

Alberto Arnaldo Boane

**Avaliação do Potencial Energético de Resíduos Sólidos Urbanos e Agrícolas:
Uma Contribuição para a Diversificação da Matriz Energética e Gestão
Sustentável dos Resíduos Sólidos**

Doutoramento em Energia e Meio Ambiente - DEMA

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2025

Alberto Arnaldo Boane

**Avaliação do Potencial Energético de Resíduos Sólidos Urbanos e Agrícolas:
Uma Contribuição para a Diversificação da Matriz Energética e Gestão
Sustentável dos Resíduos Sólidos**

Tese de Doutoramento a ser apresentada à coordenação do
Programa de Doutoramento em Energia e Meio Ambiente,
Departamento de Estudos e Tecnologias Ambientais (DETA)
Faculdade de Ciências Naturais e Matemática, sob supervisão de:

***Supervisor: Professor Catedrático António Armindo Rúben
Monjane***

Co-supervisor: Professor Doutor António José Guerner Dias

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2025

ÍNDICE

Lista de siglas, símbolos e abreviaturas	vi
Declaração de Honra.....	x
Dedicatória.....	xi
Agradecimentos.....	xii
Resumo.....	xiii
CAPÍTULO I.....	15
1.0. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Problematização	17
1.2. Delimitação do estudo	19
1.3. Justificativa e Relevância	20
1.4. Objectivos	23
1.4.1. Objectivo geral.....	23
1.4.2. Objectivos específicos.....	24
1.5. Questões científicas	24
1.6. Hipóteses.....	25
1.7. Estrutura da Tese.....	25
CAPÍTULO II.....	27
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	27
2.1. Estado da Arte.....	27
2.2. Resíduos sólidos: Contexto e conceitualização	34
2.3. Resíduos Sólidos Urbanos: Classificação e Composição física.....	35
2.4. Análise da Composição Física dos RSU.....	37
2.5. Resíduos de materiais Plásticos: Microplástico no Meio Ambiente.....	40
2.5.1. Origem e Definição do Plástico.....	40
2.5.2. Impactos Ambientais do Plástico.....	43
2.6. Resíduos Sólidos Agrícolas – RSA.....	46
2.6.1. Classificação e Tipos de Resíduos Sólidos Agrícolas – RSA.....	46
2.6.2. Impactos Ambientais de Resíduos Sólidos Agrícolas – RSA.....	48
2.7. Resíduos Sólidos Urbanos: Visão geral.....	50
2.7.1. Situação Global e Regional.....	50
2.7.2. Situação moçambicana.....	53
2.8. Resíduos Sólidos na Matriz Energética Mundial, Regional e Moçambicana.....	55
2.9. Parâmetros físicos dos combustíveis sólidos.....	58
2.10. Composição Química-elementar dos Combustíveis sólidos e Fundamentos da Espectroscopia de Raios-X por Dispersão em Energia (EDS).....	62

	iii
2.11. Potencial Calorífico de Combustíveis.....	65
2.12. Relação entre a Composição Física, Química e o Potencial Energético de Resíduos Sólidos.....	67
2.13. Tecnologias de Tratamento e Valorização Energética de Resíduos Sólidos (Waste to Energy).....	68
2.14. Incineração.....	70
CAPITULO III.....	73
3.0. METODOLOGIA.....	73
3.1. Caracterização da Pesquisa.....	73
3.2. Enquadramento Geográfico e Demográfico da Área de Estudo.....	73
3.3. Técnicas de Recolha de dados.....	76
3.4. Variáveis da pesquisa.....	81
3.5. Preparação da Amostra de laboratório.....	82
3.6. Análise laboratorial das amostras.....	83
3.7. Análise da composição química-elementar.....	85
3.8. Análise calorífica e energética.....	88
3.8.1. Determinação empírica dos Potenciais Caloríficos (PC) e Energéticos (PE) de Resíduos Sólidos.....	90
3.9. Análise da Viabilidade Técnica de Geração de Energia a partir de Resíduos.....	97
3.10. Projectão do Volume de Resíduos Sólidos (2025-2050).....	98
3.11. Determinação da População Beneficiária/Capacidade de Oferta.....	99
3.12. Categorização, Sistematização e Análise de Dados.....	100
CAPITULO IV.....	101
4.0. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	101
4.1. Resultados da observação presencial.....	101
4.2. Resultados da triagem preliminar de RSU.....	102
4.2.1. Resultados da Triagem aprofundada de Resíduos plásticos.....	102
4.2.2. Resultados da Triagem de RSA.....	108
4.3. Resultados da Análise Laboratorial (RSA e Resíduos plásticos).....	109
4.3.1. Resultados da Análise Proximal Imediata.....	109
4.4. Resultados da Análise Elementar e micrográfica.....	129
4.4.1. Resíduos Agrícolas.....	129
4.4.2. Resíduos de Plásticos.....	133
4.5. Resultados da análise micrográfica de resíduos.....	137
4.5.1. Resíduos sólidos agrícolas.....	138
4.5.2. Resíduos plásticos.....	139
4.6. Resultados da Análise Energética.....	141
4.7. Análise da Correlação entre a Composição Elementar e o Potencial Energético.....	146
4.8. Análise da Viabilidade Técnica.....	148
CAPITULO V.....	154
5.0. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES.....	154
5.1. Conclusões.....	154
5.2. Limitações do Estudo.....	155
5.3. Sugestões.....	155
BIBLIOGRAFIA.....	158
APÊNDICES.....	179

DIAGRAMAS

Diagrama 1: Diagrama de Classificação de Resíduos	36
Diagrama 2: Descrição do processo de recolha, triagem e quantificação de Resíduos	79
Diagrama 3: Protocolo de análise calorífica e energética dos resíduos	89
Diagrama 4: Protocolo analítico laboratorial geral do trabalho	96

FIGURAS

Figura 1: Exemplos de Resíduos Sólidos Urbanos	38
Figura 2: Simbologia e Classificação de Plásticos	42
Figura 3: Mapa mundial de Resíduos Plásticos	52
Figura 4: Mapa da província de Maputo.....	74
Figura 5: Processo de recolha, triagem e quantificação de RSU-plásticos.....	79
Figura 6: Materiais plásticos seleccionados para análise no laboratório.....	80
Figura 7: Processo de recolha, triagem e quantificação de RSA.....	80
Figura 8: Materiais agrícolas seleccionados para análise no laboratório.....	81
Figura 9: Protocolo de análise imediata de RSA e resíduos plásticos.....	85
Figura 10: Protocolo de análise elementar RSA e resíduos plásticos.....	87
Figura 11: Protocolo de análise calorífica de RSA e RSU.....	89
Figura 12: Estruturas micrográficas de RSA.....	137
Figura 13: Estruturas micrográficas de resíduos plásticos.....	138
Figura 14: Análise da correlação densidade, estrutura da cadeia, estrutura micrográfica e potencial energético	140

GRÁFICOS

Gráfico 1: Matriz energética mundial a base de RS	55
Gráfico 2: Variação da Temperatura durante a análise calorífica e energética	90
Gráfico 3: Resultados da triagem e quantificação de RSU por centro de triagem	102
Gráfico 4: Resultados globais da triagem e quantificação de RSU	103
Gráfico 5: Resultados da triagem aprofundada e quantificação de resíduos plásticos por centro de amostragem.....	105
Gráfico 6: Resultados globais da triagem e quantificação de resíduos de plásticos	107
Gráfico 7: Resultados da triagem de RSA orgânicos	108
Gráfico 8: Resultados da análise imediata do amendoim	110
Gráfico 9: Resultados da análise imediata do feijão	113
Gráfico 10: Resultados da análise imediata do milho	115
Gráfico 11: Resultados da análise imediata do PP	118
Gráfico 12: Resultados da análise imediata do PEBD	120
Gráfico 13: Resultados da análise imediata do PEAD	122
Gráfico 14: Resultados da análise imediata do PS	124

Gráfico 15: Resultados da análise imediata do PET	126
Gráfico 16: Resultados da análise da correlação entre composição elementar e o valor energético de RSA e resíduos de plásticos do Porto	146
Gráfico 17: Resultados de análise da correlação entre a composição elementar e o valor energético de RSA e resíduos de plásticos de Maputo	147
Gráfico 18: Resultados da análise da correlação entre a composição elementar e o valor energético de RSA e resíduos de materiais plásticos do Porto	147
Gráfico 19: Resultados de análise da correlação entre a composição elementar e o valor energético de RSA e resíduos de materiais plásticos de Maputo.....	147

TABELAS

Tabela 1: Maiores produtores de resíduos de plásticos do mundo.....	41
Tabela 2: Classificação de resíduos sólidos agrícolas.....	46
Tabela 3: Estimativas de produção de RSU domésticos por província moçambicana em ton/ano	54
Tabela 4: Apresentação dos pontos de amostragem por região	61
Tabela 5: Metodologias de referência utilizadas na triagem e análise de física de resíduos	64
Tabela 6: Modelos matemáticos usados na análise imediata de resíduos	66
Tabela 7: Métodos de referência usados na análise laboratorial dos resíduos	76
Tabela 8: Cenários definidos para a incineração das misturas de resíduos.....	85
Tabela 9: Valores de consumo médio per capita de energia eléctrica por categoria habitacional	94
Tabela 10: Valor de acuracidade definidos para as medições.....	99
Tabela 11: Pontos de amostragem definidos nos centros de campanhas.....	100
Tabela 12: Resultados da comparação da composição dos RSA	117
Tabela 13: Resultados da comparação da composição de resíduos de plásticos..	128
Tabela 14: Resultados da análise da correlação entre a composição elementar e os teores de cinzas de RSA	131
Tabela 15: Resultados da correlação entre a composição imediata e teores de cinzas de resíduos de plásticos.....	135
Tabela 16: Resultados da análise elementar de resíduos plásticos	151
Tabela 17: Resultados da análise da relação entre a composição elementar e imediata dos resíduos plásticos	153
Tabela 18: Relação entre a composição imediata e o potencial calorífico de RSA.	153
Tabela 19: Resultados da análise da relação entre a composição imediata e o potencial energético de resíduos plásticos.....	153
Tabela 20: Projectão da taxa de geração de energia eléctrica com base em resíduos plásticos (205-2050).....	153
Tabela 21: Estimativa do número de famílias a serem abastecidas no ano 2025 ..	153
Tabela 22: Estimativa do número de famílias a serem abastecidas no ano 2050 ..	153

Lista de Siglas, Símbolos e Abreviaturas

ABEPET – Associação Brasileira de Embalagens PET

Ad/Cz – Cinzas

AIE/IEA – Agência Internacional de Energia

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

ASTM – American Society for Testing and Materials

BM – Banco Mundial

BP – Bio Plástico

BS – Bharat Standards

CENT – Comissão Europeia de Normas Técnicas

CF – Carbono Fixo

CMCM – Conselho Municipal da Cidade de Maputo

DGQA – Direcção Geral de Qualidade do Ambiente

DUL – Desenvolvimento Urbano Local

EC – Economia Circular

ECO – Environmental Conference of Parts

EDM – Electricidade de Moçambique

EDS – Electronic Dispersive X-ray Spectroscopy

EE – Energia Eléctrica

ELLD – Energia Eléctrica Líquida Distribuível

EPA – Environmental Protection Agency

ERRA – European Recovery and Recycling Association

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

EU/UE – União Europeia

FORSU – Fracção Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos

FUNAE – Fundo Nacional de Energia

ICS – International Classification Standards

INE – Instituto Nacional de Estatística

INR – Instituto Nacional de Resíduos

ISO – International Organization for Standardization

kW – Quilowatt

kW/h – Quilowatt por Hora

LER – Lista Europeia de Resíduos

LRG – Lixeira com Recuperação de Gás

MAE – Ministério de Administração Estatal

Map – Massa anual de plástico

Mdp – Massa diária de plástico

MdRSU – Massa Diária de Resíduos Sólidos Urbanos

Mdtp – Massa diária total de plástico

MEV – Microscopia Electrónica de Varrimento

MODECOM – Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères

MRp – Massa de Resíduos Plásticos

MTA – Ministério da Terra e Ambiente

MTP – Massa Total de Plásticos

Mun – Município

MW – Mega Watt

η – Eficiência de conversão eléctrica

NBR – Normas Brasileiras

NFB – Número de Famílias Beneficiárias

ODS – Objectivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PCB – Printed Circuit Board

PCI/VCI – Poder Calorífico Inferior

PCS/VCS – Poder Calorífico Superior

PDUL – Programade Desenvolvimento Urbano Local

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PET – Polietileno Tereftalato

PGE – Potencial de Geração Eléctrico

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PP – Polipropileno

PRE- Potencial de Recuperação Energética

PS – Poliestireno

Q_{Waste} – Quantidade de resíduos sólidos

REEE – Resíduos de Equipamento Eléctrico e Electrónico

REN – Rede Eléctrica Nacional

RS – Resíduos Sólidos

RSA – Resíduos Sólidos Agrícolas

RSD – Resíduos Sólidos Domiciliares

RSM – Resíduos Sólidos Municipais

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SCRVR – Serviço Convencional de Recolha e Valorização de Resíduos

Sdev – Desvio padrão

SEM – Scanning Electron Microscopy

SWA – Solid Waste Analysis

SWOT – Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats

TAP – Taxa Anual de Crescimento da População

TAR – Taxa Anual de Geração de Resíduos

Tdc – Total diário de consumo

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

USEPA – United States Environmental Protection Agency

Vd/MV – Matéria Volátil

VFV – Veículos em Fim da Vida

W – Humidade

Wi – Quantidade de lixo por categoria

WTE – Waste to Energy

WTF – Waste to Fuel

WWF – World Wild Fund for Nature

RSH – Resíduos Sólidos Hospitalares

RFE – Resíduos de Fluxo Especial

RSI – Resíduos Sólidos Industriais

RS – Resíduos Sólidos

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Alberto Arnaldo Boane, declaro por minha honra que a presente Tese de Doutoramento resultou de uma pesquisa levada a cabo na Universidade Pedagógica de Maputo - Faculdade de Ciências Naturais e Matemática e Universidade de Porto - Faculdade de Ciências por mim, em coordenação com os meus supervisores. Juro que, a mesma nunca foi defendida ou publicada dentro das instituições acima mencionadas nem em nenhuma outra instituição, tanto de ensino como de pesquisa.

Ela corresponde à sistematização do processo investigativo levado a cabo por nós, desde a identificação do problema, a fundamentação até aos resultados do estudo, estando suportado num referencial teórico específico da área cujas obras consultadas estão devidamente citadas no corpo do texto e apresentadas na bibliografia.

Maputo, Julho de 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alberto A. Boane', written in a cursive style.

(Alberto Arnaldo Boane)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em primeiro lugar aos meus falecidos pais, Arnaldo Mungone Boane, Virgínia Bunzucana Xirindza e Cristina João Mulima, pela educação primária que me deram, para na base dela saber ser, saber estar e saber conviver com ética e empatia com outros diferentes ou iguais a mim. Infelizmente, não puderam viver para testemunhar esta fase alcançada pelo filho que nasceram e criaram com tanto sacrifício no meio de várias e complexas dificuldades.

Quero também alastrar a minha dedicatória à minha família: Sheila Momade, Edna Munambo, Yumna de Helgina Arnaldo Boane, Anayka Mímona Alberto Boane, Áquila Mímona Alberto Boane, Ailyn Mímona Alberto Boane e Albert Arnaldo Boane Jr., para os quais não poupo esforços de batalhar diariamente com vista a garantir-lhes uma vida e futuro melhores.

AGRADECIMENTOS

Quero usar esta oportunidade para agradecer em primeiro lugar à Deus, pelo dom da vida, sabedoria e capacidade de raciocínio lógicos a partir dos quais consigo escrever e analisar diferentes situações com criatividade e conhecimento e sabedoria.

Este agradecimento alastra-se para toda a minha família, colegas e amigos que directa ou indirectamente deram o seu contributo moral, material e psicológico para que hoje eu possa ter em minhas mãos este documento que resultou de tanto trabalho e sacrifício, sempre apoiando em ideias e palavras de encorajamento num ambiente amigável.

Pelo relevo e reconhecimento deixo para este parágrafo o meu especial e sincero agradecimento aos meus supervisores, Professor Catedrático António Armindo Rúben Monjane e Professor Doutor António José Guerner Dias, pela paciência e dedicação para o alcance dos objectivos deste estudo.

Agradecimentos estendem-se aos meus amigos e irmãos do outro continente, o Prof. Doutor Renato Guimarães (Portugal - Porto), Mestre Jean Piero (Itália - Roma), Prof. Doutor Paulo Sebastião (Moçambique - Tete), pela atenção e apoio prestados durante todo o processo no Laboratório de Geologia e o apoio técnico prestado em todo o processo de análise de dados no âmbito do Estágio Científico Avançado na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Agradeço imensamente ao Prof Doutor Luís Belchior e ao Prof. Doutor Carlos Lima, à Mestre Cândida Garcia e ao Mestre Amândio António pela prontidão e paciência para ensinar apoiar incondicionalmente durante a estadia nos Laboratórios de Química Física e no MEV/EDS, assim como todo o apoio técnico prestado, o meu muito obrigado por tudo.

Agradeço de igual forma à toda equipa de coordenação do Projecto Mobile2BE e ao pessoal técnico do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, assim como ao da Reitora da Universidade do Porto pelo apoio prestado para conseguir efectivar o meu estágio com sucesso na FCUP, muito obrigado.

RESUMO

O processo de gestão de RSU nas cidades moçambicanas é um desafio que requer uma atenção especial de todos os actores da sociedade, pois, os resíduos gerados quando não são devidamente geridos constituem um problema de saúde pública generalizado. Os resíduos produzidos e não aproveitados contribuem para a contaminação do ar, solos, cursos de água, sistemas de drenagem e do oceano. A presente pesquisa teve como objectivo *avaliar o potencial energético de resíduos plásticos e alguns resíduos agrícolas gerados e descartados na zona urbana e zona rural sem nenhum aproveitamento*. O estudo usou uma metodologia embasada no paradigma anarquista efectivado pelo método experimental com abordagem quantitativa. A amostragem utilizada foi não probabilística baseada nos protocolos MODECOM - 1998 para resíduos de material plástico (RSU) e SWA-Tool - 2004 para biomassas (RSA). A determinação do potencial energético dos resíduos seguiu três fases: *i. análise proximal* (Humidade, Cinzas, Voláteis e Carbono Fixo) pelo método do Forno; *ii. análise elementar (composição química)* pelo método SEM/EDS - *Scanning Electron Microscope / Energy-dispersive X-ray spectroscopy*) e *iii. análise calorimétrica* (potencial calorífico) pelo método da Bomba calorimétrica. Com base nos resultados destas análises, foram determinados empiricamente os Valores Caloríficos Inferior (VCI) e o Valor Calorífico Superior (VCS) dos resíduos. Os Potenciais de Recuperação Energética (P_{RE}) e de Geração Eléctrica (P_{GE}) foram determinados também empiricamente por modelação matemática. Os resultados da análise do potencial energético dos RSA encontrados são: *amendoim* (19.342 J/g); *milho* (14.877 J/g); *feijão* (5.559 J/g). Os resultados da análise do potencial energético dos RSU encontrados são: *Polietileno de alta densidade* (PEAD) (47.459 J/g); Polipropileno (PP) (45.276 J/g); Poliestireno (PS) (41.239 J/g); Polietileno de baixa densidade (PEBD) (40.300 J/g) e Polietileno tereftalato (PET) (24.128 J/g). Com vista a aferir a influência da origem no potencial energético dos resíduos fez-se uma comparação com resíduos semelhantes de diferentes origens, sob mesmas condições de amostragem e de análise. Desta comparação constatou-se que, os RSU de Maputo analisados são mais energéticos que os do Porto. Contrariamente, os RSA do Porto analisados são mais energéticos que os RSA de Maputo. Com base nestes resultados pode-se concluir que, o amendoim é mais energético em relação ao milho e feijão, em todas as amostras, enquanto o PEAD é mais energético em relação a outros plásticos estudados. Concluiu-se também que, os RSU possuem maior potencial energético em relação aos RSA. Estas conclusões permitem inferir que, os RSU e RSA possuem um alto potencial calorífico para uso na geração de electricidade através de Tecnologias WTE, especificamente a *incineração* de seus componentes individuais ou de misturas em proporções pré-estabelecidas, o que significa que a origem e o tipo de resíduo sólido afectam o seu potencial energético.

Palavras-chave: *Potencial energético, resíduos sólidos, saneamento urbano, energia renovável.*

ABSTRACT

The process of managing MSW in Mozambican cities is a challenge that requires special attention from all actors in society, since the waste generated when not properly managed constitutes a widespread public health problem. The process of managing MSW in Mozambican cities is a challenge that requires special attention from all actors in society, since the waste generated when not properly managed constitutes a widespread public health problem. The waste generated and unused contributes to the contamination of air, soil, waterways, drainage systems and the ocean. The present research aimed to evaluate the energy potential of plastic waste and some agricultural waste generated and discarded in urban and rural areas without any use. The study used a methodology based on the anarchist paradigm implemented by the experimental method with a quantitative approach. The sampling used was non-probabilistic based on the MODECOM - 1998 protocols for plastic material waste (RSU) and SWA-Tool - 2004 for biomass (RSA). The determination of the energy potential of the waste followed three phases: i. proximal analysis (Moisture, Ash, Volatiles and Fixed Carbon) by the Oven method; ii. elemental analysis (chemical composition) by SEM/EDS method - Scanning Electron Microscope / Energy-dispersive X-ray spectroscopy) and iii. calorimetric analysis (calorific potential) using the Carimetric Bomb method. Based on the results of these analyses, the Lower Calorific Value (LCV) and Upper Calorific Value (HCV) of the waste were empirically determined. The Energy Recovery Potential (PRE) and Electric Generation Potential (PGE) were also determined empirically by mathematical modeling. The results of the analysis of the energy potential of the RSA found are: peanuts (19.342 J/g); corn (14.877 J/g); beans (5.559 J/g). The results of the analysis of the energy potential of MSW found are: High density polyethylene (HDPE) (47.459 J/g); Polypropylene (PP) (45.276 J/g); Polystyrene (PS) (41.239 J/g); Low density polyethylene (LDPE) (40.300 J/g) and Polyethylene terephthalate (PET) (24.128 J/g). In order to assess the influence of origin on the energy potential of waste, a comparison was made with similar waste from different origins, under the same sampling and analysis conditions. From this comparison it was found that the MSW from Maputo analyzed is more energetic than that from Porto. Conversely, the analyzed Porto RSAs are more energetic than the Maputo RSAs. Based on these results, it can be concluded that peanuts are more energetic than corn and beans, in all samples, while HDPE is more energetic than other plastics studied. It was also concluded that RSU has a higher energy potential than RSA. These conclusions allow us to infer that MSW and RSA have a high calorific potential for use in electricity generation through WTE Technologies, specifically the incineration of their individual components or mixtures in pre-established proportions, which means that the origin and type of solid waste affect its energy potential.

