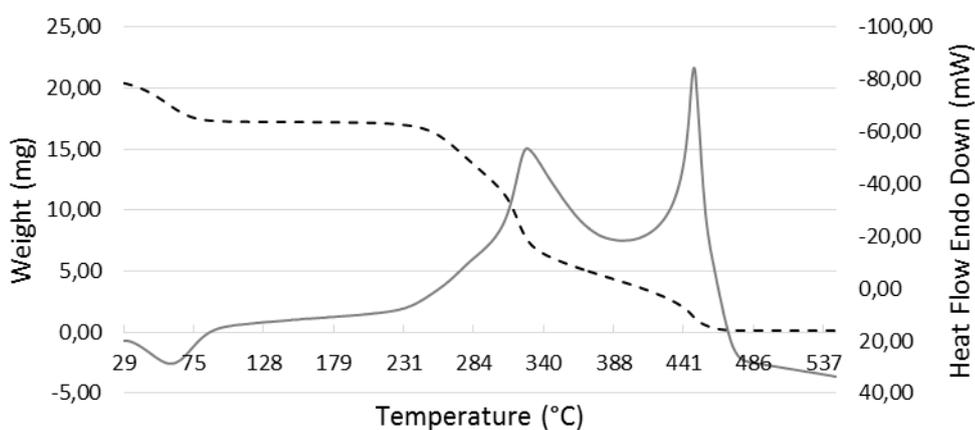
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 66 - Curvas de TG e DTG da amostra 5-C



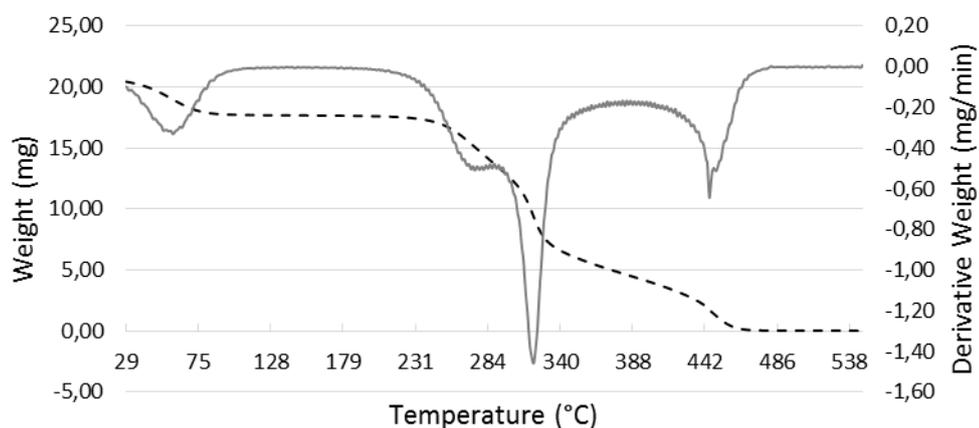
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 67 - Curvas de TG e DSC da amostra 5-C



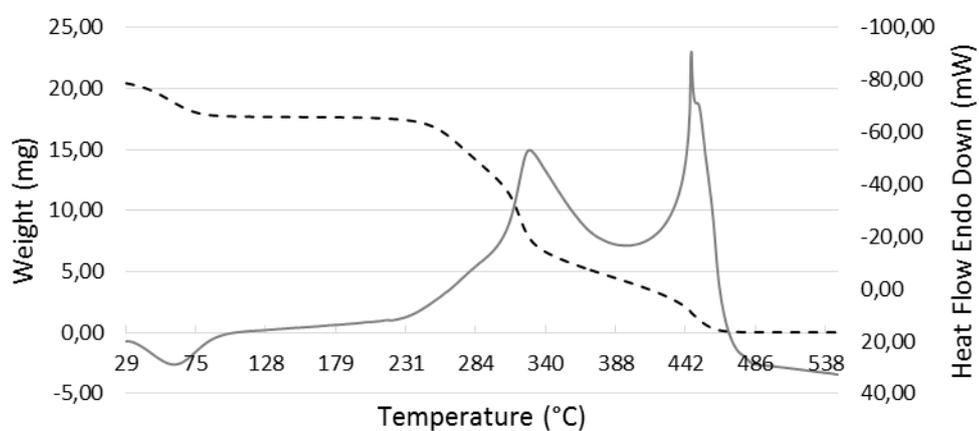
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 68 - Curvas de TG e DTG da amostra 5-D



