



MAPEAMENTO, TRIAGEM E CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS PLÁSTICOS: UM ESTUDO DE POSSIBILIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR TECNOLOGIAS WTE EM MANHIÇA-MAPUTO

MACAMO, Florência.J¹, BOANE, Alberto.A², MONJANE, A³, GUERNER, Dias.A⁴

¹Universidade Pedagógica de Maputo, Faculdade de Ciências Naturais e Matemática, Curso de Química, florenciajoamacamo@gmail.com

²Universidade Pedagógica de Maputo, Faculdade de Ciências Naturais e Matemática, Curso de Química, bboane@gmail.com

³Universidade Pedagógica de Maputo, Faculdade de Ciências Naturais e Matemática, Curso de Química, monjanea@gmail.com

⁴Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, Ambiente e Ordenamento do Território, agdias@fc.up.pt

Resumo

O problema ambiental causado pelo descarte incorrecto de resíduos plásticos no meio ambiente tem suscitado várias preocupações, no seio da comunidade académica no que concerne à forma de descarte, tratamento e valorização. Este estudo surge na perspectiva de analisar a variabilidade e o potencial energético dos resíduos plásticos gerados pelo município da Manhica, com vista a propor uma melhor forma de gestão dos mesmos, através da adopção das tecnologias WTE como um pilar fundamental da Economia Circular. A avaliação do potencial energético foi realizada em duas partes, nomeadamente: a *caracterização física* de resíduos que foi realizada no campo de estudo e, a *caracterização energética* efectuada no laboratório de Química da UP-Maputo, com base no método experimental (análise proximal por termogravimetria) fundamentada numa abordagem quali-quantitativa. A forma de amostragem utilizada foi não probabilística, onde foram colectadas em lixeiras, amostras de resíduos plásticos para o estudo. Foram determinados como parâmetros energéticos por análise proximal: Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (SF), Sólidos Voláteis (SV), Carbono Fixo (CF), por análise matemática por estimativa (final): Potencial Calorífico Superior (PCS/VCS) e Potencial Calorífico Inferior (PCI/VCI). Os resultados da caracterização física de resíduos, mostram que, estes são compostos maioritariamente (65%) de matéria orgânica (biodegradável e não biodegradável), 9% são correspondentes a plástico, 11% de vidro, 4% de papel e outros resíduos e 3% de metal e têxtil. Nos ensaios de caracterização energéticas de resíduos plásticos, constatou-se que, as amostras de Polietileno Tereftalato (PET) revelaram 82,58% nos teores de matéria volátil e 12,18% de carbono fixo e, 5,12% para o teor de humidade e 0,119% de cinzas. No que concerne ao PCS, constatou-se que as amostras de PET apresentaram valores maiores em relação as outras amostras, tendo tido 6218,15 kcal/kg. Por outro lado, as amostras de PS apresentaram um valor quase próximo ao apresentado pelas amostras de PET, no valor de 5983,4718 kcal/kg. Por outro lado, as mostras de PEBD apresentaram 5907,3782 kcal/kg e as de PEAD apresentaram 5652,4422 kcal/kg, estes que são os valores mais baixos. Com esses resultados, pode-se concluir que, as quatro amostras analisadas evidenciam um expressivo potencial energético para seu uso na geração de energia por tecnologias WTE.

Palavras-chave

Resíduos sólidos urbanos. Plásticos. PET, PEAD, PEBD, PS. WTE. Recuperação energética.