Keywords: *Energy potential, solid waste, urban sanitation, renewable energy.*

CAPÍTULO I

1.0. INTRODUÇÃO

A demanda por energia, em muitos países de África subsaariana, tornou-se inimaginável nos últimos anos, apesar do alto potencial em recursos naturais energéticos, fósseis e renováveis, disponíveis no continente.

Esta demanda continua longe de ser satisfeita, devido a factores tais como: crescimento populacional desregulado, aumento dos níveis de consumo de energia, deficiente investimento económico no sector de tecnologias de geração de energia, deficiente política de ordenamento territorial e a fraca pesquisa científica neste sector estratégico (ROYA *et al.*, 2019; DAS *et al.*, 2022).

Em Moçambique, por exemplo, até 2021, apenas cerca de 75% da população urbana e 5% da população rural, tinha acesso à energia eléctrica convencional que, apesar desta cobertura, era considerada de baixa qualidade em muitos casos (MARAFON, 2017).

Deste modo, Martins & Ventura (2020) alertam que *apesar dos esforços actuais do Governo em prover electricidade à todos, se medidas urgentes não forem tomadas*, este cenário comprometerá o alcance das metas do sétimo (7º) Objectivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas assim como o 7º Objectivo da Agenda 2063 da União Africana.

No primeiro caso, as Nações Unidas (NU) projectam um acesso integral à energia acessível de qualidade e renovável para todos até 2030, enquanto no segundo caso, a União Africana (UA) prevê que até 2063 a África deve ser um continente ambientalmente sustentável, atingir a resiliência ambiental e económica das comunidades através do uso responsável de fontes energéticas disponíveis e, portanto, ambas têm a sustentabilidade como agenda comum.

Paralelamente, a população moçambicana gera diversificada e significativa quantidade de resíduos agrícolas e urbanos, como resultado das actividades agrícolas, pecuárias e comerciais.

De acordo com Gani *et al.* (2021) e Ministério da Terra e Ambiente (MTA) (2021), *só no período 2007 – 2017, a geração de resíduos em Maputo, aumentou de 319.010 toneladas para 43.4000 toneladas, um crescimento na ordem de 36%*

correspondente a 115.000 toneladas em 10 anos e espera-se que isto piore nos próximos anos.

Desde então, assistiu-se a um crescimento expressivo da população tanto rural quanto urbana e também da geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) até à data, podendo constituir um problema de saúde pública generalizado caso medidas estratégicas não sejam tomadas pontualmente.

Conforme Heberle & Konrad (2018) se, as cidades continuarem a crescer no actual ritmo até 2050 e nada for feito em relação aos resíduos sólidos, o cumprimento das metas do sexto (6º) ODS das NU, que preconiza “*assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos até 2030*”, será inevitavelmente comprometido e os problemas ambientais, tais como: contaminação dos cursos de água, dos solos e dos lençóis freáticos crescerá na mesma proporção perigando a saúde pública e ambiental.

Paralelamente, o 6º objectivo da UA também prevê garantir até 2063, um crescimento económico do continente acentuado através da promoção da economia azul, o que significa reduzir ou eliminar todas as formas de poluição do mar e oceanos por resíduos, assim como promover uma saúde e bem-estar de alto padrão.

Um melhor aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos, seria a sua utilização para fins energéticos, sendo para tal necessário que haja um eficiente sistema de gestão dos mesmos, que permita a realização de operações unitárias de triagem para esta finalidade.

Estas operações envolvem a: recolha selectiva, triagem e avaliação do potencial energético desses resíduos, para a recuperação dos que possuem um potencial energético atractivo como matéria-prima na geração de energia limpa e renovável, uma prática quase inexistente, particularmente, em Maputo e em Moçambique no geral.

A conversão directa destes resíduos em energia, pode ser feita através de Tecnologias *Waste to Energy* (WTE) como a *incineração, fermentação, biodigestão anaeróbica, combustão, pirólise, gaseificação* e outras, como alternativas energéticas (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Define-se como tecnologia *Waste to Energy* (WTE), *toda a tecnologia utilizada para transformar os resíduos em energia de forma directa ou para a geração de materiais e derivados potencialmente energéticos utilizáveis nos processos de geração ou de consumo de energia* (ADEROJU *et al.*, 2017).

A utilização das WTE na geração de energia e valorização de resíduos contribui para a redução do impacto ambiental dos resíduos, assim como para a diversificação das fontes energéticas, rumo à efectivação das metas dos ODS 6, 7, 14 e 15 das NU e 3, 6 e 7 da UA (PEDROZA *et al.*, 2017; FIGUEREDO *et al.*, 2020).

Infelizmente, apesar de reconhecido o seu contributo económico e ambiental, estas tecnologias não são devidamente exploradas em Moçambique, por falta de políticas públicas robustas de recolha selectiva de resíduos, fraca divulgação das pesquisas realizadas e fraco investimento na diversificação de fontes energéticas, (CUNGUARA & DARNHOFER, 2016; DAS *et al.*, 2022).

Assim, é neste contexto que esta pesquisa procura *avaliar o potencial energético de resíduos de materiais plásticos e agrícolas e, ao mesmo tempo, contribuir como estratégia de saneamento urbano e valorização energética de resíduos sólidos*. O objecto de estudo enquadra-se na linha: *Tecnologias Sustentáveis de Geração de Energia*, em vigor no Departamento de Estudos de Tecnologias Ambientais.

1.1. Problematização

A Revolução Industrial do Século XIX contribuiu, massivamente, para o aumento da produção e produtividade em diferentes sectores vitais para a sociedade, incrementando também a demanda por energia, outrora proveniente, quase que em exclusivo, de fontes fósseis poluentes, propiciando a geração de resíduos nas urbes, subúrbes e zonas rurais (TEIXEIRA *et al.*, 2016).

Paralelamente, o aumento expressivo da população nos últimos 20 anos, conjugado com o crescimento do parque industrial, com a produção agrícola e pecuária e a intensificação do comércio e o crescimento das cidades moçambicanas, associados ao deficiente sistema de gestão de RSU, contribuíram para o aumento do volume diário e anual de diferentes tipos de resíduos (CHEN *et al.*, 2018; MTA, 2020; ADEROJU *et al.*, 2020).

Em áreas urbanas, os principais resíduos gerados são, especificamente, *embalagens plásticas, papelão, resíduos orgânicos biodegradáveis, que são*

descartados em locais não adequados colocando em causa a saúde pública (MARTINS & VENTURA, 2020).

Em áreas rurais, onde se pratica agricultura de subsistência, são gerados resíduos agrícolas diversos, com destaque para a Biomassa sólida (restos de colheita) que permanecem nas áreas de produção sem nenhum tratamento.

Nalguns casos, uma pequena parte destes resíduos é usada como fertilizante abandonado nas áreas de produção, como prática milenar, mas há o perigo de estes contribuírem para a redução da produtividade dos solos, devido à sua composição química diversificada que pode incluir elementos potencialmente tóxicos (EPT), em particular metais pesados (MOZANI *et al.*, 2017).

Dados de relatórios do Ministério da Terra e Ambiente (MTA), indicam que em Moçambique muitos projectos de saneamento urbano são desenvolvidos com vista a melhorar o processo de gestão de resíduos urbanos, mas, apesar de identificarem os problemas na gestão de resíduos e propor soluções estratégicas para colmatá-los, não definem de forma clara nenhuma acção de uso destes para fins energéticos (MTA, 2023).

Como consequência, enquanto por um lado, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) mal descartados contribuem para a *alteração da estética urbana e constituem focos de doenças como malária, cólera, gripes, cancro de pele, contaminação de cursos hídricos por micro plásticos*, por outro lado, os resíduos agrícolas não aproveitados nas áreas de produção constituem um desperdício de matéria-prima e fontes de contaminação de solos que culmina com a redução da produtividade agrícola (ANATER *et al.*, 2019; LOURENÇO *et al.*, 2023).

Infelizmente, as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) pela biodegradação da Fracção Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU), juntamente com os gases e material particulado resultantes da queima da maior parte do material têxtil e resíduos plásticos dos RSU nos Centros de descarte (lixeiros e contentores) nas cidades, constituem a principal fonte de emissão de Dióxido de Carbono, Metano e outros Gases de Efeito Estufa (AIE, 2017; FALCÃO, 2022).

O consumo de energia, com origem não renovável, em zonas rurais e urbanas de Moçambique tem crescido significativamente nos últimos anos, motivado pelo expressivo crescimento populacional, sendo que, apenas em 2014, foi registado um

consumo na ordem de 427,6 *kWh/capita* (Associação Lusófona para Energias Renováveis – ALER, 2017).

Diante desta problemática, mostra-se urgente a busca de alternativas sustentáveis de geração de energia limpa e renovável, tendo-se como premissa a recolha selectiva de resíduos e a sua avaliação energética por WTE (COSSA, 2016; MORURA *et al.*, 2020).

É neste contexto que se desenvolveu a presente pesquisa, orientada para responder a seguinte questão de partida:

Qual é o potencial energético dos resíduos de materiais plásticos (Polietileno Tereftalato - PET, Polipropileno - PP, Poliestireno - PS, Polietileno de alta densidade - PEAD e Polietileno de baixa densidade - PEBD) e resíduos agrícolas (pé-de-feijoeiro, caroço-de-milho e cápsula-de-amendoim), gerados na área urbana e rural em Maputo?

1.2. Delimitação do estudo

A presente pesquisa insere-se na área de Energias Renováveis, Linha de Tecnologias Sustentáveis de Geração de Energia, com ênfase para a valorização energética de resíduos como parte da solução sustentável e integrada de gestão de resíduos e diversificação da matriz energética no meio urbano e rural em Moçambique.

O estudo avaliou e comparou, exclusivamente, o potencial energético de materiais plásticos (Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), Poli Estireno (PS), Poli Propileno (PP) e Polietileno Tereftalato, (PET), doravante designados por Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e de alguns resíduos agrícolas, (pé-do-feijoeiro, cápsula-de-amendoim e caroço-de-milho) doravante designados por Resíduos Sólidos Agrícolas (RSA).

Ademais, a pesquisa avaliou a composição física dos RSU e RSA de Maputo.

Avaliou-se também a viabilidade técnica e ambiental da geração de energia a partir de resíduos sólidos, definindo-se três cenários (*pessimista, moderado e otimista*) para a modelação da taxa de geração de resíduos plásticos e o potencial de geração de energia por materiais plásticos no período 2025-2050, considerando como parâmetros o *volume anual de resíduos plásticos, a taxa anual de crescimento da*

população e de resíduos em Maputo neste período. A comparação dos resultados de ambas origens foi exclusivamente considerada para analisar a influência da origem na composição física, química, micrográfica e no potencial energético dos resíduos e não a variabilidade dos resíduos nos centros de geração e descarte, o que foi feito apenas para Maputo.

1.3. Justificativa e Relevância

A ausência de uma política adequada para uma gestão sustentável de RSU, faz com que as comunidades rurais e urbanas continuem com as práticas tradicionais de gestão de RSU, como a incineração e descarte em lixeiras a céu aberto e em aterros sanitários, assim como o enterro (FALCÃO, 2022).

Por outro lado, verifica-se uma escassez de pesquisas aprofundadas sobre a valorização energética de resíduos sólidos a nível nacional, aliado ao facto de os poucos estudos existentes não enfatizarem a utilização de resíduos de materiais plásticos.

Ademais, os estudos realizados pouco abordam sobre os resíduos sólidos agrícolas, como materiais de elevado valor para a geração de energia limpa, como estratégia para a sua gestão sustentável, o que contribui no subaproveitamento destes materiais ricos em energia química.

Esta deficiência contribui de alguma forma no subaproveitamento destes resíduos e favorece a sua acumulação excessiva em locais impróprios. De igual modo, esta situação incentiva a abertura de mais lixeiras e “ilhas” de lixo, conforme descrito anteriormente, colocando desta forma em risco a saúde pública.

Deste modo, espera-se que, os resultados desta pesquisa possam trazer um contributo significativo para o alcance, em primeira instância, das metas do ODS 7 (energias renováveis e acessíveis) e do ODS 6 (água potável e saneamento) e, em segunda instância, no alcance das metas do ODS 14 (proteger a vida marinha) e ODS 15 (proteger a vida terrestre).

No primeiro caso, ODS 7, espera-se que o estudo demonstre a potencialidade energética de resíduos propondo o seu uso na geração de energia renovável e acessível para todos.

Relativamente ao ODS 6, espera-se que o estudo demonstre de forma clara o contributo ambiental do reaproveitamento energético de resíduos, como estratégia

de saneamento do meio e garantia de um ambiente livre de resíduos e lixeiras a céu aberto.

As vantagens e resultados obtidos pela execução das estratégias do ODS 7 e ODS 6 serão, sem dúvida constituem a principal ferramenta para minimizar o volume de plástico descartado nos cursos de água, reduzindo assim o impacto deste material nos ecossistemas marinho e terrestre, que tende a intensificar-se, a cada dia que passa, na forma de micro plásticos.

Dados de um estudo realizado pelo Banco Mundial (BM) em 2019, indicam que, “o crescimento anual mundial de geração de resíduos sólidos urbanos situava-se na ordem de 8%, de resíduos/ano, cerca de 1.2 kg/(capita.dia) (SILVA, 2018; BM, 2019; CARVALHO, 2022).

Aliado ao crescimento expressivo da população está a mudança da cultura e hábitos alimentares, o aumento da capacidade de compra, o surgimento de novos serviços e produtos, a massificação do comércio informal e a industrialização da agricultura e o aumento do consumismo.

Este consumo pode ser considerado significativo e insustentável, tendo em conta que a população mundial em geral e a moçambicana em particular, tende a crescer de forma expressiva e a pressão sobre os recursos energéticos fósseis, poluentes e esgotáveis, será paralelamente expressiva nos próximos anos (REIS & MARTINS, 2022; MOREIRA *et al.*, 2023).

Este cenário contribui directamente no aumento expressivo de resíduos, com destaque para embalagens plásticas, tanto na zona urbana quanto na zona rural, caso não se adoptem medidas urgentes e sustentáveis (HENRIQUES *et al.*, 2017; INE, 2017; VALE *et al.*, 2019).

A maior parte da população moçambicana vive nas zonas rurais e suburbanas e não está ligada à Rede Eléctrica Nacional (REN), recorrendo à biomassa lenhosa para satisfazer as suas necessidades em energia (LOPES, 2020; INE, 2022).

A utilização de Biomassa de segunda linha (subprodutos da utilização da matéria-prima primária) para a geração de energia, constitui uma prioridade para pesquisadores da área de energia e ambiente, especificamente através do uso de estratégias e tecnologias *Waste to Energy* (WTE) pois, para além do uso de matéria-prima não concorrente, o seu reaproveitamento constitui uma estratégia de gestão

sustentável de resíduos sólidos (RS) (PINHEIRO, 2005; ADEROJU *et al.*, 2018; LOURENÇO *et al.*, 2023).

Assim, o aproveitamento destes resíduos, não só contribuirá para a geração de energia limpa, fornecendo bases para a diversificação da matriz energética local ou nacional, como também fornecerá ferramentas para uma gestão sustentável destes resíduos, permitindo a execução das estratégias da Economia Circular no contexto das Agendas 2030 das Nações Unidas (NU) e 2063 da União Africana (UA).

Especificamente, espera-se que esta pesquisa tenha o seu contributo em cinco principais dimensões:

❖ **Teórica**

No campo tecnológico, a pesquisa poderá gerar resultados que preencherão o défice teórico existente na área de geração de Bioenergias de segunda linha (energia proveniente de resíduos) através de matéria-prima não concorrente em geral e em Moçambique em particular, assim como fornecerá uma ferramenta analítica de orientação para gestores municipais do sector de salubridade.

❖ **Prática**

Os resultados desta pesquisa poderão otimizar a actual tecnologia de reaproveitamento e valorização de resíduos com base na adopção de tecnologia de incineração, análise do valor calorífico e potenciais de geração e recuperação energética, assim como o desenvolvimento de uma base de dados sobre o potencial de geração de energia com base em resíduos.

❖ **Social**

A má gestão dos resíduos nas áreas urbanas constitui um problema de saúde pública e ambiental global, devido ao deficiente sistema de gestão e saneamento enquanto, no contexto rural, a não recolha de RS pode contribuir para a poluição de solos e redução da produtividade agrícola.

Deste modo, os resultados desta pesquisa podem servir de base para incentivar os gestores da área de salubridade dos municípios estudados no desenvolvimento e reformas das actuais políticas de gestão de RSU nas cidades e de valorização energética de RSA aos agricultores.

A melhoria das acções de recolha e triagem de resíduos, com base no incentivo e investimento no mercado de resíduos sólidos, pode culminar com o crescimento das taxas de reciclagem e de geração de empregos directos e indirectos aos catadores que alimentam as pequenas empresas de reciclagem, bem como na redução de riscos de exposição às doenças causadas por acúmulo inapropriado de resíduos em áreas urbanas.

❖ **Ambiental**

Do ponto de vista ambiental, o uso de resíduos para a geração de energia constitui uma estratégia eficaz de gestão ambiental e melhoramento do saneamento e saúde urbana e rural, reduzindo a ocupação de extensas áreas para instalação de lixeiras e minimizando os riscos de contaminação de recursos ambientais.

Por outro lado, esta prática pode permitir a redução do consumo de biomassa lenhosa, principal fonte energética nas áreas rurais, através do reaproveitamento integral de resíduos da actividade agrícola, actualmente desperdiçados, para substituir total ou parcialmente a lenha e carvão vegetal, permitindo a redução do abate de árvores e de impactos derivados deste abate.

De Jesus *et al.* (2017) referem que *“a produção e uso de resíduos ou seus derivados como fonte energética, reduz o seu impacto sobre os solos e cursos hídricos, capta e converte Metano (principal gás com efeito estufa) em electricidade, inibindo o seu desprendimento para atmosfera”*.

❖ **Económica**

Considerando que, o actual sistema de recolha de resíduos sólidos em Moçambique é baseado no transporte destes de um ponto para outro, necessitando-se de combustível para veículos, a presente pesquisa pode gerar resultados que permitam a transformação destes resíduos em recursos ou matéria-prima em locais próximos aos centros de geração, contribuindo para a redução de recursos financeiros permitindo a geração de novos postos de trabalho (directos ou indirectos) para a população. Por outro lado, a energia gerada pode ser injectada na Rede Eléctrica Nacional (REN) contribuindo na diversificação da matriz energética nacional.

1.4. Objectivos

A presente pesquisa tinha em vista o alcance dos objectivos a seguir apresentados.

1.4.1. Objectivo Geral

Este estudo tinha em vista alcançar o objectivo geral que se segue:

- Avaliar o potencial energético de resíduos sólidos urbanos (resíduos plásticos) e agrícolas (pé-de-feijoeiro, caroço-de-milho e cápsula-de-amendoim).

1.4.2. Objectivos Específicos

Para a materialização do objectivo geral acima indicado, foram definidos os objectivos específicos abaixo:

1. Determinar a variabilidade da composição física de resíduos sólidos urbanos e agrícolas orgânicos nos pontos de geração e de descarte na cidade e província de Maputo;
2. Comparar as propriedades físicas, químicas e as estruturas micrográficas dos componentes dos resíduos sólidos urbanos (materiais plásticos) e agrícolas (pé-de-feijoeiro, caroço-de-milho e cápsula-de-amendoim) de diferentes origens;
3. Relacionar as propriedades físicas, químicas, estrutura micrográfica, tipo e a origem dos resíduos com o seu potencial energético;
4. Aferir a viabilidade técnica e ambiental do processo de geração de electricidade por conversão directa (por WTE – incineração) de materiais plásticos e Resíduos Sólidos Agrícolas.

1.5. Questões Científicas

Para melhor orientar o alcance dos objectivos específicos, foram formuladas as seguintes questões científicas:

1. Qual é a composição física de resíduos sólidos urbanos e agrícolas na província e cidade de Maputo?
2. Existem diferenças significativas nas propriedades físicas, químicas e nas estruturas micrográficas dos materiais de resíduos plásticos e agrícolas de distintas origens geográficas?

3. Qual é a influência das propriedades físicas, químicas, estrutura micrográfica e origem do resíduo no seu potencial energético?
4. Será a geração de energia por incineração de resíduos sólidos de materiais plásticos e agrícolas, técnica e ambientalmente viável?

1.6. Hipóteses

Para as questões científicas levantadas em 1.5 formuladas as hipóteses que se seguem:

Hipótese 1

H₁: Existe uma variabilidade expressiva da natureza de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Resíduos Sólidos Agrícolas (RSA) na cidade e província de Maputo;

H₀: A variabilidade da natureza de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Resíduos Sólidos Agrícolas (RSA) na Cidade e província de Maputo não é expressiva.

Hipótese 2

H₁: As propriedades físicas, químicas e estruturas micrográficas dos resíduos plásticos e agrícolas variam em função da natureza e origem geográfica;

H₀: As propriedades físicas, químicas e estruturas micrográficas dos resíduos plásticos e agrícolas são independentes da natureza e origem geográfica.

Hipótese 3

H₁: O potencial energético depende das propriedades físicas, do conteúdo energético, das estruturas micrográficas, da natureza e da origem geográficos dos resíduos;

H₀: O potencial energético é independente das propriedades físicas, do conteúdo energético, das estruturas micrográficas, da natureza e da origem geográficos dos resíduos.

Hipótese 4

H₁: A geração de energia, com base em resíduos sólidos urbanos e agrícolas, é técnica e ambientalmente viável;

H₀: A geração de energia, com base em resíduos sólidos urbanos e agrícolas, não é técnica e ambientalmente viável.