Fonte: O autor, 2017

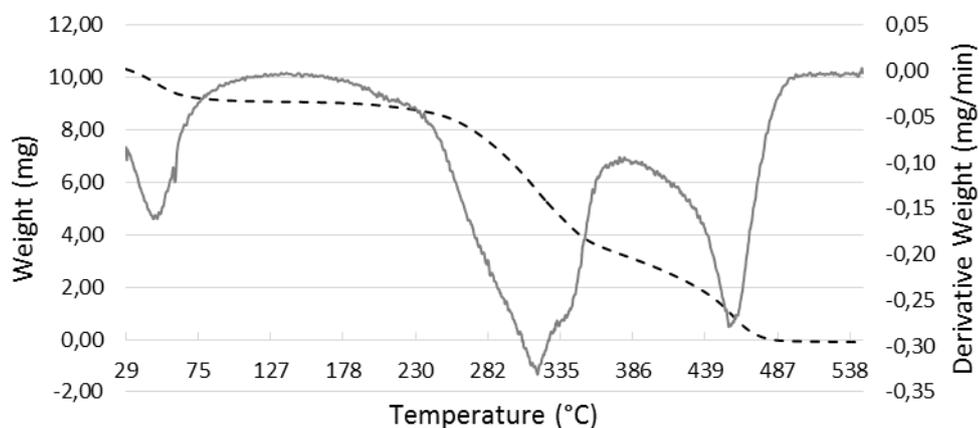
Gráfico 69 - Curvas de TG e DSC da amostra 5-D



Fonte: O autor, 2017

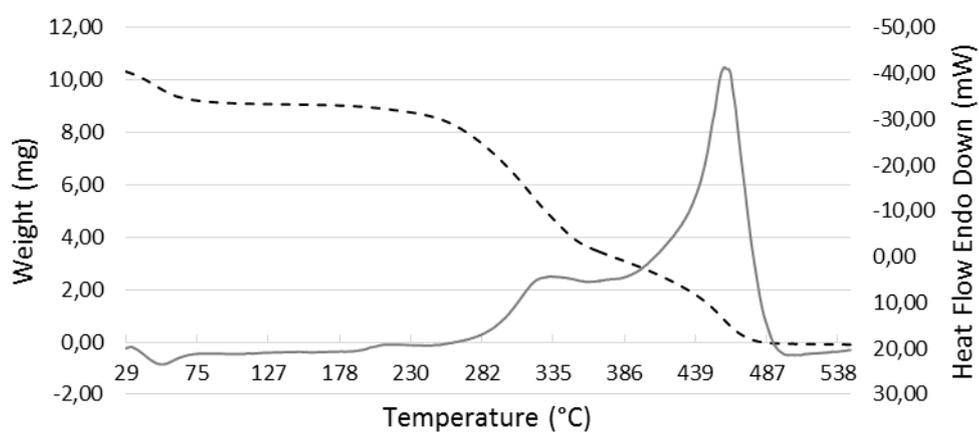
APÊNDICE B - Gráficos da análise térmica da segunda etapa de caracterização

Gráfico 70 - Curvas de TG e DTG do briquete padronizado do teste C



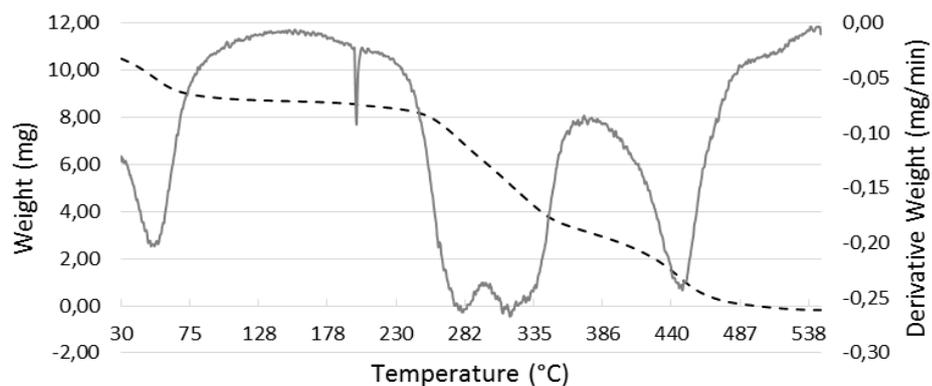
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 71 - Curvas de TG e DSC do briquete padronizado do teste C