Abstract

The environmental problem caused by the incorrect disposal of plastic waste in the environment has raised several concerns within the academic community in regarding the form of disposal, treatment and recovery. This study appears in perspective of analyzing the variability and energy potential of plastic waste generated by the municipality of Manhiça, with a view to proposing a better form of management of them, through the adoption of WTE technologies as a fundamental pillar of Circular Economy. The evaluation of the energy potential was carried out in two parts, namely: the physical characterization of waste that was carried out in the field of study and, the energy characterization carried out in the Chemistry laboratory UP-Maputo, based on the experimental method (proximal analysis by thermogravimetry) based on a qualitative and quantitative approach. The form of sampling used was non-probabilistic, where they were collected in dumps, plastic waste samples for the study. They were determined as parameters energetic by proximal analysis: Total Solids (ST), Fixed Solids (SF), Solids Volatiles (SV), Fixed Carbon (CF), by mathematical analysis by estimate (final): Higher Calorific Potential (PCS/VCS) and Lower Heat Potential (PCI/VCI). The results of the physical characterization of residues show that these are compounds mostly (65%) of organic matter (biodegradable and non-biodegradable), 9% correspond to plastic, 11% to glass, 4% to paper and other waste and 3% metal and textile. In the energy characterization tests of plastic waste, it was found that the samples of Polyethylene Terephthalate (PET) revealed 82.58% in the volatile matter contents and 12.18% of fixed carbon and 5.12% for moisture content and 0.119% ash. With regard to the PCS, it was found that the PET samples presented higher values in relation to the other samples, having had 6218.15 kcal/kg. On the other hand, the PS samples presented a value almost close to the presented by the PET samples, in the amount of 5983.4718 kcal/kg. On the other hand, the LDPE samples presented 5907.3782 kcal/kg and the HDPE samples presented 5652.4422 kcal/kg, which are the lowest values. With these results, you can concluded that the four analyzed samples show an expressive potential energy for use in power generation by WTE technologies.

Keywords

Municipal solid waste. Plastic. PET, HDPE, LDPE, PS. WTE. Energy recovery.

© 2018 Munyo Scientific Publishing,LC. All rights reserved.

1. Introdução/Problema

A questão referente a produção e gestão de resíduos sólidos tem sido nos últimos tempos constrangedor para o mundo geral e Moçambique em particular. A crescente urbanização e aumento populacional têm propiciado uma vasta produção de resíduos sólidos cujas condições de recolha, tratamento e descarte são ainda um dilema. Em torno desse dilema, o plástico tem sido um dos resíduos de maior destaque, pois é um material muito utilizado em diferentes sectores da actividade do homem e, por conta disso, o seu

descarte incorrecto propicia acúmulo de resíduos desse material no ambiente.

De acordo com Filho & Poletto (2017), para construir um modelo de desenvolvimento sustentável, o tratamento de resíduo de qualquer tipo e proveniência, é hoje um dos principais desafios da humanidade, e a geração de energia eléctrica a partir de resíduos sólidos é um dos componentes da Gestão Integrada de Resíduos.

Portanto, o aproveitamento desses residuos para gerar energia seria de extrema utilidade e benefica para o ambiente. Até porque a procura por novas fontes de energia tornou-se alvo de maior destaque nos últimos tempos.

Principalmente porque de acordo com Corrêa (2012), as fontes de energia mais tradicionais estão no limite de oferta ou até mesmo com previsão de esgotamento.

Assim, a utilização de resíduos plásticos como potencial energético é muito importante para a gestão correcta de resíduos assim como para o desenvolvimento de novas fontes de energia, diminuindo assim os impactos ambientais causados por estes resíduos.

Nesta perspectiva, a presente pesquisa procura responder a seguinte questão de pesquisa: *Qual é a variabilidade e o potencial energético dos resíduos plásticos gerados no Município da Manhica?*

1.1. Objectivo geral

- ✓ Analisar a variabilidade e o potencial energético dos resíduos plásticos gerados no Município da Manhica.

1.2. Objectivos específicos

1. Caracterizar o actual sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos no Município da Manhica;
2. Determinar os tipos de plásticos existentes nos resíduos sólidos urbanos do Município supracitado;
3. Quantificar os diferentes tipos de plásticos nos resíduos sólidos urbanos do município em estudo;
4. Estimar o potencial de geração de electricidade por tecnologias WTE (incineração) com base na análise proximal.

2. Metodologia

2.1. Descrição da área de estudo

A presente pesquisa foi realizada a nível do município da Manhica, onde os dados foram recolhidos em residências, lixeiras, contentores e mercados. Fez parte desta pesquisa também o

Sector de Salubridade da Vereação de Urbanização, Construção e Energia (responsável pela recolha de resíduos no município). O Distrito de Manhica localiza-se na parte Norte da Província de Maputo, a 80 Km da Cidade de Maputo a que está ligada pela EN1. O Distrito de Manhica encontra-se subdividido em 6 distritos Municipais, nomeadamente: Município de Manhica sede, Xinavane, 3 de Fevereiro, Calanga, Maluana e Ilha Josina Machel. O Município de Manhica é a área administrativa onde reside a maior percentagem de população do distrito (35,6%), sendo a densidade populacional de 136,4 hab/km².