1.7. Estrutura da Tese

Esta tese é estruturada em cinco capítulos de acordo com as normas de apresentação e publicação de trabalhos académicos em vigor na UP-Maputo, nomeadamente: *Capítulo I: Introdução, Capítulo II: Revisão da Literatura, Capítulo III: Metodologia, Capítulo IV: Apresentação e Discussão de Resultados e Capítulo V: Conclusões, Limitações e Sugestões.*

No primeiro capítulo, *Introdução*, discute-se com profundidade a temática através de uma contextualização onde é dado um panorama geral sobre o tema. São também definidos os objectivos, as questões científicas e as hipóteses que orientaram a investigação, assim como a justificativa/motivação e a relevância dos resultados que serão obtidos no estudo.

No segundo capítulo, *Revisão da literatura*, é descrito o estado da arte e definição de conceitos fundamentais do estudo, assim como aprofundam-se as técnicas de base e auxiliares de análise laboratorial.

No terceiro capítulo, *Metodologia*, é descrito todo o processo analítico (técnicas e instrumentos) e critérios de amostragem para a recolha e análise de dados obtidos na pesquisa.

Define-se também o quadro epistemológico que orienta a investigação e a estratégia de análise e interpretação de dados.

No quarto capítulo, *Apresentação e discussão de resultados e*, os resultados são apresentados em categorias (com base nos objectivos e metodologia) e discute-se com profundidade comparando-os com os descritos na revisão da literatura.

No quinto capítulo, *Conclusões, limitações e sugestões*, são apresentadas as principais conclusões do estudo, as limitações e as sugestões para futuras pesquisas.

CAPITULO II

2.0. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo apresenta-se o resumo de pesquisas realizadas em torno da temática em estudo, com incidência para a definição de conceitos-chave da pesquisa, comparação de metodologias e do quadro teórico utilizados pelos pesquisadores de referência para o estudo, com ênfase para o horizonte temporal 2015-2024. Todavia, nalguns casos relacionados com questões de conceitualização e metodologias de referência foi considerada literatura fora deste horizonte temporal.

A metodologia adoptada para a construção do estado da arte e da revisão da literatura consistiu na combinação das técnicas de *revisão sistemática e integrativa* da produção científica de base para esta pesquisa no período em alusão.

2.1. Estado da Arte

Os estudos sobre a possibilidade de utilização de Resíduos Sólidos como fontes para a geração de energia limpa e sustentável através do uso das Tecnologias *Waste to Energy*, tem sido predominante no mundo em geral e também em África nos últimos anos.

Gani *et al.* (2020), Gani *et al.* (2021) e Bernardo *et al.* (2022) realizaram um estudo sobre a situação dos resíduos em Moçambique com ênfase na Lixeira de Hulene, procurando estimar com base na modelação matemática, o volume anual total de resíduos depositados por tipo e, com base nos resultados, extrapolar o potencial da FORSU para a geração de Biogás para fins energéticos.

Os resultados mostraram que a FORSU é o maior (73%) constituínte da Lixeira de Hulene com um potencial energético de 111.596,51 GJ, suficientes para abastecer cerca de 9.133 famílias urbanas.

Os pesquisadores apontam as feiras municipais, o mercado informal e as residências (urbanas e suburbanas) como principais fontes destes resíduos que, infelizmente, são descartados sem nenhuma separação, o que dificulta o seu aproveitamento para diversos fins, com destaque para a valorização energética.

Paralelamente, Silva *et al.* (2015) e Da Silva *et al.* (2019) realizaram uma pesquisa *descritiva-exploratória* sobre o nível de poluição e impacto de Resíduos Sólidos (RS) no ecossistema marinho com base na análise crítica de três repositórios científicos:

Web of Science, Repositório da CAPES e Science Direct concluíram que “os resíduos de plástico constituem o principal poluente no ecossistema marinho”.

Este resultado está associado à baixa densidade do material plástico que, por acção do vento e chuvas, pode ser arrastado para aquele meio, associado ao intenso comércio informal nas praias, fraca fiscalização das actividades costeiras, pesca artesanal inadequada, turismo e concentração de residências em zonas costeiras.

Sharma & Jain (2020), Silvi & Padilla (2021), Yusoff *et al.* (2022) e Júnior *et al.* (2024) também realizaram um estudo sobre percepções das pessoas em relação ao descarte de resíduos sólidos em ambientes costeiros, recorrendo a um questionário e constataram que “a maior parte, 50%, do lixo descartado inadequadamente nas áreas costeiras é proveniente de turistas”.

Com base neste resultado, eles consideraram como principais causas para este fenómeno as seguintes: “falta de placas educativas, não recolha sistémica de resíduos, inexistência de ecopontos nos restaurantes costeiros e nas praias e iliteracia ambiental dos turistas”, remetendo às campanhas educativas para o fortalecimento das práticas de gestão de resíduos e preservação ambiental como soluções ao problema.

Ademais, os pesquisadores alertam que “se até 2050 não forem adoptadas medidas de gestão e utilização sustentáveis dos resíduos plásticos, os mares poderão possuir mais plástico do que peixe e o consumo do peixe será mais perigoso do que nunca devido às taxas de contaminação por microplástico”.

Cabrita & Viegas (2021), Arduso *et al.* (2021) e Abubakar *et al.* (2022) estudaram o impacto da exposição ao *Bisfenol A* na saúde pública, partindo de dados da exposição dos trabalhadores de uma indústria de gestão de resíduos de plástico, reportaram que “actualmente, a maioria dos trabalhadores da indústria de gestão de resíduos encontra-se exposta de forma lenta e silenciosa a diferentes agentes químicos, com ênfase no *Bisfenol A*, derivado do processamento do resíduo plástico”.

Procurando averiguar esta hipótese, os pesquisadores analisaram 11 estudos sobre o nível de exposição dos trabalhadores desta indústria, com base na metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA).

Desta análise, concluíram que “a maior parte dos estudos, com destaque para os da *Revista Grey Literature*, apresentam informação relevante sobre os níveis de exposição a este componente, todavia, existe uma carência de pesquisas que tratam sobre a exposição de Bisfenol A (BFA) na indústria de gestão de resíduos de papel e plástico”.

Buscando colmatar os problemas ambientais do plástico, Fortuna & Ferraz (2020) e Kokubun & Mancini (2023) estudaram de forma independente, por revisão bibliográfica em repositórios científicos como *Google Académico*, *Scopus* e *Scielo*, a possibilidade do uso de biopolímeros e outros materiais sustentáveis como alternativos ao uso excessivo de embalagens convencionais de plástico e redução do acúmulo de embalagens alimentícias flexíveis, com destaque para o Polipropileno (PP) no meio ambiente.

Ambos os estudos foram motivados pelo facto deste último constituir uma das principais matérias-primas para a fabricação de embalagens plásticas flexíveis, que terminam descartadas no meio aquático, causando danos ao ecossistema marinho especificamente, e ao planeta no geral.

Para as autoras, a melhor forma de resolver o problema do plástico no mundo, seria a utilização de materiais biodegradáveis em ambientes biologicamente activos, em recursos renováveis menos poluentes e que sua degradação origina energia (Biogás) ou adubo (fertilizante), por biodegradação anaeróbica e compostagem, respectivamente.

Paralelamente, Sid *et al.* (2021) e Wlodarkiewicz & Mignoni (2024) realizaram um outro estudo sobre o uso de resíduos agro-alimentares biodegradáveis, como é o caso de *brócolis* e da *lentilha* para a produção de embalagens bioplásticas, consideradas ambientalmente sustentáveis.

O estudo consistiu de dois biopolímeros (BP) capazes de substituir o PP, nomeadamente: Poliacido Láctico (PLA) e Polihidroxicarbonatos (PHA), baseando-se na análise *Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats* (SWOT) destes materiais para verificarem a viabilidade técnica, económica e ambiental do uso destes biopolímeros na indústria.

Os resultados deste estudo revelaram que, do ponto de vista do uso de compostos vegetais, tal qual a nanocelulose vegetal, é excelente, devido à melhoria da

resistência do bioplástico à tração e a flexibilidade dos biofilmes, mas, economicamente, esta prática é inviável pelas seguintes razões: “*o actual mercado do plástico é forte, os custos de produção com base em BP são altos e implicam o uso de grande quantidade de recursos naturais*”, em comparação com a produção do plástico convencional.

Para ultrapassar estas limitações, os pesquisadores defendem a implementação de algumas medidas pontuais, nomeadamente: *uma legislação adequada para este tipo de plástico e mudança no comportamento do consumidor, financiamento de projectos de pesquisa nesta área*, como premissas para o sucesso da indústria de Biopolímeros.

No mesmo contexto, Monjane & Vilanculo (2021), Singh *et al.* (2022) e Stoica *et al.* (2024) avaliaram a possibilidade de síntese de bioplásticos com base no reaproveitamento de resíduos da casca de batata Reno e de outros tubérculos, como forma de contribuir para a redução deste resíduo nos centros comerciais e em residências e concluíram que, “*o reaproveitamento destes e de outros Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) para a síntese de Biopolímero é uma estratégia ambientalmente viável para a redução de RS no meio ambiente, mas o seu uso para a produção de plástico mostra-se economicamente inviável*” corroborando com Fortuna & Ferraz, 2020.

Relativamente ao impacto dos RSA no solo, Pinto & Vaz (2017) no seu estudo sobre gestão de RSA relataram que, na agricultura familiar, muitos agricultores acreditam e praticam a adubação orgânica de forma natural, onde o restolho agrícola é abandonado no campo de produção para a fertilização dos solos e chamam atenção para esta prática, pois, “*a incorporação, deposição ou permanência de restos de culturas anteriores no solo em quantidades elevadas com alta relação C/N pode causar um desequilíbrio no solo, reduzindo a produtividade do mesmo*”.

Krause *et al.* (2017) realizaram um estudo com vista a minimizar o risco de contaminação ambiental decorrente do descarte inadequado de resíduos sólidos agro-pecuários, tomando como base o método experimental.

O estudo, consistiu na produção de um adubo orgânico à base de fibra de coco, casca de ovo e com níveis crescentes de moinha que foi posteriormente testado em plantas conforme os tratamentos: T₀ = substrato comercial; T₁ = 15,0% de moinha (MO).

Os resultados deste estudo mostraram que, o uso de 5,0% de casca de ovo, 15,0% de fibra de coco, 15,0% a 32,0% de moinha e 48,0% a 65,0% de substrato comercial revelaram-se como melhor alternativa de substrato para produção de mudas de tomate, permitindo um adequado destino a esses resíduos agrícolas.

Ajofre *et al.* (2020), Ecole *et al.* (2022), Langa *et al.* (2022) e Andrade *et al.* (2023) estudaram de forma independente, a eficácia agrícola de misturas de RSA (pé-de-amendoim, restos de couve e palha-de-milho) enriquecidos com NPK na produção de couve, como estratégia de valorização agrícola destes resíduos e obtiveram resultados satisfatórios em relação aos parâmetros: *qualidade das folhas, peso da planta, número de plantas comerciais e tempo de crescimento.*

Paralelamente, Costa *et al.* (2015), Langa *et al.* (2022) e Andrade *et al.* (2023) fizeram uma análise qualitativa e comparativa dos adubos obtidos por misturas de diferentes RSA, tendo obtido, nos casos de folhas de amendoim e palha de milho, altos teores em Cádmio (Cd), Zinco (Zn), Arsénio (As), que são EPT que impactam negativamente o rendimento agrícola.

A composição física de RSU, foi estudada por Da Silva *et al.* (2017), Aderoju & Guerner Dias (2018) e Gani *et al.* (2020) que analisaram a variabilidade na composição física de RSU nos Municípios da Nigéria, de Portugal e de Moçambique e os resultados mostraram que existe uma variação na composição física dos RSU e apontam factores como: *nível de desenvolvimento, tipo de população, cultura alimentar, condições económicas das pessoas e existência de comércio informal* como causa desta variabilidade.

A composição encontrada por todos indica que os RSU são maioritariamente constituídos por: material orgânico (FORSU), materiais plásticos, metais, vidro, papelão, têxteis e embalagens de cartolina, evidenciando também que a maior fracção (80%) destes resíduos é potencialmente energética.

Dentre os vários estudos sobre o uso de resíduos para fins energéticos, através das tecnologias de conversão dos resíduos em energia (WTE) ou resíduos em combustíveis (WTF) ou outros produtos de valor (WTV) destaca-se o realizado por Carvalho *et al.* (2021).

Os autores analisaram o comportamento e estratégias da Economia Circular (EC) das indústrias de fabrico e processamento do plástico, tendo constatado que, “*para*

uma execução plena e sucedida da EC, as indústrias e outros sectores que utilizam plástico devem integrar estes resíduos nos diferentes processos produtivos, em particular na geração de energia para uso nos sistemas de produção internos”.

Paralelamente, Schyns & Shaver (2021) no seu estudo sobre os problemas e a economia do plástico, concluíram que *“actualmente a economia do plástico é vastamente linear, isto é, a maior parte do plástico produzido e consumido é descartado sem nenhum tratamento nem aproveitamento”*, podendo as WTE serem a melhor opção para a sua valorização energética.

A integração de RSU nos processos de geração de energia por tecnologias WTE na Indonésia, foi estudada por Mustafa *et al.* (2022), Golwala *et al.* (2022) e Chan *et al.* (2022) usando a avaliação ambiental do ciclo de vida dos RSU, considerando gerar energia distribuível no período 2025 – 2035.

Para o efeito, considerando um período de três anos, foram definidos cinco cenários (A, B, C, D e E), utilizando-se quatro processos de valorização, nomeadamente: *Reciclagem, Compostagem, Incineração, Lixeiras com recuperação de gás (LRG)*.

Para cada cenário considerou-se uma valorização combinada, isto é, com base nos quatro processos, obtendo-se as seguintes as seguintes composições: Cenário A (12,5%, 12,5%, 37,5% e 37,5%); Cenário B (15%, 10%, 50% e 25%); Cenário C (10%, 15%, 25% e 50%); Cenário D (20%, 5,0%, 75% e 0,0%) e Cenário E (20%, 5,0%, 0,0%, 75%), respectivamente.

As médias de geração de energia por WTE em cada cenário são respectivamente: B (5.34%)> D (5.22%)> A (4.81%)> C (4.27%)> E (1.49%). Com base nestes resultados, do ponto de vista ambiental, recomenda-se o uso do cenário A, pelo facto de providenciar menor impacto, enquanto o cenário B é recomendado para a geração de electricidade.

Deste modo, relativamente à geração de electricidade por incineração e LRG, os cenários D e E apresentaram maior capacidade, sendo por isso adequados para geração de energia por WTE no contexto do estudo.

Relativamente aos impactos ambientais cumulativos dos cenários A, E, D, B e C foram 98%, 97%, 92%, 91% e 86% respectivamente.

Estes resultados revelam que a utilização de RSU para a geração de energia, por diferentes tecnologias de valorização (exemplo, WTE), para além de possibilitar a

redução dos impactos ambientais destes resíduos, permite a redução do consumo de novos recursos, geração de renda e poupança de divisas.

Como se pode depreender, a maior parte dos estudos apontam que o uso de RSU para fins energéticos é uma prática viável do ponto de vista ambiental, pois permite a redução do acúmulo de resíduos no ambiente urbano e rural por meio da sua valorização energética, mas, discutem pouco a relação entre as características físico-químicas dos resíduos e o seu potencial energético.

O estudo da influência das propriedades *físicas, composição química e da estrutura micrográfica dos componentes químicos dos resíduos no potencial energético*, foi realizado por Brás (2016), Protásio (2016) e Sharuddin *et al.* (2016) que analisando cinco amostras de PP obtiveram os seguintes resultados médios: Voláteis (97,00%), Humidade (0,14%), Cinzas (1,61%) e Carbono Fixo (1,25%).

Zuim (2015) e Filho (2020) analisaram amostras similares por termogravimetria em intervalos de temperatura entre os 50°C e os 900°C, obtendo os seguintes resultados: Voláteis (96,24%), Humidade (0,16%), Carbono Fixo (0,80%) e Cinzas (2,80%).

Os resultados do estudo assemelham-se aos obtidos por Saustiano *et al.* (2023), Chachuaio *et al.* (2023) e Guerner Dias *et al.* (2023) que obtiveram também altos teores de voláteis (97,80%) e baixos teores de Cinzas (1,55%), Carbono Fixo (0,33%) e Humidade (0,32%), levando a concluir que este combustível se mostra apropriado para a geração de combustível líquido ou gasoso por pirólise, pois baixos teores de Cinzase altos teores de Voláteis aumentam a combustibilidade.

Paralelamente, estudando amostras similares e sob condições analíticas também similares, Filho (2020), Siamango *et al.* (2022), Macamo *et al.* (2023) e Mabasso *et al.* (2024) obtiveram para Voláteis (99,60%), Humidade (0,26%), Cinzas (0,0%) e Carbono Fixo (0,14%), em amostras similares submetidas à análise sob condições similares.

Estes resultados podem ser considerados ótimos para amostras desta natureza, considerando que foram encontrados altos teores de voláteis associados a baixos teores de Humidade, Cinzas e Carbono Fixo, fundamentais na combustão e conversão de combustível líquido e gasoso por pirólise.

2.2. Resíduos Sólidos: Contexto e Conceitualização

Os seres humanos sempre produziram resíduos como resultado das suas actividades, desde a mudança do estilo de vida nómada ao sedentário por volta de 10 mil anos aC. (DEUS *et al.*, 2015).

No passado, o “lixo doméstico”, não constituía um problema de relevo, pois os resíduos gerados eram de origem vegetal e animal totalmente biodegradáveis que, ao serem descartados no ambiente, decompunham-se nos seus constituintes que integravam o novo ciclo de vida (LEVY & CABEÇAS, 2006).

De acordo com Silva & Sísino (2006), Wilson (2007) e Velloso (2008) *“a preocupação com os resíduos só toma corpo após a Revolução Industrial essencial e exclusivamente como área da Saúde Pública”*.

Contudo, só a partir de 1970, os resíduos são discutidos como tema relevante, em eventos ambientais internacionais, como na Conferência de Estocolmo, na Suécia em 1972, na Conferência do Rio (ECO 92), no Brasil em 1992, e na Conferência de Brundtland, na Noruega em 1987.

Segundo Taseli (2007) e Tchobanoglous & Kreith (2002), *“só a partir desta época que a gestão de resíduos tomou corpo na Europa e no resto do mundo”*, tendo como grande marco, a aprovação da Directiva Europeia 99/31/EC em 1999, uma peça fundamental para a actual legislação sobre a gestão de resíduos na Europa e noutros países do mundo.

De acordo com Lino & Ismail (2011), *“o termo resíduo foi cunhado nos meados do século XX com o uso do petróleo e seus derivados para fins não somente energéticos”*.

Com o crescimento populacional, mudança no estilo de vida, avanço e o desenvolvimento tecnológico, a geração de resíduos cresceu em paralelo, havendo necessidade da sua classificação para a sua melhor gestão (PROTÁSIO *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2018).

Nos termos legais, de acordo com o Decreto-lei N^o 239/97, de 9 de Setembro, e Decreto-lei N^o 15/2006 de 13 de Junho, Quirino (2003), Levy & Cabeças (2006) e Gani *et al.* (2023) *“o resíduo, é todo o material que sobra de um processo de produção, transformação, exploração ou de utilização, que é destinado ao abandono”*.

Em Moçambique, o Decreto-lei N°13/2006, de 15 de Junho, que aprova o Regulamento sobre *Gestão de Resíduos Sólidos*, define resíduos sólidos como sendo “*substâncias que se eliminam, ou que se tem a intenção de eliminar por lei*”.

Estas definições para além de incompletas, contrastam com o actual paradigma de gestão de Resíduos Sólidos (RS), pois, considera o RS algo inútil cuja finalidade é apenas o seu descarte. Todavia, actualmente os resíduos sólidos devem ser definidos *como sendo todos os materiais descartados após cumprirem o seu primeiro ciclo de vida (utilização) e podem incorporar novos processos (ciclos) como matéria-prima para a produção de novos materiais de valor por uso directo (reutilização) ou transformados (reciclagem)*.

2.3. Resíduos Sólidos Urbanos: Classificação e Composição Física

Para uma melhor gestão dos Resíduos Sólidos (RS), deve ser feita uma classificação e análise da sua composição física, tendo em conta que os resíduos são materiais químicos de composição diferente e que requerem tratamento específico por classe e propriedade.

Conforme Mota *et al.* (2009), Monjane (2020), Silva & Cleber (2020), Cunha *et al.* (2020), Martinho (2005), *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) (1992) e Direcção Geral para Qualidade Ambiental (DGQA) (1992) existem quatro critérios para a classificação de resíduos sólidos, nomeadamente: *proveniência/origem, periculosidade/risco para o meio ambiente, natureza física e composição química*. Assim:

- Quanto à *proveniência/origem* - os resíduos podem ser classificados em: *Urbanos, Industriais, Hospitalares, Agrícolas e de Fluxo especial* (LEVY& CABEÇAS, 2006).
- Quanto à *periculosidade/risco ambientais ou de saúde pública* - os resíduos podem ser classificados em: *não perigosos, perigosos e inertes* (Portaria, N 2009/2004 de 3 de Março e Decreto-lei 15/2006 de 13 de Junho).
- Quanto à *natureza física* - os resíduos podem ser classificados em: *secos e húmidos* (LER, 2014).
- Quanto à *composição química* - os resíduos podem ser classificados em: *orgânicos e inorgânicos* (INR, 2004).

Os critérios apresentados ainda propõem uma subdivisão dos resíduos dentro da mesma categoria, tal como se apresenta do diagrama 1.