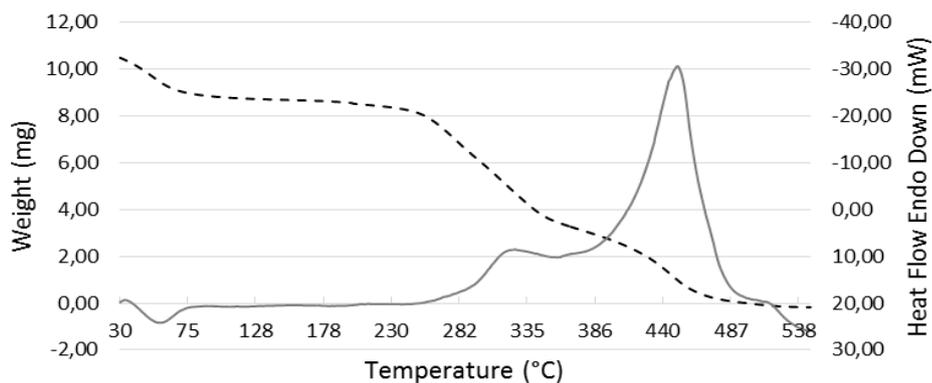
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 72 - Curvas de TG e DTG do briquete padronizado do teste E



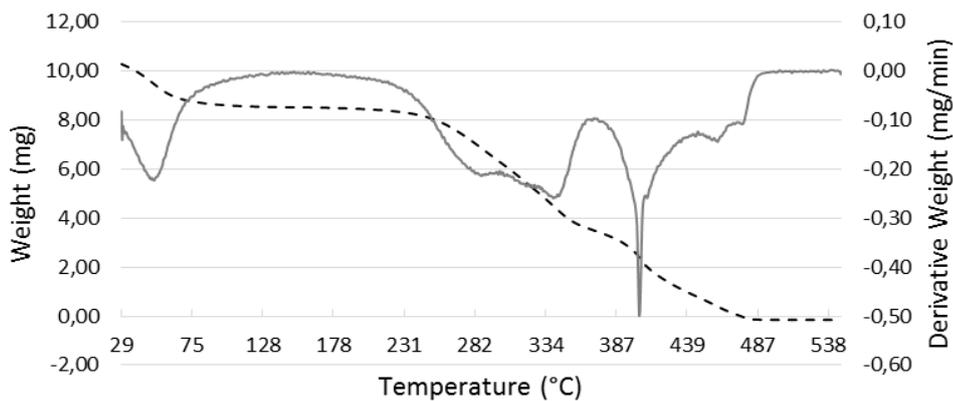
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 73 - Curvas de TG e DSC do briquete padronizado do teste E



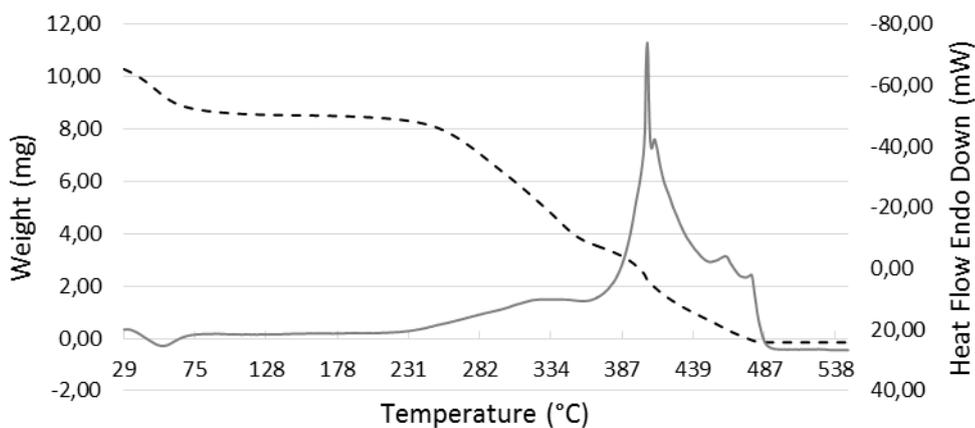
Fonte: O autor, 2017

Gráfico 74 - Curvas de TG e DTG do briquete padronizado do teste F



Fonte: O autor, 2017

Gráfico 75 - Curvas de TG e DSC do briquete padronizado do teste F



Fonte: O autor, 2017