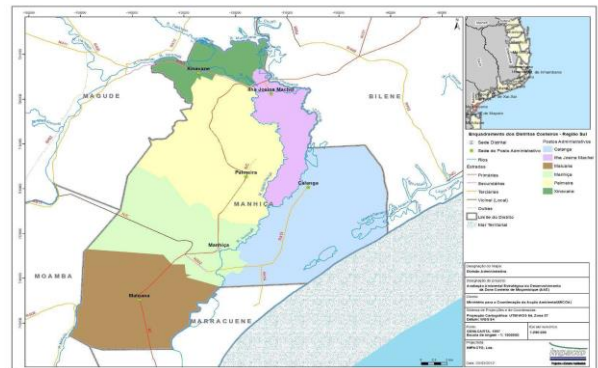


Figura 1: Localização Geográfica do Distrito da Manhica



Figura 2: Algumas lixeiras da área de estudo

2.2. Caracterização da pesquisa

Metodologicamente, este trabalho foi conduzido baseado numa pesquisa de carácter descritivo-aplicada, fundamentada numa abordagem mista (quali-quantitativa), onde os dados foram colhidos com recurso ao estudo de campo e pesquisa experimental, com a aplicação das técnicas de observação directa e entrevista.

A pesquisa foi conduzida em duas partes: a primeira referente a caracterização física de

resíduos sólidos urbanos, realizada no campo e, a segunda que correspondeu a caracterização energética de resíduos plásticos, que foi realizada no laboratório.

2.3. Caracterização física de resíduos (Triagem)

Para a efectivação do processo de caracterização física, as amostras de resíduos foram colectadas e pesadas em 5 kg para residências, mercados e contentores e, em 10 kg para lixeiras. De seguida essas amostras passaram por uma separação física baseada nas metodologias de MEDECOM e DGQA, que consistiu em separar e quantificar os resíduos em diferentes categorias: resíduos orgânicos, plásticos, papel, têxtil, metal, vidro, e outros. A posterior, as amostras de resíduos plásticos retiradas dos RSU foram também separadas e quantificadas de acordo com o tipo de plástico: PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, PS e OUTROS.



Figura 3: Triagem de RSU e resíduos plásticos

2.4. Caracterização energética de plásticos

Para a caracterização energética de resíduos plásticos, amostras de PET, PEAD, PEBD e PS foram colectadas e transportadas para os laboratórios de Química da Universidade Pedagógica de Maputo. Onde passaram por um processo de lavagem, secagem ao ar, corte e armazenamento em frascos fechados. De seguida, essas amostras foram submetidas aos testes da análise química aproximada, onde foram determinados em percentagens, os teores de humidade, matéria volátil, cinzas e carbono fixo por termogravimetria (secagem em estufa e queima em mufla). Com os resultados da análise química aproximada determinou-se de forma

directa e empírica o poder calorífico superior, com auxílio de uma expressão matemática. O processo da análise laboratorial é resumido pelo diagrama da figura 4, seguida pela descrição detalhada do trabalho laboratorial ilustrado na figura 5. A tabela em 1 ilustra os métodos que foram usados para determinar os parâmetros da caracterização energética de resíduos plásticos.

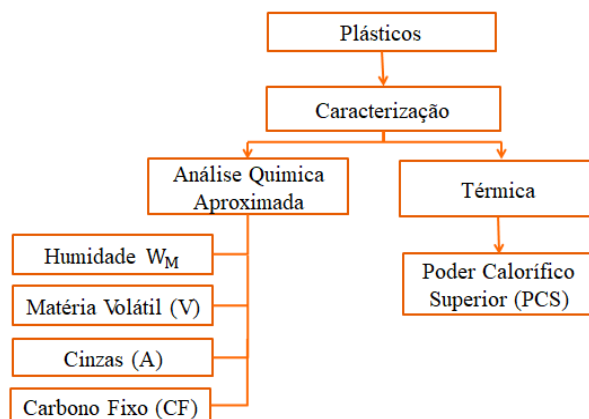


Figura 4: Diagrama do processo da análise laboratorial



Figura 5: Descrição do trabalho laboratorial

A imagem 1 ilustra o momento da preparação das amostras para as análises e, as imagem 2 e 3 ilustram os processos da determinação dos teores de humidade e matéria volátil, respectivamente.