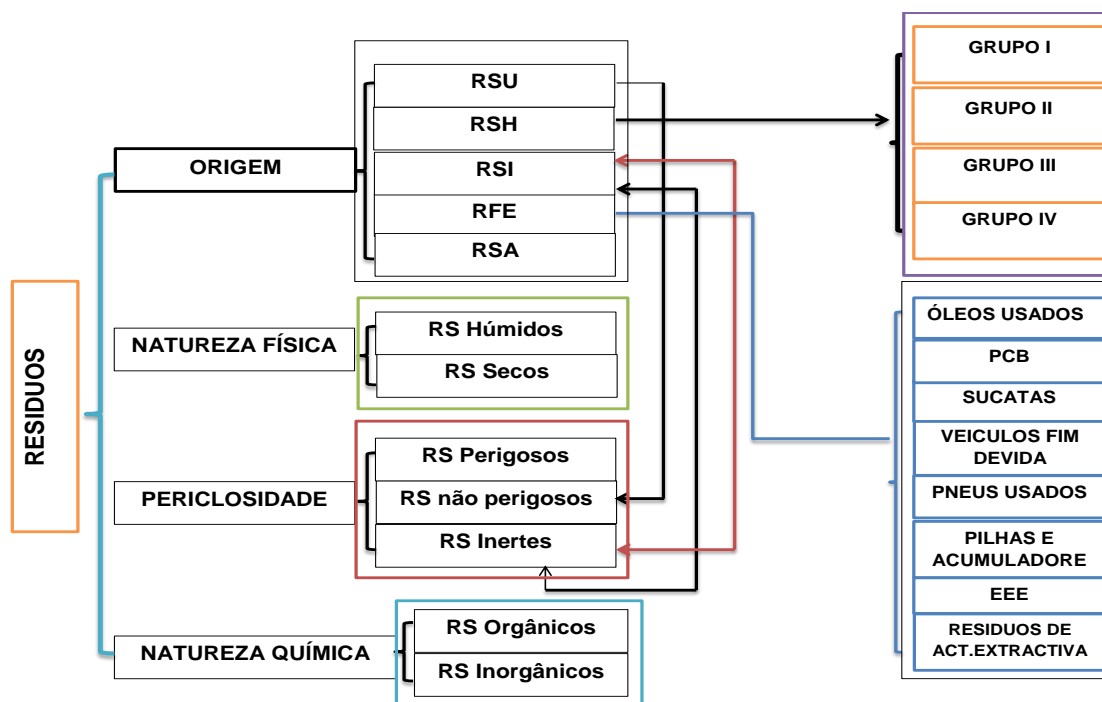


Diagrama 1: Diagrama de Classificação de Resíduos.

FONTE: Adaptado de (LEVY & CABEÇAS, 2006 e LER, 2014).

Neste estudo, dá-se enfoque aos resíduos de materiais plásticos, classificados como urbanos, inertes, secos e orgânicos assim como aos materiais orgânicos (biomassas), classificados como, agrícolas, inertes, orgânicos e secos, (LER, 2014).

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), são todos os resíduos provenientes da actividade doméstica, limpeza pública ou semelhante provenientes do sector de serviços ou estabelecimentos comerciais ou industriais e de unidades prestadores de serviços de saúde, desde que, em qualquer dos casos, a produção diária não exceda 1.100 litros por produtor (CABEÇAS & LEVY, 2006; LER, 2014).

Por outro lado, a *International Classification for Standard (ICS)* N° 13.030.10 e Cunha (2020), definem os RSU como sendo, “*todos aqueles materiais gerados nas cidades e colectados através dos serviços de saneamento locais*”.

Apesar desta tentativa de definir RSU, Soares (2011) e a Agência Portuguesa para o Ambiente (APA) (2019), alertam que, para além de controverso, é muito difícil ter uma definição única e abrangente para RSU pois, a sua composição varia em

função das características de cada cidade e da política de valorização adoptada no local ou região.

Rajkumar *et al.* (2010), Kuh *et al.* (2015) e Tavakoli & Bagueri (2015) evidenciam esta limitação, corroborando com o emanado no actual Regime Geral de Gestão de Resíduos (RGGR) de Portugal, baseado no Decreto-lei N^o 73/2011, de 17 de Junho, onde se prevê um conceito mais abrangente, integrando-se todos os resíduos domésticos, independentemente das quantidades diárias produzidas.

Uma análise das três definições mostra que nenhuma considera resíduo como um material que pode ser útil noutros processos produtivos futuros, considerando-os deste modo como *lixo*, o que significa sem nenhuma outra utilidade.

A grande limitação deste quadro legal é que considera os resíduos como algo inútil, que deve ser abandonado sem possível reutilização, uma abordagem que pode estar por detrás do fraco aproveitamento destes recursos antes do seu descarte.

Por outro lado, esta abordagem, para além de contrastar com a Agenda 2030, abre espaço para uma pesquisa mais aprofundada sobre as potencialidades dos resíduos para futuros processos/ciclos de produção (ADEROJU *et al.*, 2015).

2.4. Análise da Composição Física dos RSU

A composição física dos RSU refere-se à *“tipologia/classe de resíduos predominantemente encontrados nos RSU”* (Regulamento – UE 2017/997; SOUSA, 2011, Decreto-lei de 13/2006 de 15 de Dezembro;).

A análise da composição física dos RSU é sempre efectuada de acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER), publicada através da Decisão 2014/955/EU, que altera a Decisão 2000/532/CE, referida no artigo 7^o da Directiva 2008/98/CE.

DGQA (1992), Levy & Cabeças (2006), Carneiro (2009) e Soares (2011), apresentam subcategorias para RSU, nomeadamente:

- *Resíduos Sólidos Domésticos* – todos os resíduos gerados nas residências ou os que a estes se assemelham. Ex: resíduos alimentares, embalagens plásticas, etc.
- *Resíduos Sólidos Comerciais* – todos os resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, escritórios e similares. Ex: Caixas de papelão,

latas de alumínio, materiais de escritório inutilizados, restos de alimentos, embalagens em geral, garrafas de plástico.

- *Resíduos Sólidos Públicos* – todos os resíduos que provém da limpeza de espaços públicos. Ex: resíduos encontrados em parques, praias, avenidas, ruas e demais espaços públicos; feira livre.
- *Resíduos Sólidos Industriais* – todos os resíduos produzidos nas indústrias integradas nas comunidades. Ex: resíduos como de produtos químicos, metais, borracha, cinzas, vidros, óleos e tecidos.
- *Resíduos Sólidos Especiais* – todos os restantes resíduos de fluxos específicos. Ex: resíduos como: óleos usados, *Printed Circuit Board* (PCB), Sucatas, Resíduos da actividade extractiva, equipamento eléctrico e electrónico, pneus usados, veículos em fim da vida.

Na figura 1, a seguir, apresentam-se alguns exemplos dos resíduos sólidos urbanos.



Figura 1: Exemplos de Resíduos Sólidos Urbanos.

FONTE: (CEMPRE, 2022).

A *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), (2010), Instituto para Pesquisa Tecnológica (IPT), Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE) (2000) e o Regulamento – CE/CLP 1272/2008 sustentam que “as características e composição dos RSU variam de acordo com o Município/local e, muitas vezes, as mudanças/diferenças podem ser percebidas nos bairros de uma mesma cidade”.

Gomes *et al.* (2017) e Brasil (2018) afirmam que *“nos últimos anos, a geração de resíduos a nível urbano, suburbano e rural, tende a aumentar, sendo que, no período 2000 - 2008, a geração de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) cresceu na ordem de 35% a nível mundial”*.

Ademais, Gani *et al.* (2021) afirmam que no período 2007-2017 em Moçambique, o volume de resíduos sólidos gerados cresceu de forma significativa, tanto na província de Maputo em geral, quanto na Lixeira de Hulene, passando de 319.010 toneladas em 2007 para 433.985 toneladas em 2017 para Maputo província, enquanto passou de 127.385 toneladas para 365.000 toneladas para a lixeira de Hulene.

Cordeiro e Cardoso (2020) e Moreira *et al.* (2023) referem que *“os resíduos encaminhados aos diferentes aterros e lixeiras municipais, têm composição física diferente e apresentam um significativo potencial agrícola e energético”*.

Segundo Singh *et al.* (2011) a composição dos resíduos descartados nas lixeiras, varia em função da actividade predominante (industrial, turística, comercial ou agrícola), hábitos e costumes da população, variações sazonais, condições climáticas, nível educacional e poder aquisitivo da população.

Vieira (2012), Moratório *et al.* (2012) e Rocha (2020) sustentam que *“os resíduos sólidos municipais na sua composição são predominantemente constituídos por uma fracção significativa de papel, restos de alimentos, aparas de madeira e poda, algodão e couro, metais e vidros”*, como também derivados de petróleo, como plásticos, borracha e tecidos sintéticos.

Carneiro (2009) afirma que, a composição dos RSU ou municipais (RSM), varia em função da localidade e do estágio de desenvolvimento em que estes se encontram inseridos assim como das políticas locais sobre o mercado de resíduos.

O autor vai mais além, ao expor que *“a variabilidade é função das modificações económicas e das transformações tecnológicas, que vem influenciando o modo de vida dos centros urbanos”* que incentivam o uso de embalagens artificiais devido ao aumento no consumo de produtos industrializados.

Apesar das similaridades encontradas em alguns casos, atenção especial deve ser dada aos resultados encontrados por Gani *et al.* (2020) na zona urbana e

suburbana, especialmente no caso de matéria orgânica, onde o maior volume encontrado foi de 73% para zona suburbana e 64% para zona urbana.

Resultados similares foram encontrados por Melo *et al.* (2009), Paradela (2012) que, estudando o potencial energético de RSD gerados no Município da Ponta Grossa e de Curitiba (Brasil) respectivamente, constataram que 42% e 48% destes orgânicos biodegradáveis e os restantes 51% e 50% correspondem a vidro, plástico, têxtil, papelão, metal e outros, respectivamente.

Apesar de todos os RSU terem uma composição variada e serem potencialmente energéticos, a fraca legislação e pesquisa contribuem para que estes continuem concentrados nas lixeiras, como principal destino dos RSU em Moçambique (GANI *et al.* 2021).

2.5. Resíduos de materiais Plásticos: Microplástico no Meio Ambiente

Neste subcapítulo são apresentadas, a história da origem, a definição do plástico, as equações para a sua síntese, a classificação/tipos, a aplicação e os impactos ambientais gerados por seu uso e descarte indevido no ambiente.

2.5.1. Origem e Definição do Plástico

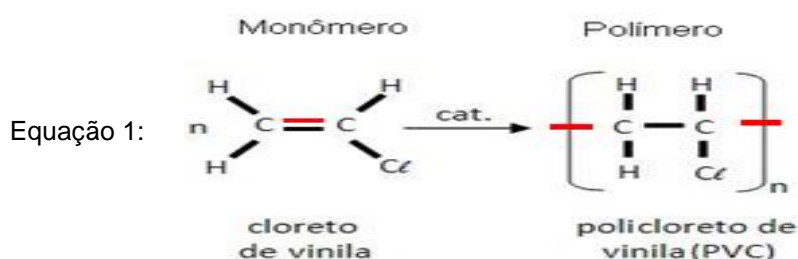
Derivado do grego “*plastikus*” (que significa material sensível e mutável), o plástico é definido por Martins e Ventura (2020) como sendo “*todo o material capaz de adquirir determinadas formas sensíveis por acção de uma força exterior, produzidos com base nos processos de polimerização e policondensação para formar polímeros*”.

Flenkei (2011) e Macamo (2023) afirmam que, o primeiro plástico do mundo industrial foi inventado por John Hyatt nos meados do século XIX idealizado como um substituto do marfim utilizado nas bolas de bilhar.

Moore (2008), Groot (2009) e Freinkie (2011) afirmam que *a primeira síntese propriamente dita do plástico foi realizada por volta de 1907 por Leo Baekeland, inventor da baquelite, a primeira resina totalmente sintética criada a partir de uma mistura de fenol e formaldeído.*

Segundo Ferrari & Jorge (2001) quimicamente, os plásticos são macromoléculas formadas a partir de unidades estruturais menores.

O número de unidades estruturais repetidas numa macromolécula é chamado grau de polimerização. A equação química abaixo ilustra o processo de polimerização:



Desde então, a produção e demanda por plástico e a geração de resíduos desta natureza cresceram significativamente. Na tabela a seguir, apresenta-se os maiores produtores de plástico do mundo.

Tabela 1: Maiores produtores de resíduos plásticos do mundo.

País	Total de lixo plástico gerado (ton)	Total de lixo plástico incinerado (ton)	Total de lixo plástico (ton)	Relação produção e reciclagem de lixo plástico (%)
EUA	70.782.577	9.060.170	24.490.772	34,60
China	54.740.659	11.988.226	1.200.0331	21,92
Índia	19.311.663	14.544	1.105.677	5,73
Brasil	11.355.220	0,0	145.043	1,28
Indonésia	9.885.081	0,0	362.070	3,66
Rússia	8.948.132	0,0	320088	3,58
Alemanha	8.286.827	4.876.027	3.143.700	37,94
Reino Unido	7.994.284	2.620.428	2.513.856	31,45
Japão	7.146.514	6.642.428	405.834	5,68
Canadá	6.696.763	207.354	1.423.139	21,25

FONTE: (MARTINS & VENTURA, 2020).

Devido ao avanço da indústria do plástico, que permite maior diversidade deste material, estima-se que existam mais de vinte categorias para a classificação deste material, devido à sua variabilidade, tanto no processo, quanto no produto.

Segundo Piontek (2019) “os plásticos são classificados com base em diversos critérios, incluindo a sua composição química (sintética ou natural), propriedades físico-químicas e sua finalidade” e, por conseguinte, os seus impactos no meio ambiente variam de *ligeiro, não grave, grave e severo*.

De acordo com a DGQA 92 e a LER 2014 os plásticos podem ser categorizados em sete tipos, nomeadamente: PET ou PETE (Polietileno Tereftalato), PEAD (Polietileno

de alta densidade), PVC (Policloreto de Vinila ou cloreto de vinila), PEBD (Polietileno de baixa densidade), PP (Polipropileno), PS (Poliestireno) e outros.

Na figura 2, apresenta-se o nome, o símbolo, a fórmula química do monómero originário e a ocorrência do plástico em causa.

1	2	3	4	5	6	7
PET	PEAD	PVC	PEBD	PP	PS	OUTROS
Polietileno Tereftalato	Polietileno de Alta Densidade	Policloreto de Vinila	Polietileno de Baixa Densidade	Polipropileno	Poliestireno	Outros
Categoria	Sigla	Nome	Ocorrência			
1	PET	Polietileno Tereftalato	Garrafas de água e outras bebidas, recipientes para produtos de limpeza			
2	PEAD/HDPE	Polietileno de Alta Densidade	Embalagens de leite sacos de congelação, embalagens de champô			
3	PVC	Policloreto de vinil	Usado em filme para protecção de alimentos			
4	PEBD/LDPE	Polietileno de Baixa Densidade	Sacos, recipientes, embalagens para alimentos			
5	PP	Polipropileno	Pratos de microondas, embalagem de gelados, sacos de batatas fritas, tampas de garras			
6	PS	Poliestireno	Talheres, pratos e copos, embalagem			
7	Outros (EPS)	Poliestireno expandido	Copo para bebidas quentes, embalagens protectoras			

Figura 2: Simbologia e Classificação de Plásticos.

FONTE: (NBR 13230, 2008; CORRÊA, 2015; PNUMA, 2019).

2.5.2. Impactos Ambientais do Plástico

A mudança no estilo de vida, o crescimento populacional e a diversificação da indústria, propiciam o crescimento rápido em resíduos de plástico, uma hipótese defendida por Iberdrola (2021) que afirma que “só em 2020 a produção mundial do plástico foi de 500 milhões de toneladas, que comparado com o ano de 1998 representa uma subida de 90%”.

Neste âmbito, a Economia Circular (EC) revela-se como um caminho a seguir para solucionar o eminente problema destes resíduos no ambiente em geral e em particular no meio aquático. Nasua pesquisa, Cabrita & Viegas (2021) e Nurhashanah (2021) alertam que “até 2050, se não forem adoptadas medidas de gestão e utilização sustentáveis, os mares poderão possuir mais plástico do que peixe”.

Com o objectivo de analisar a dimensão do fenómeno de poluição ambiental por resíduos de plástico, com foco nas fontes, consequências na saúde pública e ambiental e na capacidade de resposta das entidades legais europeias a este fenómeno, Martins & Ventura (2020) afirmam que:

“a poluição por resíduos de plástico é hoje um dos mais complexos problemas ambientais pois, uma vez no ambiente, a sua degradação química e física leva à sua fragmentação, originando consequências a nível social, económico e ecológico”.

Este problema ambiental obrigou a comunidade internacional a adoptar medidas e políticas de gestão e uso responsável de objectos de plástico. Outrossim, *“apesar de terem sido criados os mecanismos de resposta a nível comunitário para este problema, estes devem ser conciliados com uma forte política de sensibilização e educação dos consumidores”*, defendem as pesquisadoras.

Por outro lado, para o sucesso destas estratégias, é preciso primeiro entender como a população (consumidores) entende o fenómeno de poluição por resíduos de plástico, para posterior traçado de linhas estratégias a seguir.

Nesta perspectiva, Monjane (2022) defende o resgate e a disseminação dos modelos de educação e formação da consciência ambiental (modelo linear e de correlação mútua), como *“ferramentas que devem nortear a definição de políticas acertadas para os problemas ambientais do plástico e outros resíduos”*.

A ameaça dos plásticos para o ambiente e saúde é conhecida há anos, mas foi ignorada durante muito tempo, e a sua gravidade só foi reconhecida recentemente, através de estudos que evidenciaram a sua influência na vida animal, economia e saúde humana.

O mecanismo de contaminação do ambiente marinho pelo micro plástico, inicia-se com uma simples negligência e ignorância humana, através do abandono do plástico na via pública ou fraca reutilização que, por acção de chuva e vento, é transportado para as valas de drenagem e, posteriormente, levado ao mar.

Estando no meio marinho, são consumidos pelos animais aquáticos, alguns cobrem o corpo de alguns animais e outros acumulam-se em zonas de mangal, dificultando os processos vitais destes seres vivos.

Já, no meio terrestre, a sua deposição incorrecta pode cobrir vastas áreas agrícolas ou micro-ecossistemas, impossibilitando a infiltração de águas pluviais, reduzindo o rendimento agrícola para além de alterar significativamente a estética urbana.

O impacto do micro plástico, no meio ambiente e na saúde pública, depende do seu tipo ou origem. Daí que é importante conhecer os diferentes tipos de plástico, de modo a compreender melhor a sua forma de gestão e mitigação do impacto deles derivados.

Importa referir que a disseminação do micro plástico no meio ambiente deriva da sua fragmentação em pequenos pedaços, denominados detritos de micro plásticos, definidos como sendo composto de plástico de muitas formas e tamanhos.

O estudo realizado por Martins e Ventura em 2020, sobre o impacto ambiental do plástico no meio marinho, constatou que *“os resíduos plásticos encontrados em maior quantidade neste meio são do tipo mesoplásticos, nomeadamente: bóias, brinquedos de plástico, embalagens de comida, pontas de cigarro, garrafas e sacos plásticos, redes e linha de pesca”*.

Este fenómeno foi relatado, também, pela Agência Portuguesa do Ambiente e pelo Ministério da Terra e Ambiente em Moçambique, em que, apesar de escassez de estudos nesta perspectiva, uma observação minuciosa das actividades do quotidiano remete-nos a uma conclusão similar.

Em contexto similar, Carvalho & Dias (2021) defendem que:

“Independentemente das suas dimensões, o aumento da utilização do plástico e o seu descarte incorrecto no meio ambiente, seja por causa de comportamentos ou políticas inadequados de gestão ambiental, tem contribuído actualmente para o aumento e acumulação de partículas de menores dimensões deste material no meio ambiente”.

De acordo com os autores, os mesoplásticos são visíveis a olho nu e podem permanecer no meio marinho tanto no fundo como na superfície do oceano, afectando áreas costeiras e praias, permanecendo activos por centenas de anos e com possibilidade de viajar para outros ambientes aquáticos, pois a poluição não tem fronteiras.

Dados do relatório de um estudo realizado pela WWF (*Wide Fund for Nature*), publicado no *Plastic in Nature* em 2019, focado na análise da poluição por plásticos em Portugal, alerta para a problemática da falta de informação, uma vez que “é

preciso a criação de um Novo Acordo Para a Natureza e para as Pessoas, abreviadamente, ND₄NP (New Deal For Nature and People)”.

Para o autor, neste período, 50% dos ecossistemas terrestres e marinhos devem ser protegidos, restaurados e geridos de forma sustentável e, por outro lado, 50% da produção e do consumo mundiais devem ser sustentáveis, ambiental e economicamente.

De acordo com a WWF (2019):

“apesar da poluição por plástico nos oceanos ser uma das principais ameaças no planeta, o seu impacto no ambiente, não é inerentemente mau; trata-se de uma invenção criada pelo Homem, que gerou benefícios significativos para a sociedade, particularmente, renda e emprego”.

Infelizmente, a maneira como as indústrias e governos têm gerido o plástico e a forma como a sociedade o converteu numa conveniência descartável e de uso único, transformou essa inovação num desastre ambiental severo para o planeta, frisa o autor.

Para ultrapassar este problema, pesquisadores defendem a implementação de algumas medidas pontuais, nomeadamente: uma legislação adequada para este tipo de plástico e mudança no comportamento do consumidor, financiamento de projectos de pesquisa nesta área, como premissas para o sucesso da indústria de biopolímeros (FORTUNA & FERRAZ, 2020; MONAJNE & VILANCULOS, 2021).

Portanto, pode-se constatar aqui, que o plástico de dimensões “meso” é o mais comum em ambientes poluídos, sendo que o meio marinho é um dos locais mais poluídos e com maior interesse por parte de diferentes estudiosos.

2.6. Resíduos Sólidos Agrícolas - RSA

Neste subcapítulo faz-se uma abordagem sobre os Resíduos Sólidos Agrícolas (RSA), destacando-se a definição, classificação, importância económica e os impactos ambientais por estes originados.

Nas últimas décadas, o sector agrícola tem registado pressão, tanto a nível mundial, como nacional, resultante da evolução da tecnologia empregue neste sector produtivo.

De acordo com Carvalho e Dias (2021) os RSA são definidos como *“aqueles resíduos provenientes da exploração agrícola, pecuária ou similar”.*

A biomassa agrícola é definida como sendo, “o conjunto de produtos e subprodutos provenientes das plantações não florestais” tipicamente originados de colheitas anuais, cujas culturas são seleccionadas segundo as propriedades de teores de amido, celulose, carboidratos e lípidos contidos na matéria orgânica, em função da rota tecnológica a que se destina (FORTES, 2019).