Tabela 1: Métodos usados na caracterização energética

Parâmetros	Métodos	
Humidade	ISO 11722:2013(E)	Termo gravimétrico
Matéria Volátil	ISO 562:2010(E)	
Cinzas	ISO 1171:2010(E)	
Carbono Fixo	ISO 17246-2010	
Poder Calorífico Superior	Fórmula recomendada por (SEERVI, 2015).	

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos nas caracterizações físicas e energéticas dos resíduos plásticos estão apresentados sob forma de figuras e tabelas a baixo apresentados.

3.1. Caracterização física de resíduos

Os resíduos sólidos urbanos do Município da Manhiça são constituídos de resíduos orgânicos, plásticos, vidro, metal, têxtil, papel e outros resíduos, como pode ser verificado na figura 6.

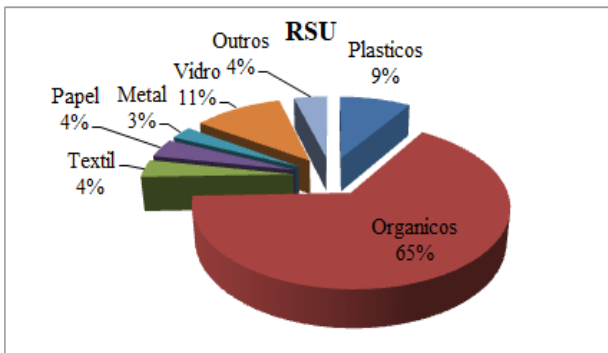


Figura 6: Composição média de RSU

Boa parte destes resíduos é composta de fracção orgânica que corresponde a 65%, seguida de vidro

com 11%, plásticos ocupando 9%, têxtil, papel e outros com 4% e, por fim, os metais com 3%.

A triagem dos resíduos plásticos mostrou que maior parte destes resíduos é constituído de plásticos do tipo PET, ocupando cerca de 29%, conforme pode ser verificado na figura em 7.

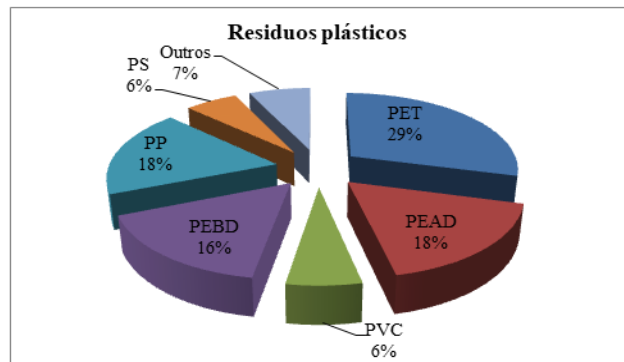


Figura 7: Composição média de resíduos plásticos.

Os PEAD e PP ocupam 18% e PEBD cerca de 16%. E, os restantes tipos de plásticos ocupam valores a baixo de 10%. As percentagens obtidas na caracterização física dos plásticos foram fundamentais para o processo de selecção das amostras para a análise energética, tendo se baseado na abundância do tipo de plástico.

3.2. Caracterização energética dos plásticos

Os resultados da análise química aproximada e do poder calorífico superior das amostras de plásticos estão apresentados na tabela 2:

Tabela 2: Resultados da análise energética dos plásticos

Amostras	Parâmetros determinados				
	W (%)	V (%)	A (%)	CF (%)	PCS (Kcal/Kg)
PET	5.12	82.58	0.119	12.18	6218.1505
PEAD	8.88	85.39	4.02	1.7	5652.4422
PEBD	6.98	87.28	3.69	2.05	5907.3782
PS	7.4	89	2.31	1.3	5983.4713

3.2.1. Teor de Humidade

A figura em 8 faz alusão dos resultados do teor de humidade em função das características de (PET, PEAD, PEBD e PS).

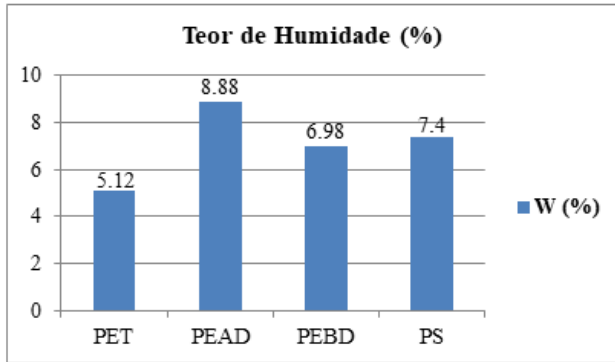


Figura 8: Teor de humidade das amostras

Os resultados obtidos para este parâmetro mostraram que as amostras do plástico PEAD possuem maior teor de humidade (aproximadamente a 9%) quando comparado com as amostras de PS, PEBD e PET que apresentam respectivamente 7, 7 e 5%. A norma ISO-11722-2013 recomenda valores de teor de humidade na faixa entre 4,9 a 5,15%, pois esta influencia de forma negativa no valor do poder calorífico, pelo que, é de extrema importância que o plástico possua menores valores de humidade, visto que altos valores impedem que o material alcance bons rendimentos como combustível. Assim sendo, os resultados encontrados nesta pesquisa para o teor de humidade, não estão todos na faixa recomendada pela norma ISO 11722:2013, literatura usada nesta pesquisa, tendo-se mostrado satisfatórios apenas para as amostras de plástico PET (com $W_M = 5,12\%$), as restantes amostras apresentaram valores acima da média indicada (com 8,88% para amostras de PEAD; 7,5% para amostras de PS e 6,98% para amostras de PEBD).

3.2.2. Teor de matéria volátil

A figura em 9 faz alusão dos resultados do teor de matéria volátil para as amostras de PET, PEAD, PEBD e PS.

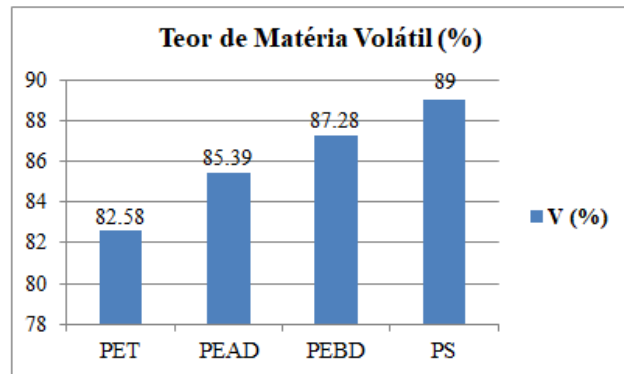


Figura 9: Teor de matéria volátil das amostras.

De acordo com a figura 9, o teor de matéria volátil nas amostras de plásticos analisadas aumenta na ordem de PET ao PS, sendo $V=82,58\%$ para as amostras de PET; $85,39\%$ para as amostras de PEAD; $87,28\%$ para amostras de PEBD e 89% para PS, respectivamente. De acordo com Blanco (2013), a matéria volátil de um combustível de resíduos representa a parte do combustível que se separa na forma de gases quando o combustível é submetido a um teste padrão de aquecimento. A norma ISO-1350-1984, recomenda valores de voláteis na faixa entre 5 a 70%, sendo assim, é necessário que esses valores sejam altos, pois, os voláteis são constituintes indesejados para os combustíveis, pelo facto destes reduzirem o seu poder calorífico. Na presente pesquisa, os resultados obtidos estão acima dos recomendados, portanto, pode-se dizer que as amostras de resíduos plásticos analisados apresentam um valor considerável, visto que, pelos valores apresentados, já é de se esperar que toda a matéria volátil seja libertada durante o processo de combustão, assim, estas amostras darão resultados satisfatórios.

3.2.3. Teor de Cinzas

A figura 10 que se segue ilustra os resultados obtidos na determinação do teor de cinzas nas quatro amostras de resíduos plásticos analisadas.