Segundo Dimande (2016) em Moçambique ainda predomina a colheita manual do feijoeiro, que respondeu em 2005 por 54% da quantidade colhida de feijão de cor e 76% de feijão preto, o que implica a geração de mais biomassa residual deste material vegetal.

Na colheita mecanizada do feijão, os resíduos da parte aérea da cultura mantêm-se sobre o solo até à sua completa decomposição, enquanto nas colheitas manual e semi-mecanizada a parte aérea é arrancada e transportada para locais onde os grãos são triados e os resíduos descartados (MOZANI *et al.*, 2012).

2.6.1. Classificação e Tipos de Resíduos Sólidos Agrícolas - RSA

Segundo Vaz e Pinto (2017), “os resíduos gerados na agricultura não se limitam apenas aos que resultam da colheita das culturas (Biomassa agrícola/florestal) mas de todo o processo produtivo, havendo necessidade de especial atenção a cada um dos tipos de resíduos em função da sua tipologia”.

Os principais tipos de resíduos agrícolas segundo os autores são: Biomassa Agrícola e florestal, Embalagens de fitofármacos, Resíduos de Equipamento Eléctrico e Electrónico (REEE), Pilhas e acumuladores usados, Veículos em Fim de Vida (VFV), Pneus usados, Resíduos Plásticos e outros.

Os diferentes resíduos identificados no sector agrícola, podem ser classificados conforme diferentes critérios. Tal classificação pode ser resumida tal como consta da tabela 02.

Tabela 2: Classificação de resíduos sólidos agrícolas.

Tipo de resíduo	Principais resíduos	Material constituinte	Natureza		Periculosidade	
			Org.	Inorg.	Inerte	Perigosos
Embalagens	Embalagens de fitofármacos	Papel e cartão	x			x
		Plástico		x		x
		Metal		x		x
		Vidro		x		x
	Embalagens de outros produtos	Papel e cartão	x		x	
		Esferovite		x	x	
		Madeira	x		x	
		Metal		x	x	

		Vidro		x	x	
		Têxteis		x	x	
		Plástico		x	x	
Componentes de máquinas agrícolas	Carcaças de veículos	Metal		x		X
	Filtros de óleo	Metal		x		X
	Baterias	Metal		x		X
	Pneus	Borracha		x	x	
Material de rega	Tubagens de plástico	Plástico		x	x	
	Rampas	Metal		x	x	
	Tubos metálicos	Metal		x	x	
	Acessórios metálicos	Metal		x	x	
	Equipamento sobressalente	Metal		x	x	
		Borracha		x	x	
		Plástico		x	x	
	Grupos moto-bomba	Plástico		x	x	
Metal			x	x		
Equipamento eléctrico e electrónico	Equipamento iluminação	Vidro, metal, plástico		x		X
	Ferramentas eléctricas e electrónicas	Metal, plástico		x	x	
Substrato de hidroponia	Lã de rocha	Mineral		x	x	
	Areia	Mineral		x	x	
	Perlite	Mineral		x	x	
	Vermiculite	Mineral		x	x	
	Pozolanas	Mineral		x	x	
	Argila expandida	Mineral		x	x	
	Gravilha	Mineral		x	x	
	Serradura	Biomassa	x		x	
	Musgo	Biomassa	x		x	
	Fibra de coco	Biomassa	x		x	
	Aparas de madeira	Biomassa	x		x	
	Turfas	Biomassa	x		x	
	Casca de pinheiro	Biomassa	x		x	
	Polímeros	Componente orgânico de síntese	x		x	
Material vegetal	Raízes	Biomassa	x		x	
	Folhas	Biomassa	x		x	
	Caulos	Biomassa	x		x	
	Frutos	Biomassa	x		x	
	Sementes	Biomassa	x		x	
	Cachos	Biomassa	x		x	
	Restolho	Biomassa	x		x	
	Infestantes	Biomassa	x		x	
	Restos de foragens	Biomassa	x		x	
Armações, vedações, e material de tutoragem	Estacas	Madeira	x		x	
		Metal		x		
	Sebes	Madeira	x		x	
		Metal		x	x	
Madeiras		x			x	

	tratadas	Biomassa				
	Redes	Plástico		x	x	
		Metal		x	x	
	Arames	Metal		x	x	
	Tutores	Madeira	x		x	
		Plástico		x	x	

FONTE: (VAZ & PINTO, 2017).

A análise da tabela permite perceber que existem variados tipos de RSA considerando o tipo de agricultura realizada.

Nesta pesquisa, são estudados essencialmente os resíduos sólidos agrícolas orgânicos (Biomassa) por serem os mais gerados na área de estudo.

2.6.2. Impactos Ambientais de Resíduos Sólidos Agrícolas - RSA

A energia obtida a partir da biomassa é amplamente considerada como um dos vectores energéticos com maior potencial de crescimento nos países industrializados, devido à sua versatilidade para alimentar os serviços energéticos, tanto ao nível dos transportes como da produção de electricidade e calor.

De acordo com Oshiro (2016) *a produção e utilização da biomassa agrícola é responsável pela geração de grandes quantidades de resíduos (cinzas)*, que na maioria das vezes é depositada inadequadamente no meio ambiente, resultando em impactos ambientais, perda de matéria-prima e energia (VAZ & PINTO, 2017).

Segundo Vieira *et al.* (2012) e Lin *et al.* (2021) os RSA constituem uma fonte de energia química (Biomassa), que pode ser utilizada por transformação (através de processos de conversão físicos, químicos e biológicos) em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos.

Conforme Ferreira (2014) os resíduos agrícolas, a biomassa sólida, armazenam energia considerável para serem aproveitados para fins energéticos, com base em diferentes tecnologias (Combustão, Co-geração, Incineração, Biodigestão anaeróbica).

O objectivo desta conversão é transformar um material carbonáceo de baixa eficiência energética para uma eficiência economicamente viável, porém, para que este objectivo seja atingido, uma caracterização da biomassa deve ser feita.

Para o efeito, é preciso conhecer as suas propriedades, para que haja uma melhor escolha da biomassa adequada e, conseqüentemente, da tecnologia de conversão (RESENDE, 2017; MATUSSE *et al.*, 2023; SIMANGO *et al.*, 2023).

Conforme descrito anteriormente, Pinto & Vaz (2017) reforçam que a actividade agrícola gera diversos tipos de resíduos, desde perigosos e inertes, orgânicos e inorgânicos, daí atenção especial deve ser dada a um quadro legal apropriado para uma gestão e destinação apropriada dos resíduos deles derivados.

No caso de resíduos agrícolas, o seu impacto ambiental pode derivar do uso incorrecto na adubação orgânica, do que do ponto de vista de quantidades ou de características inadequadas para a necessidade dos solos em nutrientes (MARAFON, 2016; AJOFRE *et al.*, 2022; ECOLE *et al.*, 2023; USSIVANE *et al.*, 2023; LANGA *et al.*, 2023).

Apesar desta prática, chama-se a atenção de que cuidados especiais sejam observados na *“incorporação, deposição ou permanência de restos de culturas anteriores no solo em quantidades elevadas com alta relação C/N, pois, pode causar um desequilíbrio no mesmo”*.

Por outro lado, IIAM (2012), Rocha *et al.* (2017) e Rezende (2017) sustentam queo *Azoto contido nestes resíduos, pode ser fixado pelos microorganismos do solo que podem ser patogénicos, para além de que, alguns destes restos vegetais, podem conter compostos fenólicos que, juntamente com lípidos, são considerados Fitotóxicos e antimicrobianos desequilibrando a normal actividade do solo.*

Para Rocha *et al.* (2017), Moura (2017), Mendonça *et al.* (2019), Tivane (2022) toda a madeira tratada com conservantes, ao ser queimada pode libertar para o ambiente, parte de Clorofenóis que ao reagir com Ácido Clorídrico (HCl), produzem compostos tais como Dioxinas cloradas, podendo interferir no desenvolvimento de seres vivos de sangue quente.

2.7. Resíduos Sólidos Urbanos: Visão geral

Neste subcapítulo descreve-se a situação geral dos resíduos sólidos urbanos no mundo, na região e em Moçambique, analisando-se todos os aspectos relevantes à volta da temática, como é o caso de: geração, gestão e valorização.

De acordo com Cortez (2002) e Vale *et al.* (2012) *os índices de consumo de recursos naturais influenciam a produção de resíduos pois, quanto mais recursos são usados, mais desperdícios são gerados e conseqüentemente, mais resíduos são produzidos e descartados.*

2.7.1. Situação Global e Regional

Mota *et al.* (2013), Graça (2015) e Albuquerque (2022) afirmam que “*actualmente em todo o mundo são gerados 1,4 bilhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) por ano, o que corresponde a uma média de 1,20 kg/pessoa/dia*”.

De acordo com Cossa (2016) e Silva & Cleber (2023) dos cerca de 198 países existentes nos cinco continentes, apenas trinta países (15%) são responsáveis por mais da metade de RSU gerados no mundo e, coincidentemente, são os locais mais ricos, mostrando-se assim a relação entre *geração de resíduos e o poder econômico*.

Para demonstrar esta relação, Sísino & Oliveira (2006) e Fernandes (2020) relataram que em 1993, cidades como Calcutá e Jacarta (Indonésia) produziam de 0,50 kg a 0,60 kg de lixo por pessoa diariamente.

Por outro lado, cidades em países de renda média, como Manila, Túnis e Singapura, geravam por dia de 0,5 kg a 0,8 kg/pessoa.

Em um país desenvolvido, as grandes cidades, como Nova Iorque (EUA), lideram a lista com uma média de 1,8kg/(pessoa.dia) e Tóquio (Japão) produzia 1,3 kg/(pessoa.dia).

Cortez (2002), Silva & Lmnage (2008) e Falcão (2022) afirmam que “*a geração de lixo per capita varia também com o tempo*”. Por exemplo, nos anos 50, os resíduos consistiam basicamente do que tinha origem nas cozinhas, detritos de relva e jardins, roupas, produtos usados no lar e entulho de construções.

Por outro lado, Maranhão (2008), Aderoju (2019) e Fernandes (2020) demonstraram que, entre meados dos anos 70 e final dos anos 80, o lixo *per capita* cresceu significativamente, atingindo até 826 kg/ano na América do Norte, de 341 para 394 kg/ano no Japão e de 277kg/ano para 336 kg/ano na Europa.

Neste cenário, a Itália aparece com uma produção diária de de 1,5 kg/hab (547,50 kg/ano), Portugal na ordem de 1,45 kg/hab (529 kg/ano), o Brasil está na ordem de 1,0kg/hab (365 kg/ano) e o Japão, com 1,30 kg (474,50kg/ano) de descarte por pessoa diariamente.

Ademais, estudos de Ribeiro e Moreira (2009), Kaza *et al.* (2018), Ganiet *et al.* (2021), Albuquerque (2022) e Coachy (2023) relataram que anualmente, são produzidos

2,01 bilhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos no mundo, dos quais pelo menos 33% não seguem um destino considerado ambientalmente correcto, sendo que apenas 16% é reciclado adequadamente.

Conforme Bernardo (2008) e Jannuzzi (2008) estima-se que, *em África, são gerados em torno de 0,5 kg a 0,8 kg de resíduos por cada habitante, um padrão variável de acordo com a região.*

Na cidade de Maputo, em Moçambique, a geração diária por pessoa é de 1,0 kg/ (pessoa.dia), o que corresponde a cerca de 1135.000 toneladas de resíduos por ano.

Este cenário não é muito diferente dos descritos por Stren & White (1989), Ferreira (2018) e Reis e Martins (2022) para as cidades de Dar-es-Salaam (Tanzânia), onde cerca de 1.929 toneladas de lixo são produzidas por dia, enquanto na cidade de Luanda (Angola), gera-se aproximadamente 2.000 m³ de RSU por dia.

A cidade capital do Uganda, Kampala, produz sozinha cerca de 430.000 toneladas de resíduos sólidos anualmente e Mbale produz cerca de 70 toneladas de lixo por dia.

A cidade de Malindi (Quénia), produz 36.000 t/ano, mas apenas 7.300 t/ano são transportados para locais de descarte pelo serviço de colecta municipal e 28.700 toneladas são abandonadas nas portas das casas.

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), (1999), do total de lixo produzido nas cidades africanas apenas 16 - 20% recebe tratamento adequado e 80% é descartado em espaços abertos e corpos de água (JEN, 1997; BERNARDO, 2008).

Conforme Santos (2019) e Lin *et al.* (2021) as recentes pesquisas desenvolvidas pelo Banco Mundial em parceria com a Organização das Nações Unidas (ONU), prevêem um aumento de 80% (cerca de 3,8 bilhões de toneladas/ano) na geração de RSU até 2050 a nível global em relação a 2020.

Considerando-se que se espera que o crescimento populacional atinja os nove bilhões de habitantes no período em alusão, evidencia-se de forma clara que, este crescimento, irá incrementar significativamente a produção de RSU para as quatro bilhões de toneladas/ano, caso não ocorra uma mudança nos padrões de consumo atuais.

Albuquerque (2022) chama atenção ao facto de que, se nada for feito em relação ao tratamento de RSU, a situação será catastrófica, pois, até 2026, haverá mais 1,4 bilhão de pessoas vivendo em cidades em todo o mundo, com cada pessoa produzindo uma média de 1,42 kg de resíduos sólidos urbanos (RSU) por dia.

Estima-se que os resíduos urbanos anuais em todo o mundo tripliquem, de mais de 680 milhões a 2,2 bilhões de toneladas por ano.

De acordo com o Fundo Mundial para a Natureza (WWF) (WWF, 2022), os principais produtores de resíduos são: Estados Unidos da América (1º), China (2º), Índia (3º), Brasil (4º), Indonésia (5º) e Rússia (6º). Salientar que a China tem sido o país que recebe resíduos de todo o mundo devido a sua política de reciclagem e valorização.

Deste modo, na figura 3 a seguir, apresenta-se o mapa mundial de lixo plástico, conforme a WWF.

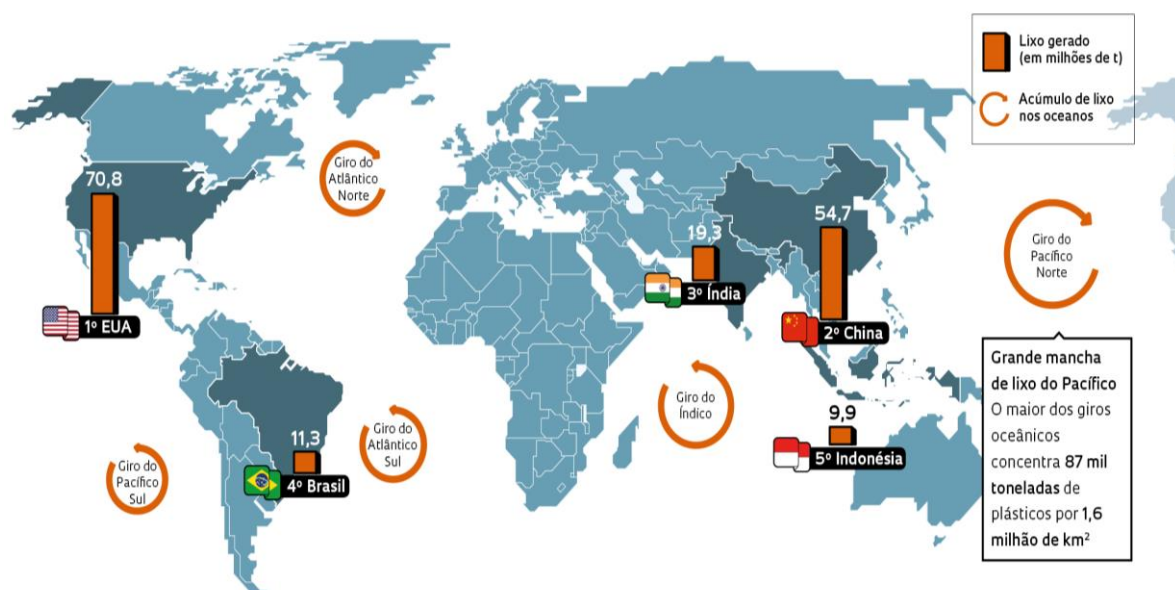


Figura 3: Mapa mundial de Resíduos Plásticos.

FONTE: (WWF, 2022).

Uma análise do mapa, permite constatar que apesar de a África não ter uma contribuição significativa directa na globalidade dos resíduos sólidos gerados no mundo, mas as taxas de crescimento populacional e o desenvolvimento económico acelerado, resultante da descoberta de novas reservas de petróleo e outros recursos naturais, verificado em alguns países, poderá ser uma base para a sua entrada neste mapa num futuro próximo.

2.7.2. Situação moçambicana

O desenvolvimento da sociedade traz consigo diferentes desafios, entre os quais a gestão de resíduos em geral e de Resíduos Sólidos Urbanos em particular e, Moçambique, não é excepção (HENRIQUES *et al.* 2004; CALADO, 2020).

Os vários municípios e distritos do país deparam-se com uma produção de resíduos crescente e diversificada, para a qual é necessário assegurar o devido tratamento, uma prática quase inexistente no país, onde o sistema convencional de saneamento apenas cobre 26% da população urbana (MTA, 2020; DIAS, 2021).

Conforme o Ministério da Terra Ambiente e Desenvolvimento Rural (MITADER) (2021), com base nas capitações (produção de resíduos por habitante por dia) de diferentes referências, estima-se que em Moçambique sejam produzidas cerca de 10.500 toneladas de RSU domésticos por dia (ou 3,8 milhões de toneladas por ano).

Actualmente, o principal destino dos Resíduos Sólidos em Moçambique são as lixeiras a céu aberto e os aterros controlados (RIBEIRO & BUQUE, 2014; ZANTA, 2016). Conforme Rodrigues (2015), Castilhos (2015), Albuquerque (2022) e Coachy (2023) ainda que Moçambique apresente uma das mais baixas capitações da África subsariana, é esperado o seu aumento em função do desenvolvimento económico, o que, somado ao crescimento populacional, irá traduzir-se numa produção crescente de RSU.

Na tabela a seguir, apresentam-se as taxas anuais de geração de RSU das principais cidades de Moçambique.

Tabela 3: Estimativas de produção de RSU domésticos por província moçambicana em ton/ano.

Província	Capitação kg/(hab.dia)	Produção (ton/ano)
Niassa	0,33	244 757
Cabo Delgado	0,33	281 043
Nampula	0,34	757 366
Zambézia	0,30	559 631
Tete	0,30	343 033
Manica	0,30	237 185
Sofala	0,44	356 822
Inhambane	0,36	196 683
Gaza	0,34	179 530
M. Província	0,47	430 093
M.Cidade	0,62	249 195
Moçambique	0,36	3 815 336

FONTE: (MTA, 2021).

Relativamente à composição física dos resíduos, em termos de grandes grupos de componentes, verifica-se a seguinte distribuição percentual: 60% de materiais facilmente fermentáveis (matéria orgânica); 25% de materiais potencialmente recicláveis e 15% de outros (MTA, 2021; GANI *et al.*, 2023; MONJANE *et al.*, 2023).

2.8. Resíduos Sólidos na Matriz Energética Mundial, Regional e Moçambicana

Com o crescimento da população mundial, cresce também a demanda por energia, principalmente nas áreas urbanas (ADEROJU, 2019).

As áreas urbanas abrigam, actualmente, cerca de 55% da população mundial, com a previsão deste número poder crescer para 68% até 2050.

Prado *et al.* (2021) apontam que mais de 65% dos RSU são potencialmente energéticos, mas a integração de RSU na matriz energética mundial continua muito baixa. Da totalidade de RSU gerados, apenas 13,5% são usados como fontes de energia em centrais termoeléctricas, mantendo-se o resto nos centros de geração ou descarte sem tratamento adequado.

Os autores apontam que, factores como: *falta de conhecimento, fraca pesquisa, deficiente política de incentivo ao mercado de resíduos, falta do comprometimento dos governos em alternativas energéticas, alto custo de tecnologias de valorização*

energética de resíduos e a abundância de fontes fósseis nalguns países, podem estar por detrás desta fraca integração.

Estes factores concorrem para que, apenas alguns países desenvolvidos consigam implementar as políticas de integração de RSU na matriz energética local.

No gráfico 1, apresentam-se os países com a maior matriz energética com base em RSU do mundo.

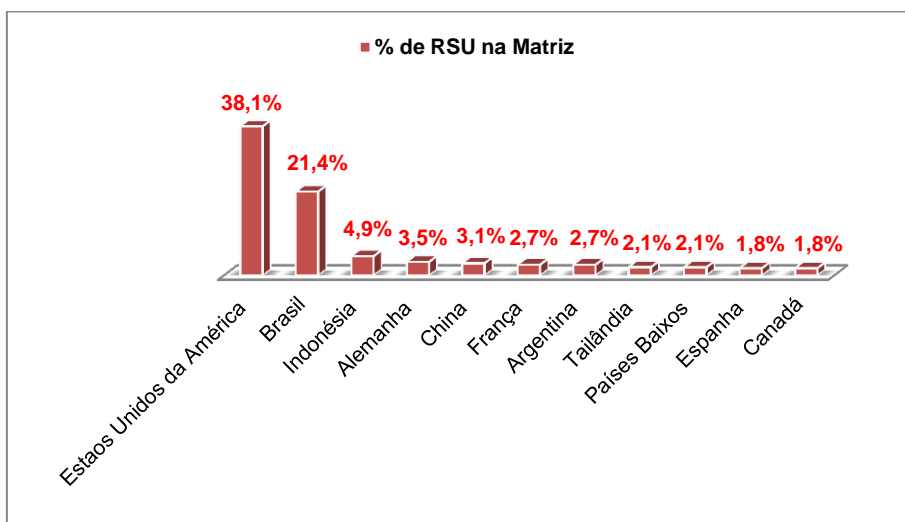


Gráfico 1: Percentagem de RSU na matriz energética mundial.

FONTE: Adaptado de (YURCHENKO, 2016; EZAMANI, 2017).

Segundo Zamani (2017) e Prado *et al.* (2021) actualmente são gerados, em todo mundo, cerca de 1,4 bilhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) por ano, uma média de 1,2 kg gerados por pessoa/dia, podendo subir para quatro bilhões de toneladas em 2050.

De acordo com Yurchenko (2016) e Silva & Cleber (2020) os RSU possuem um potencial energético assinalável, outrossim, pouco se aproveita devido à fraca pesquisa do seu potencial para fins energéticos, acabando por ser descartados no meio ambiente.

Por outro lado, a actual matriz energética mundial é maioritariamente (cerca de 81,1%) baseada em fontes fósseis em detrimento de fontes renováveis (que representam apenas 15%). Desta totalidade, 9,8% corresponde à energia da Biomassa (ALFAIA, 2017; BARROS, 2020).

Actualmente, nalguns países, é feito um aproveitamento dos RSU, como resultado de estudos sobre a valorização energética de resíduos no contexto das tecnologias WTE (ADEROJU & GUERNER DIAS, 2018).

Conforme sustenta Maranhão (2008) a União Europeia destaca-se nesse novo cenário, tendo sido pioneira na implementação destas políticas de uso de Tecnologias WTE e empreendido esforços no seu crescente aprimoramento.

Rocha (2022) e Simango *et al.* (2023) afirmam que os Estados Unidos da América ocupam o primeiro lugar no *ranking* de países produtores de biocombustível, sendo seguidos pelo Brasil que ocupa o segundo lugar dos países produtores de biocombustível a nível mundial, à base de cana-de-açúcar e seus resíduos.

No cenário actual estadunidense, a incineração é a tecnologia de transformação de resíduos em energia mais conhecida para o processamento de Resíduos Sólidos Municipais (RSU) que domina o mercado de WTE de base térmica.

De acordo com a *WTE Market* (2018) e Chen *et al.* (2018) a partir de 2035, espera-se que a tecnologia térmica represente a maior participação no mercado global de conversão de resíduos em energia, com as usinas podendo atingir uma eficiência óptima de 80%.

Segundo Fortes (2019), Fernandes (2020), Júnior (2021) e Cochy (2023) em 201968 usinas de energia nos Estados Unidos geraram cerca de 14,6 bilhões de *quilowatts-hora* de electricidade, com a queima de 31,5 milhões de toneladas de RSU combustível.

Os materiais de biomassa representaram cerca de 64% do peso do RSU combustível e cerca de 51% da electricidade gerada.

Contrariamente, Guedes & Silva (2020) afirmam que o Brasil não possui usinas de tratamento térmico de resíduos sólidos, mas apenas usinas de aproveitamento de biogás de aterros sanitários, que geram cerca de 355 MW/h de energia eléctrica.

De acordo com Fernandes *et al.* (2020) são considerados passíveis de reaproveitamento e reciclagem cerca de 30% a 40% de todo o resíduo gerado no Brasil, outrossim, apenas 13% são reciclados, sendo o plástico o resíduo mais reutilizado na reciclagem energética.

Pinto *et al.* (2012) e Coelho *et al.* (2013) estimaram a quantidade média de resíduos produzidos por pessoa para estabelecer a quantidade de energia gerada baseando-se numa modelação matemática, tendo obtido uma média de 0,65 kg/dia de resíduos por pessoa, o que corresponde a 14,22 kW/mês de energia gerada por pessoa.

Comparando o potencial de recuperação energética do plástico, Coelho *et al.* (2013) demonstraram que os plásticos contêm cerca de 46.000 kJ/kg de energia recuperável. Por outro lado, em resíduos comerciais, no qual predomina papel e excesso de plástico, o potencial calorífico pode ficar entre 14.000 kJ/kg a 17.000 kJ/kg.

Por outro lado, Davis & Cornwell (1991) e Rocha (2002) corroboram com Coelho *et al.* (2013) afirmando que *as usinas de energia a partir dos resíduos (WTE) podem produzir aproximadamente 600 kWh de electricidade por tonelada de resíduos.*

De acordo com os relatórios da Exam.com.2025, actualmente cerca de 675 milhões de pessoas não tem acesso a electricidade no mundo e 84% desta população está na África subsahariana, sendo que em todo o continente africano, esta parcela é de cerca de 600 milhões de pessoas e estima-se que o número chegue aos 700 milhões até 2030, até porque a África depende, fundamentalmente, de hidroeléctricas para a geração da sua electricidade.

Em África, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), considera a produção simultânea de calor e de electricidade um meio inovador para que o continente satisfaça as suas necessidades energéticas (FERREIRA *et al.*, 2014; LIN *et al.*, 2021).

Um investimento de dez milhões de Dólares em produtores de açúcar, em países como Quênia, Etiópia, Malawi, Sudão, Uganda, Tanzânia e Suazilândia, esperava-se que fosse capaz de gerar, até 2022, cerca de 40 MW em electricidade a partir de RSA.

Costa (2016) e Zmani (2017) afirmam que *“o processo, de cogeração proposto, envolve resíduos de produtos como açúcar, celulose e papel, além de sobras do processamento de culturas como madeira, café, milho, arroz, sisal, óleo de palma”,* para transformação em energia eléctrica.

De acordo com o Fundo Nacional de Energia – (FUNAE) (2013) Moçambique possui um potencial em biomassa de cerca de 2118 MW correspondente a 33 locais com potencial de geração de energia a partir da biomassa.

O potencial em causa dá referência aos resíduos agro-florestais (Centrais de Queima de Licores Negros de resíduos do processo de fabrico de Celulose, Centrais

de Biomassa Florestal, casca de arroz, coco, palmar doente e Centrais de Bagaço da cana de açúcar em açucareiras).

Actualmente, várias são as iniciativas, para a geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos, em desenvolvimento, destacando-se o *Projecto de Avaliação das Necessidades Tecnológicas*, para gestão e tratamento de RSU (ERC, *et al.*, 2018).

A tecnologia eleita para este projecto são *aterros sanitários* com geração de Biogás (para Nampula) com capacidade para 500 t/dia de RSU, *aterro sanitário-biorreactor* para a área Metropolitana de Maputo (Maputo, Matola e Boane), com uma capacidade de 1500 t/dia, mas todos nunca funcionaram plenamente.

Paralelamente, foram desenhadas oitounidades de tratamento pirolítico de RSU para oito cidades municipais moçambicanas, nomeadamente: Xai-Xai, Inhambane, Chimoio, Tete, Quelimane, Nacala, Pemba e Lichinga, com capacidade que deve variar em função do índice de geração de RSU de cada um dos oito centros urbanos identificados, podendo variar entre 70 t/dia e 540 t/dia.

2.9. Parâmetros físicos dos combustíveis sólidos

A caracterização física dos resíduos visa determinar o potencial de uso de resíduos para a geração de energia tendo como base as propriedades físicas, química-elementares e estrutura micrográfica.

Os parâmetros mais importantes, na análise física de combustíveis sólidos, são: *densidade, massa, humidade, carbono fixo, cinzas, teor de voláteis* e outras características físicas da matéria por análise termogravimétrica (T entre 50°C e 900°C) (MARCELINO *et al.*, 2017; CHEN *et al.*, 2017).

Destes parâmetros, será abordado com mais detalhes o teor de *humidade, teor de voláteis, o teor de cinzas e o teor de carbono fixo*.

a) Teor de Humidade (TH)

O teor de humidade pode ser definido como sendo a massa de água contida na biomassa e pode ser expresso tanto na base húmida (bh), quanto na base seca (bs).

De acordo com Pinheiro *et al.* (2015) & Da Silva *et al.* (2017) “o teor de humidade presente na Biomassa pode interferir noutras propriedades, como o Poder Calorífico Inferior (PCI) ao qualestá intimamente ligado”, pois este decresce com o aumento da

humidade e, por seu turno, coma conductividade eléctrica que é outro factor que depende do teor de humidade da biomassa originária de produção agrícola, que pode possuir um teor de humidade entre 1,5% a 3,0% bh.

A humidade apresenta-se na biomassa sob duas formas: a humidade intrínseca relacionada com a sua composição e a humidade extrínseca influenciada por condições climáticas e origem. Pode variar desde valores mais baixos, em torno de 10%, até valores mais elevados, como 50% em caso de biomassa fresca (VIEIRA, 2012; KOMISLIS *et al.*, 2014).

A presença de mais água no processo indica que mais energia será requerida para vaporizá-la e, conseqüentemente, menos energia estará disponível para as reacções endotérmicas responsáveis pela produção de H₂ e CO (LIU, 1997; TAIMO *et al.*, 2021).

A biomassa com teor de humidade inferior a 20 % pode ter influência positiva no processo de gaseificação devido à intensificação da reacção gás/água (TSUNATU, *et al.*, 2015).

b) Teor de Voláteis (TV)

Conforme Vieira *et al.* (2012), Vaz & Pinto (2017), Marcelino *et al.* (2017) e Xavier *et al.* (2023), o teor de voláteis (TV) é a parte da biomassa que se evapora como um gás (CO, CO₂ e Hidrocarbonetos), incluindo a humidade, por aquecimento.

O teor de voláteis é quantificado medindo-se a fracção de massa da biomassa que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850°C (ADEROJU & GUERNER DIAS, 2019).

Por outro lado, Amisse *et al.* (2021) e Alfredo *et al.* (2022) referem que “o material volátil interfere na ignição, pois quanto maior for o teor de voláteis, maior será a reactividade e, conseqüentemente, a ignição, reduzindo o tempo de permanência do combustível no frono, reduzindo o poder calorífico do material”.

Para Aderoju & Guerner Dias (2018) genericamente, a biomassa apresenta um alto conteúdo volátil, com valores em torno de 75% a 90% dependendo de suas características. O conhecimento sobre o teor de materiais voláteis é fundamental para planear e dimensionar fornalhas e, também, determinar as quantidades de ar

necessárias ao fluxo adequado dos gases e à combustão suficiente da biomassa nos processos de conversão energética.

c) Teor de Cinzas (Cz)

Conforme Vasconcelos *et al.* (2022) e Chachuaio *et al.* (2023) as cinzas são definidas como resíduos da combustão de biomassa e são compostas de substâncias inorgânicas.

Para Oliveira *et al.* (1982) e Arantes (2009) o teor de cinzas da biomassa é a massa dos resíduos sólido inorgânico existente e varia de 0,10%, no caso da madeira, até 15,0% em alguns materiais agrícolas.

Neste contexto, os resíduos resultantes da combustão dos componentes orgânicos e a oxidação dos inorgânicos são caracterizadas como teor de cinzas.

Assim, as cinzas são resultados da combustão da biomassa, a qual se processa a altas temperaturas, tornando-se necessário o conhecimento do comportamento destas cinzas para evitar operações inadequadas.

A cinza no combustível pode ter diversas origens, como: elementos metálicos e semi-metais ou metalóides, presentes na estrutura molecular do combustível, devido à sua própria formação; fragmentos de argila, areia, sais, pirite, etc., agregados à biomassa; fragmentos do solo misturados com a biomassa na colheita e/ou manuseio, entre outros (AMISSE *et al.*, 2021).

Quando em alta concentração, as cinzas devem ser removidas no início de cada carregamento do forno, para prevenir alterações na transferência de calor em função da diminuição do poder calorífico e da perda de energia (VIEIRA, 2012).

Outros possíveis problemas associados são, por exemplo, a formação de depósitos maiores de impurezas, que afectam a resistência térmica além de maior necessidade de manutenção periódica dos equipamentos (OLIVEIRA *et al.*, 1982; MEITA, 2002; RAO *et al.*, 2010; VALE *et al.*, 2010).

As cinzas são, genericamente, constituídas por compostos de Silício (Si), Potássio (K), Sódio (Na), Enxofre (S), Cálcio (Ca), Fósforo (P), Magnésio (Mg) e Ferro (Fe).

Quando em alta concentração, as cinzas podem diminuir o poder calorífico (PC), podem ainda causar perda de energia e a sua presença afecta também a transferência de calor sendo, portanto, necessária a remoção das mesmas.

d) *Teor em Carbono Fixo (CF)*

O teor em Carbono fixo (CF) representa a massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e os teores de humidade. O teor de Carbono fixo indica a quantidade de calor a ser gerado durante a combustão e é considerado um factor importante na qualidade dos combustíveis sólidos.

Quanto maior for este percentual, mais lentamente o combustível irá queimar e, consequentemente, maior será a sua residência no forno a elevadas temperaturas (DA SILVA *et al.*, 2019; AMISSE *et al.*, 2021).

Para Oliveira *et al.* (1982), Meira (2002), Vale *et al.* (2010), Xavier *et al.* (2016) e Lourenço *et al.* (2023) a temperatura de carbonização e o teor de Carbono fixo do biocombustível são fundamentais no seu valor energético, sendo que, altas temperaturas de carbonização, produzirão carvão com altos teores de carbono fixo.

Os valores médios admissíveis dos parâmetros físico-químicos dos combustíveis sólidos são apresentados na tabela 4:

Tabela 4: Limites admissíveis para parâmetros físicos e químicos de combustíveis sólidos.

TIPO DE COMBUSTÍVEL			
Biocombustíveis sólidos não carvões (I)			
Parâmetros	Min (%)	Max (%)	Norma
Humidade	2,31	15,0	BS CEN 14774-3:2009, ISO 18134-1:2015 e ABNT NBR 2005
Voláteis	65,0	85,0	BS CEN 15148:2009
Cinzas	1,50	3,73	ISO 18122:2015, ISO 18134-3:2015, ABNT NBR 2005 e BS CEN 14775:2009
Carbono Fixo	3,00	21,0	ISO 16948:2015 e BS CEN 15104:2011
Derivados de petróleo (Materiais plásticos) (II)			
Parâmetros	Min (%)	Max (%)	Norma
Humidade	0,0	1,0	ISO 11722:2013, ISO 17246:2005, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986
Voláteis	85,0	99,0	ISO 1350:1984, ISO 562:2010, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986
Cinzas	0,5	10,0	ISO 1171:2010, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986
Carbono Fixo	0,12	15,0	ISO 17246:2005, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986

FONTE: Adaptada de (ISO 18122:2015; SHARUDDIN *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2017; FILHO 2020; MACAMO, 2023).

2.10. Composição Química-elementar dos Combustíveis sólidos e Fundamentos da Espectroscopia de Raios-X por Dispersão em Energia (EDS)

Conforme Wess *et al.* (2004), Aderoju *et al.* (2015), Vaz & Pinto (2017) e Marcelino *et al.* (2017) *toda a biomassa contém na sua composição uma variedade de elementos químicos, a destacar: Nitrogénio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Sódio (Na) e Silício (Si).* Algumas poucas variedades incluem *Manganês (Mn), Arsénio (As), Ferro (Fe), Molibdénio (Mo), Cobre (Cu) e Zinco (Zn).*

Deacordo com Lourenço (2023) *a concentração de todas estas substâncias inorgânicas na biomassa depende das condições de cultura, local de produção e tempo de colheita,* justificando-se assim a diferença na composição elementar de cada combustível.

Constituintes inorgânicos em biomassa têm sido estudados extensivamente por causa da sua influência significativa na escória, incrustação e corrosão, bem como na formação de poluentes durante os processos de combustão destes materiais.

Com base nesta abordagem, fica evidente que a caracterização física, química e energética, antes da tomada de decisão sobre a tecnologia de valorização energética de resíduos, mostra-se uma etapa fundamental nos processos de reaproveitamento energético de resíduos.

Neste contexto, estudando o valor energético da casca de coco para fins energéticos, Marcelino *et al.* (2017) através da análise física (imediata), elementar, térmica e energética, encontram valores óptimos (abaixo de 20% para cada parâmetro) para os parâmetros físicos como: humidade, cinzas, voláteis e carbono fixo.

Por outro lado, Namkung *et al.* (2022) no seu estudo sobre análise do potencial de geração de Bio óleo por pirólise de misturas de plásticos (PP, PEAD, PEBD e PS), analisaram quatro sistemas de pirólise, com vista a encontrar o mais óptimo e obtiveram também resultados dentro dos padrões considerados aceitáveis para materiais plásticos.

Rodrigues *et al.* (2019) no seu estudo sobre avaliação da relação entre a *composição elementar com o potencial energético,* concluíram que os resíduos agrícolas biodegradáveis são uma promessa futura para a geração de energia limpa

através de tecnologias *Waste to Energy* (WTE), num contexto em que está cada vez mais evidente a limitação de fontes de energia não renováveis, para a geração de energia para todos.

Estudando o potencial energético de resíduos sólidos domiciliares no Paraná, usando como técnica a incineração, Da Silva *et al.* (2017) obtiveram valores não muito diferentes dos obtidos por Marcelino *et al.* (2017) e Rodrigues (2019) que usaram como técnicas de conversão e recuperação energética a *pirólise* para os parâmetros: carbono fixo variando entre 0,06/kg a 0,09 g/kg, materiais voláteis entre 0,75 g/kg a 0,81 g/kg e cinzas entre 0,10g/kg a 0,18g/kg, considerados ótimos para fins energéticos.

Estes valores mostram-se relevantes e de interesse em estudos de biomassa, na medida em que, para além de semelhantes aos encontrados por outros pesquisadores com métodos diferentes, assemelham-se aos encontrados por Sharuddin *et al.* (2016) sob condições similares.

De acordo com Marcelino *et al.* (2017) é muito importante compreender a composição química-elementar dos materiais a serem usados em ensaios de geração de energia, pois a composição química-elementar de resíduos permite prever o potencial energético dos resíduos através da sua constituição elementar.

Tchobanoglous *et al.* (1977), Wess *et al.* (2004) e Othman *et al.* (2008) sustentam que a análise final permite determinar a percentagem dos elementos constituintes da amostra, dando informação mais clara e consistente dos constituintes, como é o caso de: Enxofre (S), Nitrogénio (N), Oxigénio (O), Carbono (C) e Hidrogénio (H) assim como o teor de cinzas presente na amostra após a incineração.

Também conhecida como análise elementar, este ensaio permite estimar o Potencial Calorífico Superior (PCS) dos combustíveis com base nos percentuais mássicos dos elementos, Carbono (C), Hidrogénio (H), Oxigénio (O), Nitrogénio (N), Enxofre (S) e Cinzas (Cz), também conhecida como análise empírica (OTHMAN *et al.*, 2008).

Marcelino *et al.* (2012) referem que quanto maior a proporção de Oxigénio e Hidrogénio, em comparação com o Carbono, o valor energético de um combustível é reduzido, devido à menor energia contida nas ligações em **C–O** e **C–H** comparação com ligações **C–C**.

Os percentuais mássicos médios dos elementos constituintes dos combustíveis sólidos são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 5: Valores médios aceitáveis para constituintes elementares de combustíveis.

TIPO DE COMBUSTÍVEL						
Biocombustíveis sólidos não carvões (I)						
Parâmetros	Percentuais médios em resíduos de Biomassas				Referências teóricas	
Carbono	45,0%				Lourenco (2023), Sharuddin <i>et al.</i> (2016), Protasio <i>et al.</i> (2013)	
Hidrogénio	6,2%					
Nitrogénio	0,4%					
Enxofre	0,038%					
Oxigénio	47,0%					
Outros elementos	< 5,0%					
Normas: ISO 16948:2015 e ASTM D 5373-16 e ISO 16994:2016, ISO 17115-6:2014 e ISO 16948:2015						
Derivados de petróleo ou similares sólidos (II)						
Parâmetros	Percentuais por Plástico					Referências teóricas
	PET	PEAD	PEBD	PP	PS	
Carbono	64,0	87,0	86,0	85,0	92,0	Honus <i>et al.</i> (2016), Chen <i>et al.</i> (2017), Sharuddin <i>et al.</i> (2017), Mendonça <i>et al.</i> (2017)
Hidrogénio	4,20	12,0	13,4	14,5	7,80	
Nitrogénio	0,01	0,27	0,26	0,50	0,50	
Enxofre	0,01	0,07	0,00	0,03	0,04%	
Oxigénio	33,0	0,56	0,00	0,40	0,2	
Cloro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Outros elementos	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	
Normas: ASTM E1131 e ASTM D5373						

FONTE: Adaptada de (FILHO, 2020).

2.11. Potencial Calorífico de Combustíveis (PC)

Segundo Aderoju & Guerner Dias (2018) o Potencial Calorífico de um combustível é a quantidade de energia libertada na queima completa de uma determinada massa de combustível, este, pode ser dividido em superior e inferior, também designado Potencial Calorífico Útil (Dcu) (WESS, 2004; VIEIRA, 2012).

Para Aderoju *et al.* (2015) quando ocorre a combustão completa de uma unidade de combustível esta liberta energia térmica e, esta, é geralmente medida em termos da energia por unidade de massa ou volume, daí MJ/kg (sólidos) ou J/kg, a MJ/L para líquidos e, por fim, para gases para MJ/Nm³.

De uma maneira geral, essa propriedade depende da composição da biomassa e do seu grau de humidade.

- *Potencial Calorífico Superior (PCS/VCS)*

Refere-se à quantidade de calor libertada quando uma substância entra em combustão e os gases de descarga são arrefecidos, de modo a que o vapor de água seja condensado, constituindo assim a soma da energia libertada na forma de calor e a energia gasta na vaporização (PCI) forma de calor (RAO, 2010).

- *Potencial Calorífico Inferior (PCI/VCI)*

Também conhecido como poder calorífico útil (Dcu) é uma grandeza relacionada com o potencial calorífico disponível para a conversão de energia útil em sistemas de combustão.

Também pode ser definido como sendo a quantidade de energia libertada na forma de calor quando a água contida no material está na forma de vapor. Este difere do PCS pelo facto deste considerar as perdas de energia para a vaporização da água presente na biomassa ou outro material combustível (POSSOLI *et al.*, 2013).

- *Potencial de Recuperação (P_{RE}) e de Geração energética (P_{GE})*

Conforme Tsunatu *et al.* (2015) e Jesus *et al.* (2017), o P_{RE} , é a quantidade possível de energia recuperada a partir de RSU, baseada em diferentes métodos de conversão e é função do valor calorífico de cada resíduo e do conteúdo orgânico que os constitui.

Para Da Silva *et al.* (2019) o potencial de conversão e recuperação energética dos RSU, através da incineração, pode ser estimado de três formas:

- *Potencial energético tomando-se como base a colecta indiferenciada, isto é, deixando 100% dos RSU para incineração;*
- *Potencial energético considerando-se a segregação de parte dos materiais recicláveis ou não;*
- *Potencial energético considerando-se a segregação de 100%.*

Por outro lado, o Potencial de Geração de Energia (P_{GE}) é definido como sendo a quantidade de energia que pode ser gerada por unidade de tempo a partir de resíduos ou outra fonte de energia.