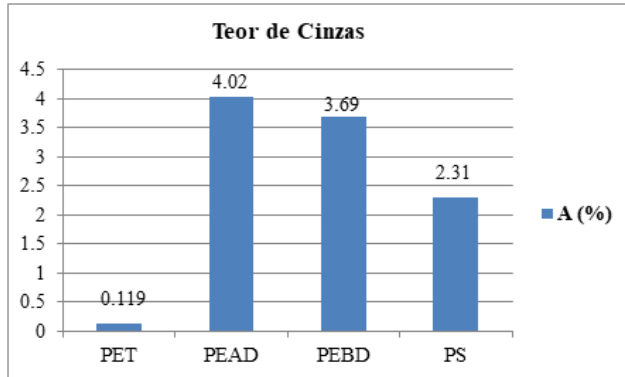


Figura 10: Teor de cinzas das amostras

Os resultados obtidos para este parâmetro mostraram que o teor de cinzas é maior na amostra de PEAD, com aproximadamente 4%, seguido pela amostra de PEBD com 3,69%, depois a amostra de PS com 2,31% e, por fim, a amostra de PET com apenas 0,119% de cinzas.

De acordo com Carvalho (2010) citado por Oshiro (2016), um bom combustível sólido deve ter um conteúdo de cinzas inferior a 3%. Portanto, nas amostras analisadas, apenas 3 estão em conformidade com essa referência, as amostras de PET, PEBD e PS. A amostra de PEAD apresentou nas análises realizadas 4% de cinzas, valor este que está acima do recomendado, assim sendo, esta amostra não será muito rentável como as outras três, pois altos teores de cinza levam à diminuição da eficiência do combustível, facto que afecta a transferência de calor.

3.2.4. Teor de Carbono fixo

Os resultados da análise do teor de carbono fixo mostram que as amostras de PET possuem maior teor de carbono fixo quando comparadas com as outras três amostras, tendo aproximadamente 12%, como pode ser verificado na figura 11.

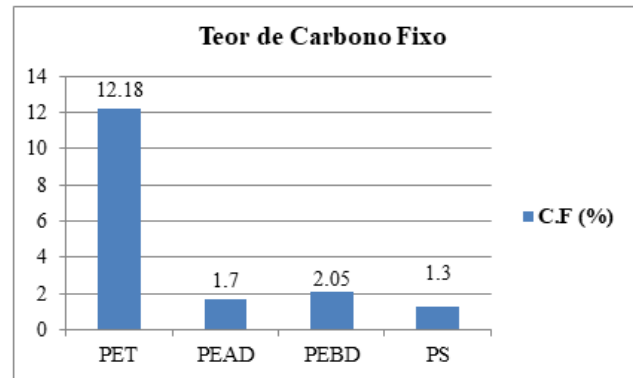


Figura 11: Teor de carbono fixo nas amostras

As amostras de PEBD apresentam 2% de teor de carbono fixo, as de PEAD 1,7% e, as amostras de PS com 1,3%. Portanto, baseando-se nesses resultados e nos recomendados pelas escrituras consultadas, pode-se afirmar que, as amostras de PET é que são as mais ideais para este parâmetro, isso porque possuem um valor maior. Assim, quanto maior o teor de carbono fixo, mais demorada é a queima, resultando num maior tempo de permanência no equipamento e consequentemente, um rendimento elevado.

3.2.5. Poder Calorífico Superior

Os resultados obtidos na determinação do poder calorífico superior das amostras revelam que as amostras de PET apresentaram valores de poder calorífico superior mais elevados quando comparado com as demais amostras, chegando a alcançar 6218, 1505 Kcal/kg, conforme a figura 12.

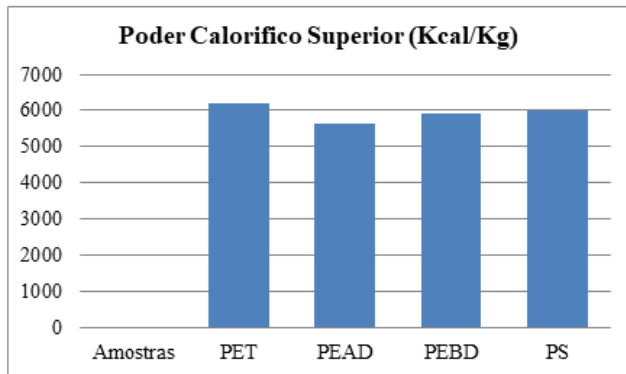


Figura 12: Poder calorífico superior das amostras

A amostra de PS apresentou para este parâmetro 5983,4713 Kcal/kg, seguido de PEBD com 5907,3782 Kcal/kg e, PEAD com 5652,4422 Kcal/kg. A pesquisa realizada por Oliveira, Campos e Assis (2019), sugere para resíduos plásticos, valores de PCS compreendidos na faixa entre 4100 a 10900 Kcal/kg. Portanto, sendo o poder calorífico um parâmetro que mede o potencial energético e serve como importante indicador, para se conhecer a capacidade energética de um dado combustível, constatou-se que os valores encontrados neste trabalho encontram-se dentro da faixa apresentada por esses autores. Assim sendo, os valores de PCS das amostras analisadas indicam que estas apresentam um potencial energético favorável.