Tabela 6: Valores limite de Poder Calorífico de alguns combustíveis sólidos.

TIPO DE COMBUSTÍVEL		
Biocombustíveis sólidos não carvões (I)		
Material	Poder Calorífico (kJ/kg)	Valores de referência (kJ/kg) 3000– 26500
Cápsula-de-amendoim	20083,20	Majumder <i>et al.</i> (2008), Sheng & Azevedo (2005), Protásio <i>et al.</i> (2011), Carvahó (2005), Bech <i>et al.</i> (2009) e Strong (2020)
Caroço-de-milho	16736,00	
Pé-de-feijoeiro	12970,40	
Normas de referência: ISO 16948:2015 e ASTM D 5373-16		
Derivados de petróleo ou similares sólidos (II)		
Material	Poder Calorífico (kJ/kg)	Valores de referência (kJ/kg) 24 000 – 48000
PET	24685,60	Filho (2020), Sharuddin <i>et al.</i> (2016), Chen <i>et al.</i> (2017), Costa (2006), Jannatkhan (2020) e Boundy <i>et al.</i> (2011)
PEAD	46630,68	
PEBD	46567,92	
PP	31170,80	
PS	44183,00	
Normas de referência: ASTM E1131 e ASTM D5373		
PCI de Outros derivados de Petróleo (Kj/kg)		
Gasóleo	36066,08	Filho (2020)
GNL	4518,20	
Gasolina	44300,92	
Gás Natural	35982,40	

FONTE: Adaptada de (CHEN *et al.*, 2017; FILHO, 2020; LOURENÇO *et al.*, 2023).

2.12. Relação entre a Composição Física, Química e o Potencial Energético de Resíduos Sólidos

Conforme Protásio *et al.* (2011) e Macamo *et al.* (2023) a análise elementar e micrográfica do combustível é uma ferramenta importante na determinação do potencial energético, pois é um factor relevante nas suas propriedades físicas e conteúdo em cinzas.

Friedl (2005), Parickh *et al.* (2005), Sheng & Azevedo (2005), Majumder *et al.* (2008), Akkaya *et al.* (2009) e Erol *et al.* (2010) estudaram a relação entre os constituintes químicos das amostras com o respetivo PCS, considerando que, a sua

determinação e conhecimento preliminar, podem contribuir na redução de custos com a tecnologia, fornecendo bases para uma melhor escolha dos resíduos para fins energéticos.

Themilis (2006) e Huang *et al.* (2023) sustentam que *existe uma forte correlação directa entre o conteúdo de Carbono e Hidrogénio com o PCS do combustível.*

Carvalho (2005), Aderoju & Guerner Dias (2018) e Aderoju *et al.* (2019) afirmam que, apesar do Oxigénio ser um elemento fundamental na promoção da combustão, quando em altos teores reduz significativamente o PCS, pois propicia a formação de óxidos não combustíveis que compõem as Cinzas.

Sheng & Azevedo (2005) e Protásio *et al.* (2011) afirmam que *as correlações baseadas na análise elementar são as mais acuradas quando comparadas àquelas realizadas com a análise imediata*, porque esse tipo de análise fornece apenas uma composição empírica da biomassa.

Conforme Majumder *et al.* (2008) as correlações baseadas na composição química (lignina e extractivos) não são viáveis, devido à variação das propriedades dos componentes. Contudo, a adição do teor de cinzas nos modelos pode contribuir para a capacidade preditiva das equações ajustadas.

De acordo com Carvalho (2005), Bech *et al.* (2009), Strong (2020), Norberto *et al.* (2021) e Lima *et al.* (2021) a modelagem, com o uso de regressões lineares simples ou múltiplas, pode ser fundamental para analisar a relação entre variáveis e realizar previsões, seja do PCS, dos componentes químicos elementares (carbono - C, hidrogénio - H e oxigénio - O) ou do teor de cinzas (A).

Salienta-se que esses componentes não são os únicos presentes na biomassa vegetal, mas são os de maior relevância a serem estudados devido às relações entre esses elementos (C, H, O e S) e o Potencial Calorífico.

2.13. Tecnologias de Tratamento e Valorização Energética de Resíduos Sólidos (Waste to Energy)

Neste subcapítulo apresenta-se e descreve-se as diferentes tecnologias de valorização energética de resíduos (WTE) com incidência na incineração.

De acordo com Namkung *et al.* (2022) muitos países têm prestado atenção em relação à rápida geração de resíduos derivados de polímeros, que tem contribuído para o crescimento da produção de plástico.

No mesmo âmbito, Paiva *et al.* (2021) defendem que a participação das fontes renováveis de energia, na matriz energética mundial, deve ser incrementada e diversificada nos próximos anos, podendo ser através da integração de RS na matriz recorrendo a Tecnologias WTE.

As Tecnologias de Tratamento e Valorização Energética de Resíduos Sólidos (TeTra-VERS), também conhecidas como *Waste to Energy* (WTE), têm uma história rica e evolutiva no campo da gestão de resíduos, sendo consideradas a melhor forma de tratamento e valorização de RSU na actualidade (ADEROJU *et al.*, 2017; ZHAO *et al.*, 2022).

O uso das WTE para o tratamento de RSU data do período durante e após a Segunda Guerra Mundial onde a incineração começou a ser usada em larga escala para lidar com a crescente quantidade de lixo urbano (GUNAMANTHA, 2016; ADEROJU & GUERNER DIAS, 2018).

Conforme a Associação Brasileira de Embalagens Plásticas (ABRELPE) (2017), ABRELPE (2018) e Fonseca (2020) uma *Tecnologia Waste to Energy é um conjunto de processos de tratamento e valorização de resíduos, cujo principal subproduto é a energia, seja sob a forma de produção de electricidade ou calor, seja sob a forma de produção de Combustível Derivado de Resíduos (CDR)* (GOLWALA *et al.*, 2021; CHAN *et al.*, 2022).

As principais tecnologias WTE são: Biodigestão, Pirólise, Gaseificação, Combustão, Incineração, Fermentação alcoólica e Destilação e Transesterificação (TAIMO *et al.*, 2021; MACAMO *et al.*, 2023).

Vale frisar que, dentro das tecnologias WTE, duas subcategorias podem ser evidenciadas, nomeadamente, WTE e WTF (SCHYNS & SHAVER, 2021).

As tecnologias WTF são as que permitem a geração de combustíveis (líquidos, gasosos ou sólidos, Biogás, Bioóleo, Biochar, Bioetanol, Biodiesel). São exemplos desta categoria: a transesterificação, fermentação alcoólica, pirólise, gaseificação, biodigestão anaeróbica (CARVALHO *et al.*, 2021; NAMKUNG *et al.*, 2022).

Na maior parte das tecnologias WTE, é necessária uma pré-selecção (recolha selectiva) de resíduos antes de sua transformação em energia, pois nem todos os resíduos possuem valor energético, como no caso das Tecnologias WTE, (CABEÇAS & LEVY, 2006; ADEROJU & GUERNER DIAS, 2019).

Os autores, corroborando com Themelis (2003), Themelis (2006), Aderoju & Guerner Dias (2019) e Namkung *et al.* (2022) e sugerem a triagem dos RSU antes de sua incineração, devido a presença nestes, de alguns materiais não energéticos e com alto teor de humidade, como forma de incrementar o rendimento dos processos.

Para suportar esta hipótese, desenvolveram um estudo em Jakarta-Indonésia, com objectivo de caracterizar os RSU gerados em residências, mercados, escritórios, indústrias e parques, assim como determinar o volume de resíduos como matéria-prima para incineração.

A metodologia consistiu numa amostragem aleatória simples, a mesma recomendada pelas Normas de referência DGQA e MODECOM, consistindo na escolha de um camião de recolha de RSU da lixeira de Bantergebang e a respectiva triagem para posterior categorização.

As amostras colhidas foram submetidas à análise para determinar a composição dos RSU através da *análise proximal* e *análise final*. Os resultados desta análise mostraram que estes resíduos têm um bom potencial para uso em incineradoras pois apresentaram baixos teores de humidade (<50%), matéria volátil (>25%), conteúdo de cinzas (<60%) e PCI (6 MJ/kg). Infelizmente, a presença de resíduos perigosos, material não combustível, resíduos volumosos, influenciaram significativamente no rendimento da incineração, pois resíduos com alto teor de humidade e cinzas ardem com dificuldades (WAHYONO *et al.*, 2022).

Existem actualmente estudos que procuram encontrar uma tecnologia de transformação de resíduos em energia (WTE) ou em combustível (WTF), todas com foco na eficiência, viabilidade ambiental e rendimento.

Com este propósito, destaca-se o estudo de Zhao *et al.* (2022) e Chan *et al.* (2022) no qual os pesquisadores analisaram a conveniência do uso das tecnologias WTF (*Waste to Fuel*) especificamente a tecnologia MBT – pirólise como estratégia de tratamento de RSU na China.

As principais tecnologias WTE usadas actualmente são: Biodegradação anaeróbica (geração do Biogás), Incineração por combustão (geração de calor) e Pirólise (geração de Bio óleo). A principal diferença entre elas consiste no: *rendimento, eficácia de conversão de resíduos, tempo de vida do equipamento utilizado, retenção de gases gerados, quantidade de resíduos gerados e exigência de uma preparação prévia da matéria-prima.*

Deste modo, considerando estes aspectos, a incineração apesar de libertar alguns gases durante o funcionamento, é considerada uma das melhores tecnologias, pois, não requer tratamento inicial especial da matéria-prima, tem alto rendimento, gera resíduos úteis para outros sectores, tem alta eficiência de conversão de resíduos e os fornos têm um relativo longo tempo de vida, não requerendo manutenção constante o que também resulta em um relativo baixo custo.

Deste modo, considerando o sistema de recolha de resíduos sólidos em Moçambique, caracterizado por uma recolha não selectiva, esta tecnologia mostra-se como a mais adequada para a valorização energética de resíduos em contexto Moçambicano, por isso neste estudo será dada ênfase a esta tecnologia.

2.14. Incineração

A incineração é comumente empregue em situações onde há grande acúmulo de resíduos e quando é necessário o tratamento de resíduos volumosos e heterogéneos (MAJUMDER *et al.*, 2008).

Um incinerador é um forno especializado, projectado com a finalidade de queimar materiais potencialmente perigosos numa câmara de combustão controlada. Os principais tipos de incineradores incluem *forno rotativo, leito fluidizado e incinerador de grelha* (KOMISLIS *et al.*, 2014; SIMANGO *et al.*, 2023).

Segundo Zao *et al.* (2022), a tecnologia de incineração consiste num incinerador em larga escala com capacidade de 500t/d por linha de operação e 3500t/d no total.

A incineração, enquanto processo de combustão controlada de resíduos, tem dentre vários objectivos, a destacar os seguintes:

a) Redução de volume dos resíduos

Dependendo da composição dos resíduos, a incineração permite uma redução em volume que pode atingir 90% dos valores iniciais e uma redução em massa de 79%.

Esta redução garante uma vantagem económica e ambiental pois reduz os custos em transporte e de espaço para destinação final, para além de recuperação de alguns materiais (vidro, metal) resultantes do processo (RIBEIRO & BUQUE, 2014).

b) Recuperação de energia

Com base na incineração a energia obtida pela combustão de resíduos pode ser utilizada sob a forma de energia térmica, energia eléctrica ou, conjugando ambas as formas, podendo substituir alguma energia produzida por combustíveis fósseis (TSUNATU *et al.*, 2015).

c) Estabilização dos resíduos

O processo tem vantagens técnicas pois pode ser realizado mediante a separação de resíduos em função da sua combustibilidade, permitindo obter melhores rendimentos energéticos, mas também pode ser feita com uma mistura de resíduos, possibilitando melhor gestão e redução dos mesmos em locais de destinação (TAIMO *et al.*, 2021).

A incineração, como processo de queima controlada de resíduos, pode ser realizada em diferentes tipos de fornos e tecnologias, cada um com suas características e aplicações específicas (CABEÇAS & LEVY, 2006).

De acordo com Taimo *et al.* (2021) e Namkung *et al.* (2022) como tecnologia de valorização energética de resíduos (sólidos e líquidos), tem as seguintes vantagens: redução do volume de resíduos, aumentando a vida útil de aterros; destruição de microorganismos patogénicos que se desenvolvem nos resíduos acumulados (especialmente em resíduos hospitalares e industriais); recuperação de energia através da queima de resíduos e possibilidade de uso das cinzas como fertilizante (ALFREDO *et al.*, 2022; MATUSSE *et al.*, 2023; CHACHUAIO *et al.*, 2023).

Apesar destas vantagens, são também reconhecidas algumas desvantagens, tais como: a libertação de poluentes atmosféricos para o ambiente, (como as Dioxinas e

Furanos), caso não haja tratamento adequado dos gases; custo inicial elevado para a instalação e manutenção de incineradores e a necessidade de monitoramento constante das emissões para garantir a segurança ambiental (PAIVA *et al.*, 2021).

De acordo com Zao et al. (2022) a escolha da incineração como técnica de valorização energética e gestão de resíduos, depende fundamentalmente das características destes resíduos, sendo determinante o poder calórico e a capacidade de auto-combustão.

CAPITULO III

3.0. METODOLOGIA

Neste capítulo estão descritos os procedimentos metodológicos, o quadro epistemológico, as técnicas, os instrumentos e os equipamentos utilizados para a recolha de dados e análise laboratorial, bem como a estratégia de categorização, sistematização e análise da informação recolhida.

A metodologia adoptada consiste na triangulação de métodos, de técnicas e de critérios de referência, testados e utilizados em estudos similares realizados por outros pesquisadores, tais como Vieira (2010) e Da Luz *et al.* (2012), Kathari (2004) e Gil (2008).

3.1. Caracterização da Pesquisa

Para este estudo, adoptou-se a abordagem quantitativa que de acordo com Fonseca (2002) e Sampiere (2013), permite recolher informações através da correlação de variáveis.

Quantitativamente, a pesquisa faz uma modelação matemática do volume de resíduos e do potencial energético dos diferentes resíduos sob diferentes cenários.

A pesquisa usa o *método dedutivo*, embasado no *procedimento experimental* pois, analisa o problema a partir do geral para o específico, avaliando variáveis *dependentes* (composição química, estrutura micrográfica e o valor energético) e *independentes* (natureza e origem do resíduo) com vista a questionar as leis e teorias existentes sobre o fenómeno em estudo e deduzir novas realidades de modo a aceitar ou rejeitar as hipóteses previamente definidas (LAKATOS & MARCONI, 2007; GIL, 2008).

3.2. Enquadramento Geográfico e Demográfico da Área de Estudo

A pesquisa foi realizada na região sul de Moçambique, em Maputo (Municípios de Maputo, Matola, Manhiça e Posto Administrativo da Maluana), a terceira mais populosa do país, com um cumulativo de mais de três milhões e quatrocentos mil habitantes (INE, 2021).

A província de Maputo localiza-se na margem ocidental da Baía de Maputo, no extremo sul do país, perto da fronteira com a África do Sul e da fronteira com a

Suazilândia e, por conseguinte, da tripla fronteira dos três países (Moçambique, Suazilândia e África do Sul), conforme apresentado na figura 4.



Figura 4: Mapa da província de Maputo.

FONTE: (MAE, 2021)

A escolha de Maputo como área de estudo deveu-se ao facto de: *ser a maior cidade do país, é o maior centro comercial do país, concentra a maior população urbana de Moçambique e alberga a maior taxa de capitação de geração de RSU (1,09) do país e, apesar de ser menos populosa, é um dos principais centros agrícolas na região sul de Moçambique* (MTA, 2020).

Após a definição da área de estudo, foram escolhidas quatro áreas de estudo (Maluana, Manhica, Matola, Maputo cidade), donde derivaram os 49 centros de triagem de resíduos.

Estas áreas foram escolhidas pelo facto de: apresentarem as maiores *taxas de capitação de resíduos, maior número da população (+ de 80%) de toda a província, maior fluxo do comércio, maior parque industrial e maior nível de urbanização*, em comparação com outros distritos e zonas que compõem a província de Maputo.

Nesta pesquisa, os centros de estudo são definidos como pequenas áreas de referência de geração ou de descarte de resíduos em cada região de estudo, nomeadamente: *residências, contentores de lixo, lixeiras e mercados municipais e áreas agrícolas rurais*. Estes centros de triagem foram escolhidos de forma aleatória pelo pesquisador.

Deste modo, no Município da Matola foram escolhidos os seguintes pontos: Lixeira de Malhanpsene (Bairro de Malhanpsene), Contentor de Malhanpsene (Bairro de Malhanpsene), Lixeira do Mercado de Malhanpsene (Bairro de Malhanpsene), Lixeira do Mercado da Machava (Bairro da Machava), Lixeira do Mercado Patrice Lumumba (Bairro Patrice Lumumba) e a Lixeira do Mercado T3 (Bairro T3).

No Município de Maputo foram escolhidos os seguintes pontos: Lixeira de Missão Roque (Bairro Georg Dimitrov), Residências (02) (Bairro Inhagoia A), Contentor de Inhagoia A (Bairro de Inhagoia A), Contentor do Alto Maé (Bairro do Alto Maé), Contentor de Malhazine (Bairro de Malhazine), Contentor de Albazine (Bairro de Albazine), Lixeira de Albazine (Bairro de Albasine) e Lixeira de Hulene (Bairro Hulene B).

No Município da Manhiça foram escolhidos os seguintes pontos: Contentor do Mercado Balucueene (Bairro Tsakane), Contentor do Mercado Aeródromo (Bairro Aeródromo), Lixeira de Pentene (Bairro Pentene), Lixeira de Maciana (Bairro Maciana), Residências (04) (Bairro Maciana), Contentor dos Macondes (Bairro Comunidade dos Macondes), Lixeira de Ribângua (Bairro Ribângua), Lixeira da Maragra (Bairro da Maragra), Lixeira do Mercado da Banana (Bairro Ka Mbeve) e Lixeira de Mulembja (Bairro Mulembja).

No Posto Administrativo de Maluana foram escolhidas também aleatoriamente quatro áreas agrícolas pertencentes a famílias do povoado de Mulunguana.

Na tabela 7 apresentam-se de forma resumida, todos os centros de amostragem e de caracterização física de resíduos.

Tabela 7: Apresentação dos pontos de amostragem por região.

ÁREA	Centro de triagem				Total de Centros
	Contentor	Mercado	Residência	Lixeira	
Área urbana					
Mun. Matola	04	05	00	05	14
Mun. Maputo	04	03	02	03	12
Mun. Manhica	03	06	04	06	19
Área Rural					
P.A. Maluana	Contentor	Mercado	Residência	Lixeira	A.Agrícola
	00	00	00	00	04
Total de Centros: 49					

3.3. Técnicas de Recolha de dados

Para o alcance dos objectivos traçados para esta pesquisa, foram definidas como técnicas de recolha de dados: a *observação simples presencial* (apêndice 09) e a *experimentação/análise laboratorial* (apêndices 1 e 2) (DAWSON, 2002; FONSECA 2002; KOTHARI, 2004; ZENATI, 2011; SAMPIERE, 2013).

A *observação simples presencial* com recurso ao *diário de observação* consistiu nas visitas sistemáticas (diárias) aos centros urbanos (residências) de geração de resíduos, centros urbanos de descarte intermediário de resíduos (contentores) e centros urbanos de descarte final de resíduos (lixeiros), com vista a descrever como é feita a gestão de resíduos sólidos e definir o plano de visitas para posterior definição da estratégia de triagem e selecção da amostra de laboratório.

Nas áreas urbanas (municípios) foram realizadas no total 60 campanhas de triagem nos meses de *Janeiro (20 campanhas)*, *Abril (20 campanhas)* e *Dezembro (20 campanhas)*.

Estes meses foram escolhidos pelo facto de, segundo a DGQA (2006) e APA (2014), a triagem e amostragem de resíduos urbanos para a definição de rotas de recolha eficiente os meses de Janeiro, Abril e Dezembro são os que melhor favorecem a caracterização, pois para além de serem períodos festivos, verifica-se muita

movimentação de pessoas em actividades turísticas e o comércio flui com mais intensidade a nível urbano.

Relativamente aos RSA foram realizadas duas campanhas nos meses de Fevereiro (uma) e Março (uma), de 2022 e 2023 respectivamente, respeitando o critério de sazonalidade, sendo que este período coincide com a época de colheita das culturas estudadas (SIMANGO *et al.*, 2023; SAUSTIANO *et al.*, 2023; CHACHUAIO *et al.*, 2023).

Nesta pesquisa, uma “campanha de caracterização e classificação de resíduos”, refere-se a uma *visita ao centro de resíduos com o objectivo de observar, caracterizar, triar e quantificar os resíduos neles depositados*.

Para a caracterização física de resíduos (RSU e RSA) recorreu-se aos procedimentos da Norma NBR 1004:2004 e *SWA-tool* (2004), que consideram duas principais classes de resíduos agrícolas: Classe I (Resíduos perigosos) e Classe II (Resíduos não perigosos).

Este processo consistiu em tomar, aleatoriamente, uma massa específica de resíduos e separá-los primeiramente em duas classes (I e II) para posterior quantificação e separação específica.

Para o efeito, foi elaborado um *guião de observação e de triagem* para o registo diário dos dados de resíduos gerados, que serviu de instrumento auxiliar para a triagem dos RSU e RSA gerados nos diferentes centros (residencial, contentor e lixeira).

Constituíram base da observação e triagem os seguintes elementos: *classe do resíduo, forma de tratamento, massa diária por tipo*, conforme recomendam (ISO 3534-1/prEN 14899:2004; SILVA & MENEZES, 2005).

Para a caracterização, classificação e quantificação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (triagem quali-quantitativa) os materiais foram colhidos com base na *amostragem mista*, sendo *probabilística conjugada* (sistemática, por conglomerados e estratificada uniforme) e *não probabilística* (por julgamento) (DUNLEAVY, 2003; EVANS *et al.*, 2014; SANTOS, 2018).