4. Conclusões

Realizada a pesquisa, concluiu-se que a gestão de resíduos no Município de Manhiça ainda é deficiente, isso porque boa parte dos bairros periféricos não dispõe de algum sistema de recolha de resíduos, por isso, foi comum verificar a existência de vários depósitos clandestinos (lixeiros desconhecidas pela entidade municipal responsável pela gestão de resíduos, que geralmente são criadas pelos munícipes para o depósito de resíduos).

Com a caracterização física de RSU do município da Manhiça, constatou-se que estes resíduos são constituídos de matéria orgânica, papel, vidro, plástico, metal, têxtil e outros resíduos. Os

resíduos plásticos por sua vez são compostos por plásticos do tipo PET, PEAD, PEBD, PP, PVC, PS e OUTROS.

Constatou-se também que os RSU daquela área estudada são compostos por 65% de matéria orgânica, 11% de vidro, 9% de plástico, 4% de papel, têxtil e outros resíduos e, 3% de metais. Nos resíduos plásticos, constatou-se que 29% é referente a PET, 18% a PP e PEAD, 16% de PEBD, 6% de PS e PVC e, 7% de OUTROS resíduos.

Em relação aos ensaios de caracterização energéticas das amostras de resíduos plásticos, constatou-se que as amostras de PET são mais energéticas em relação às outras amostras, isso por terem revelado resultados mais satisfatórios, tendo apresentado maiores valores dos teores de matéria volátil e carbono fixo, no valor de 82,58% e 12,18% respectivamente. No entanto foram observados menores valores para os teores de humidade e cinzas, com percentagens aproximadamente a 5,12% e 0,119%, respectivamente. Enquanto, nas amostras de PEAD, foram verificados 8,88% de W_M ; 85,39% de V; 4,02% de A e 1,7% de CF. Para amostras de PEBD foram verificados os seguintes valores: 6,98% para o teor de W; 87,28% para V; 3,69% de A e 2,05% de CF. E, por último, para as amostras de PS foram obtidos 7,4% de W; 89% de V; 2,31% de A e 1,35% de CF.

Referências

- ANDRADE, Maria Margarida de. *Introdução à Metodologia do Trabalho Científico*. 10 ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- CAIXETA, Dalma Maria. *Geração de energia eléctrica a partir da incineração de lixo urbano: O caso de Campo Grande/MS*, 2005.
- CARNEIRO, Priscila Alves. *Análise das tecnologias para gestão e reaproveitamento energético dos resíduos*

- urbanos para reciclagem de plásticos*, Itajuba, 2009.
- CARVALHO, Elsa. Maria. *Metodologias para quantificação e caracterização física dos resíduos sólidos urbanos*. Lisboa, Dissertação de Mestrado, 2005.
- CORRÊA, Luiz Carlos. “*Alternativa para o Plástico: Reciclagem Energética.*” 2012.
- FILHO, José Antonio Poletto e POLETTO, Gustavo Cassettari. *Incineração com recuperação energética, uma alternativa para a destinação correcta do resíduo sólido urbano*. 2017.
- GOMES, S. et al., *Potencial energético de resíduos sólidos domiciliares do município de Ponta Grossa, Paraná*. 2017.
- ISO 1171:2010(E), Solid mineral fuels - Determination of ash.
- ISO 17246:2010(E), Coal – Proximate analysis.
- ISO 562:2010(E), Hard coal and coke- Determination of volatile matter.
- ISSO 687, Solid mineral fuels-Coke- Determination of moisture in the general analysis test samples.
- OLIVEIRA, L.F; CAMPOS, A,M e ASSIS, P. *Utilização de rejeitos plásticos na produção de coque metalúrgico*. 2019. <https://www.researchgate.net/publication/339115287>