A caracterização, classificação e quantificação de resíduos consistiu em efectuar a sua triagem manual separando-os em categorias, tendo em conta os Centros de geração e de descarte (residências, contentores, mercados e lixeiras).

Esta acção decorreu em duas etapas principais:

Primeira etapa (triagem preliminar/primária): com base na Metodologia de referência USEPA (*United States for Environmental Protection Agency*) (1992), ASTM Método D5231 – 92, Tchobanoglous *et al* (1993), Yu & Maclaren (1995), MODECOM – 1998, CE (2001), Dawson, (2002), Levy & Cabeças (2006), NBR-13.230 (2008), Decreto-lei nº 94/2011, Zenati (2011), Jalongo & Saracho (2016) e Lantsoght (2018); *recolhe-se aleatoriamente uma dada massa de RSU em diferentes pontos do centro de resíduos que são posteriormente misturados para compor uma amostra composta de 10,0kg que foi posteriormente triada em sete (07) categorias (Código LER- 2014) que são também pesadas individualmente.*

Segunda etapa (triagem aprofundada/secundária): nesta fase, uma das sete categorias encontradas na fase preliminar, neste caso, os *materiais plásticos*, foi novamente triada e seus componentes pesados separadamente.

De um modo geral, o processo de amostragem para a caracterização, classificação e quantificação de resíduos (triagem) consistiu nos seguintes procedimentos:

1. Definição do Centro de Resíduos;
2. Marcação dos pontos de recolha de resíduos no Centro de Resíduos;
3. Recolha de uma determinada massa nos pontos definidos;
4. Misturadas diferentes porções de amostra (composição da amostra de triagem, que deve perfazer 10,0kg de RSU);
5. Triagem preliminar dos RSU (classificação em sete categorias);
6. Pesagem de cada categoria e registo;
7. Triagem secundária dos resíduos da categoria de estudo (material plástico) em subcategorias (PET, PS, PP, PEAD, PEBD, PVC, Outros);
8. Pesagem de cada subcategoria (tipo de resíduo plástico) encontrada;
9. Definição da amostra para análise no laboratório (os mais abundantes).

O processo de recolha, triagem, classificação e quantificação dos resíduos durante as campanhas realizadas nos centros e pontos de amostragem é resumido no diagrama 2, a seguir apresentado.

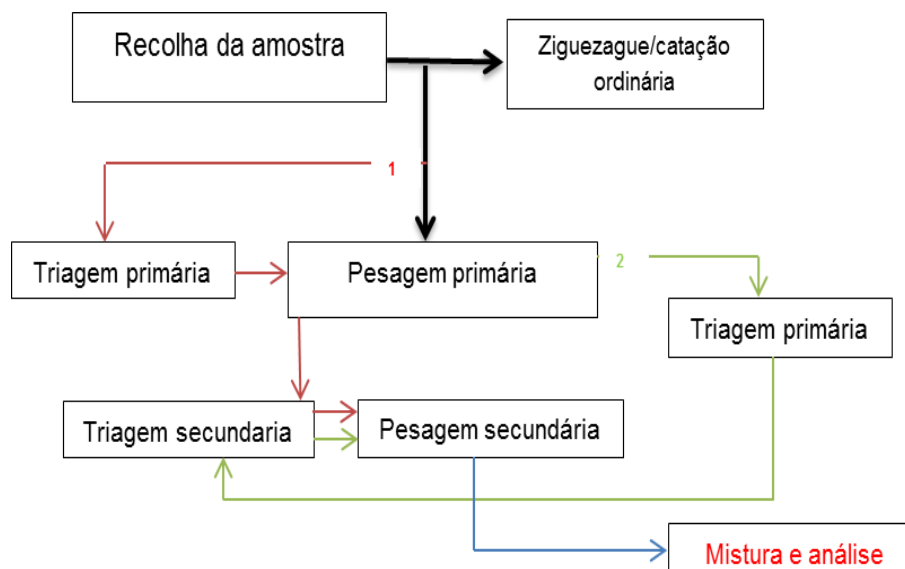


Diagrama 2: Descrição do processo de recolha, triagem e quantificação de Resíduos.

Na figura 5, apresenta-se o processo de recolha, triagem e quantificação dos RSU durante as campanhas de classificação, caracterização e quantificação.



Figura 5: Processo de recolha, triagem e quantificação de RSU – plásticos.

Com base nos resultados da triagem aprofundada, foram definidos para análise laboratorial os seguintes materiais plásticos: Polietileno Tereftalato (PET), Polietileno

de Alta Densidade (PEAD), Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), Poliestireno (PS) e Polipropileno (PP), conforme apresentado na figura 6:

Nome	 PET Polietileno Tereftalato	 PEAD Polietileno de Alta Densidade	 PEBD Polietileno de Baixa Densidade	 PP Polipropileno	 PS Poliestireno
Imagem					

Figura 6: Materiais plásticos seleccionados para análise no laboratório.

A triagem de RSA foi feita de forma simplificada, tendo-se cingido, na triagem de RSA -Orgânicos (restolhos de culturas agrícola), pela natureza da agricultura (potencialmente de subsistência) e seguiu procedimentos similares aos das etapas 1 e 2 da triagem de RSU, anteriormente descritas.

Na figura 7, apresenta-se o processo de recolha, triagem e quantificação dos RSA durante as campanhas de caracterização.



Figura 7: Processo de recolha, triagem e quantificação de RSA.

Com base nos resultados da triagem, os resíduos agrícolas definidos para análise laboratorial foram: pé-de-feijoeiro, caroço-de-milho e cápsula-de-amendoim, conforme ilustrado na figura 8.




Resíduo	Cápsula-de-amendoim	Pé-de-feijoeiro	Caroço-de-milho
Imagem			

Figura 8: Materiais agrícolas seleccionados para análise no laboratório.

3.4. Variáveis da Pesquisa

As variáveis podem ser definidas como atributos mensuráveis, que mudam ao longo de uma experiência, que servem para verificar os resultados. Assim, as variáveis definidas na presente pesquisa são categorizadas de acordo com dois critérios: a *operacionalidade* e a *relação com outras variáveis* (SILVA & MENEZES, 2005; KUH *et al.*, 2015).

Quanto à *operacionalidade*, definiu-se o *tipo do resíduo* (plásticos: PEAD, PET, PEBD, PS, PP e agrícolas: pé-de-feijoeiro, caroço-de-milho e cápsula-de-amendoim) e o local de geração/descarte como variáveis qualitativas.

A *fracção/massa de resíduos nos pontos de amostragem* e o *potencial energético de cada resíduo* foram consideradas variáveis quantitativas (GERHARDT & SILVEIRA, 2009).

Relativamente à análise da relação entre variáveis, definiu-se o *tipo de resíduo* e a *origem* como variáveis independentes, enquanto a *quantidade do resíduo no centro de descarte*, o *potencial calorífico*, as *propriedades físicas* (*Teor de W, Cz, V e CF*), a *composições química* e a *estrutura micrográfica do resíduo* foram considerados como variáveis dependentes.

Referir que o tipo de resíduo é uma variável dependente, em relação ao local de sua geração, e é uma variável independente em relação ao seu potencial energético.

Deste modo, as variáveis de estudo definidas são: *local de geração do resíduo*, *tipo de resíduo*, *potencial energético do resíduo* e a *fracção/quantidade do resíduo por tipo e local*.

3.5. Preparação da Amostra de laboratório

A *amostra de laboratório* é o material primário ou porção da subamostra devidamente preparada e entregue ou levado ao laboratório para fins analíticos (PEDROZA *et al.*, 2010; VIEIRA *et al.*, 2014).

Com base nos resultados preliminares (abundância e fraco aproveitamento) da triagem nos centros de resíduos foram seleccionadas para análise laboratorial cinco subcategorias de material plástico (PET, PP, PS, PEAD e PEBD) e três subcategorias de resíduos sólidos agrícolas (pé-de-feijoeiro, cápsula-de-amendoim e caroço-de-milho).

Esta escolha baseou-se na: *frequência/abundância destes resíduos nos centros de estudo, que pode estar associado ao não aproveitamento integral em acções de recolha pelos catadores.*

Esta metodologia foi também adoptada por Pedroza *et al.* (2010), Vieira *et al.* (2014), Macamo *et al.* (2023), Davó *et al.* (2023) e Alfredo *et al.* (2023) em seus estudos sobre caracterização física e análise energética de RSU e RSA com base em WTE.

3.6. Análise laboratorial das amostras

A preparação das amostras foi feita em dois laboratórios, nomeadamente: no Laboratório de Geologia do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e no Laboratório de Química Orgânica da Faculdade de Ciências Naturais e Matemática da Universidade Pedagógica de Maputo.

Tomando como base o *tipo de material* (vegetal ou plástico) e as técnicas analíticas a ser empregues (termogravimetria), as amostras do material vegetal recolhidas foram colocadas a secar ao abrigo do sol durante 10 dias, conforme recomendam as normas da ANBT – 2005, também adoptadas por Pedroza *et al.* (2010) e Vieira *et al.* (2014), para a caracterização física e análise proximal de RSA.

Este procedimento é dispensável para *materiais plásticos*, visto não possuir humidade interna ou estrutural e, por isso, apresentarem em condições normais, teores de humidade muito abaixo de (max 15%), o que é considerado razoável em

amostras para análise energética (SHARODDIN *et al.*, 2016; CHACHUAIO *et al.*, 2023; SIMANGO *et al.*, 2023).

Conforme reportam os autores “as amostras de material vegetal para análise termogravimétrica devem ser recolhidas e deixadas ao abrigo do sol para que percam mais de 80% da sua humidade, de modo que se concentre o seu conteúdo energético por redução da humidade, factor limitante na combustibilidade da Biomassa”.

- **Análise Térmica Imediata (físico-química)**

A análise imediata das amostras foi feita com base na técnica de Termogravimetria com uso do Forno *Thermolyeve Furnace 47900* no Laboratório de Química Inorgânica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, (ZHAO *et al.*, 2022).

Esta análise tinha como objectivo *determinar os seguintes parâmetros: Humidade (H₂O - W), Matéria seca (MS), Cinzas (ashes - Cz), Matéria Volátil, (Voláteis - V) e Carbono fixo (CF).*

A análise foi feita com base nos procedimentos da norma CEN/TS 14780, cujos procedimentos analíticos estão devidamente descritos no apêndice 01.

A análise termogravimétrica (imediata proximal), consistiu na incineração das amostras em cadinhos de porcelana a uma temperatura entre 105°C e 815°C (biocombustíveis) e entre 105°C e 900°C (combustíveis minerais sólidos), após secagem, moagem e peneiração.

- a) *Teor de Humidade (M_{ad})*

O teor de humidade neste estudo foi determinado por diferentes métodos, com destaque para o Método de Forno Seco da Norma BS EN 14774 - 3 - 2009):

$$\text{Equação 2: } M_{ad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100$$

Onde:

M_{ad} – Teor de Humidade,

m₁ – massa em gramas da placa vazia com tampa,

m₂ - massa em gramas da placa com amostra antes de secar,

m₃ - massa em gramas da placa com amostra com tampa depois de secar.

a) *Teor de Voláteis (MV)*

O teor de voláteis foi determinado pelo método da BS EN Norma 15148-2009, com base na equação a seguir:

$$\text{Equação 3: } M_V = \left[\frac{100(m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - Mad \right] * \left(\frac{100}{100 - Mad} \right)$$

Onde:

M_V – Matéria volátil

m_1 - massa em gramas do cadinho vazio com tampa,

m_2 - massa em gramas do cadinho com amostra antes de queimar com tampa

m_3 - massa em gramas do cadinho com amostra após queimar com tampa

M_{ad} - teor de humidade

b) *Teor de Cinzas (Ad)*

O Teor de Cinzas neste estudo foi determinado através do Método da Norma BS EN 14775-2009, por meio da equação:

$$\text{Equação 4: } A_d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100 * \frac{100}{100 - Mad}$$

Onde:

A_d – teor de cinzas

m_1 - massa do cadinho em gramas,

m_2 - massa do cadinho com amostra antes de secar,

m_3 - massa do cadinho com cinzas após calcinação,

M_{ad} - teor de humidade.

d) *Teor de carbono Fixo (CF)*

O teor de Carbono Fixo (CF) neste estudo, foi determinado pelo Método da Norma BS EN 15104 - 2011 por meio da equação:

$$\text{Equação 5: } CF (\%) = 100 * (\%Cz - \%Mad)$$

Onde:

CF - carbono Fixo,

Cz - cinzas,

Mad - teor de humidade.

Os detalhes dos procedimentos para a análise laboratorial e determinação empírica e instrumental destes parâmetros estão devidamente descritos no apêndice 02.

De forma resumida, os parâmetros Humidade, Cinzas, Voláteis e Carbono Fixo, foram calculados com base nas equações matemáticas que se apresentam na tabela 8.

Tabela 8: Equações matemáticas usadas para a determinação da W, Cz, V e CF em RS.

Par	Humidade (M_{ad})	Cinzas (Ad)	Voláteis (MV)	Carbono Fixo (CF)
Eq.	$M_{ad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100$	$Ad = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100 * \frac{100}{100 - M_{ad}}$	$MV = \left[\frac{100(m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - M_{ad} \right] * \left(\frac{100}{100 - M_{ad}} \right)$	$CF = 100 * (\%Cz - \%Md)$
Ref	Kuleape et al. (2014)	Macamo, et al. 2023	Kuleape et al. (2014)	Rominyi et al. (2017);

O roteiro analítico para a determinação dos parâmetros físicos dos resíduos é resumido na figura 9 a seguir apresentada



Figura 9: Protocolo da análise imediata dos RSA e Resíduos plásticos.

Onde: 1 e 2, A e B - Preparação (quarteamento) dos materiais, 3 e C - Determinação da humidade, 4,5 e D - Determinação de Cinzas e Voláteis.

3.7. Análise da Composição química-elementar

Para a determinação da composição química-elementar dos materiais a ensaiar, foi utilizado um microscópio eletrónico de varrimento (MEV) ou, na sigla em inglês, (SEM). O MEV é um equipamento que permite a caracterização microscópica/micrográfica de diversos materiais, inclusive em termos de elementos inorgânicos e orgânicos que os constituem.

A composição química-elementar de resíduos consiste na determinação indirecta do potencial energético dos resíduos através da sua constituição elementar (teor de Enxofre - S, Nitrogénio - N, Oxigénio - O, Carbono - C e Hidrogénio - H), assim como o teor de cinzas presente na amostra após a incineração.

Neste estudo, a composição elementar foi determinada por análise proximal por meio de um Microscópio Electrónico de Varrimento (MEV - Zeiss EVO50) acoplado à Espectroscopia de Energia Dispersiva, (EDS - IXRF Systems 500 Digital

Processing), com energia entre 0,5 kV e 30kV (SAIOTE *et al.*, 2012; KULEAPE *et al.*, 2014; CCDM, 2023).

Esta técnica foi usada por ser a mais apropriada para os materiais aqui analisados e conforme recomendam Tchoobanoglous *et al.* (1977), Wess *et al.* (2004), Othman *et al.* (2008) e Marcelino *et al.* (2017).

As amostras analisadas foram preparadas com base nas duas principais técnicas de preparo de amostras para análise em MEV, respectivamente:

temporária/extemporânea (para análise imediata) para amostras do material vegetal e a *definitiva* para amostras de material plástico.

Para análise com base em MEV, as amostras do material vegetal foram cortadas em tiras com, aproximadamente, 5 mm de comprimento e, posteriormente, fixadas no porta-amostras (*stub*).

Em relação às amostras de materiais plásticos, foi primeiramente feita a sua *metalização* com partículas de ouro sobre elas depositado, para possibilitar a condutividade eléctrica destas e a consequente análise em MEV.

- *Processo de Metalização*

A metalização foi efectuada com partículas de ouro e o procedimento detalhado, adaptado de Zamani (2017) e Lmic (2023), é apresentado no apêndice 02.

Neste processo, tanto os espécimes, como as lamelas de vidro ou as fitas adesivas usadas na montagem, são isolantes eléctricos e ficam carregados negativamente durante a passagem (varrimento) do feixe electrónico (ROCHA, 2002; CASTRO, 2002).

Nesta pesquisa, as partículas de ouro depositadas por "*sputtering*" no processo de metalização do material plástico (não condutor) foram evaporadas em sistema de vácuo, conforme a metodologia usada por Vale *et al.* (2012), Lmic (2023) e Moreira (2023).

Os detalhes analíticos desta análise são devidamente apresentados no apêndice 02 deste estudo.

Na figura 10, é apresentado o roteiro de análise das amostras de RSA e a cobertura do material plástico.



Figura 10: Protocolo de análise elementar e estrutural dos RSA e dos resíduos plásticos.

3.8. Análise Calorífica e Energética instrumental

A análise energética (potencial calorífico) foi feita por *Calorimetria* e consistiu na *incineração* de uma amostra de (5,0 g) de cada resíduo, previamente preparado (moído e comprimido), na *Bomba Calorimétrica - Gallenhamp Ballistic bomb calorimeter – 50 bar*.

Esta análise foi feita após calibração da bomba com Ácido Benzóico conforme recomendam Queiroz *et al.* (2012); Poli *et al.* (2014) e Lopes *et al.* (2020).

Os detalhes dos procedimentos para a preparação, moagem e fabricação das pastilhas, assim como a sua incineração e análise calorífica constam do apêndice 02.

a) Calibração do Calorímetro

A calibração do aparelho foi determinada a partir de quatro ensaios com pastilhas de, aproximadamente, 0,5g de Ácido Benzóico com os valores de referência

certificados, que devem variar entre 26.363 J/g a 26.476 J/g para RSA e entre 33.600 J/g a 53.400 J/g para resíduos plásticos.

A gama de trabalho consistiu numa análise quadruplicada de pastilhas de Ácido Benzóico de 0,5 g, sendo que, para o valor ser aceite, não podia exceder os 0,2% de desvio em relação aos valores de referência (LOUREÇO *et al.*, 2023).

b) Preparação e análise das amostras

As amostras para esta análise foram preparadas reduzindo os materiais (resíduos plásticos e agrícolas) em pó para posterior fabricação (moldagem) de pastilhas que seriam submetidas à incineração na Bomba Calorimétrica, à pressão de 30 bares (PEDROZA *et al.*, 2010; ZHAO *et al.*, 2022).

A análise começou pela pesagem de $0,5 \pm 0,2$ g de amostra (RSA ou de resíduos plásticos) com uma granulometria não superior a 0,25 mm com uma aproximação de 0,0001 g. Como amostra deve ser analisada em formato de pastilha, para a sua moldagem foi utilizada uma prensa com capacidade de força de 10 toneladas. A prensa utilizada no estudo é a *Prensa de Peletes 2.811* da *Parr Instrument Company*.

Esta análise tinha como objectivo estimar directamente o Potencial Calorífico Superior (PCS) e o Poder Calorífico Inferior (PCI) dos resíduos, com base na variação da temperatura (ΔT) de incineração registada pela Bomba Calorimétrica, para, posteriormente, determinar o Potencial de Recuperação Energética (P_{RE}) e de Geração Eléctrica (P_{GE}) com base nos resíduos.

O procedimento de preparação e análise calorífica das amostras é ilustrado na figura 11.



Figura 11: Protocolo de análise calorífica e energética dos RSA e RSU.

O roteiro para análise calorífica das amostras na Bomba Calorimétrica, é resumido no diagrama 3 e detalhado no apêndice 03.

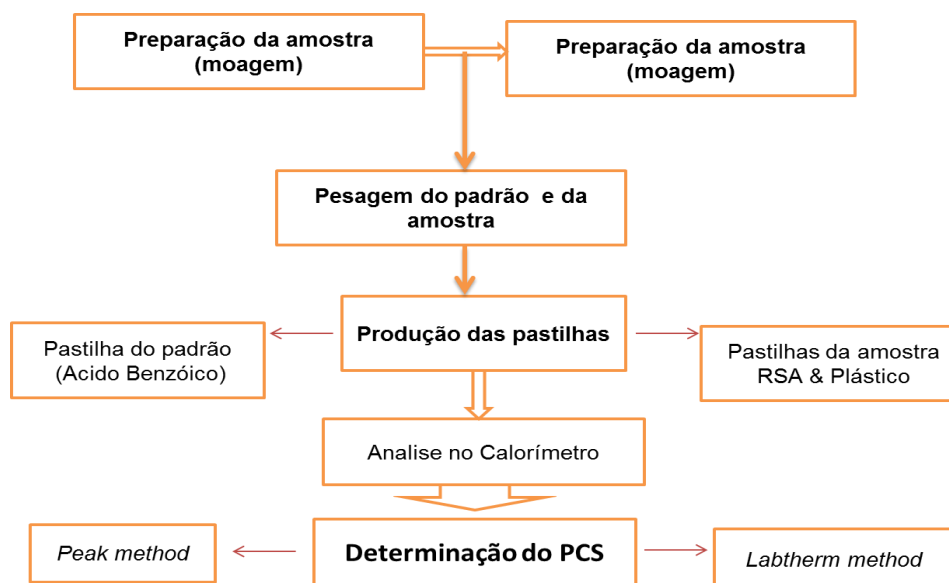


Diagrama 3: Protocolo de análise calorífica e energética dos resíduos.

A variação da Temperatura de Combustão (ΔT) foi determinada pelos métodos *Labtherm* e *Pico*, tendo sido assumidos resultados obtidos pelo Método do Pico por apresentar menor desvio padrão e menor erro ($S_{dev} = 535$ e % Erro = 2.3) quando comparado com o método *Labtherm* que apresenta maior desvio-padrão e maior erro ($S_{dev} 591$ e % Erro = 4.9), mas também por ser o método de referência recomendado por Marcelino (2017), Aderoju & GuernerDias (2018), Queiroz *et al.*

(2019), Amisse *et al.* (2021), Monjane *et al.* (2022), Alfredo *et al.* (2022), Macamo *et al.* (2023) e Simango *et al.* (2023).

O cálculo do Potencial calorífico foi realizado de forma automática pelo equipamento, após a introdução dos valores das diferentes contribuições, nomeadamente, do fio de algodão, as contribuições acídicas (níttrica e sulfúrica) e a contribuição associada ao auxiliar de combustão.

Com base na análise dos *picos* (método do pico) gera-se uma representação gráfica similar à ilustrada no gráfico 2, a seguir apresentado.

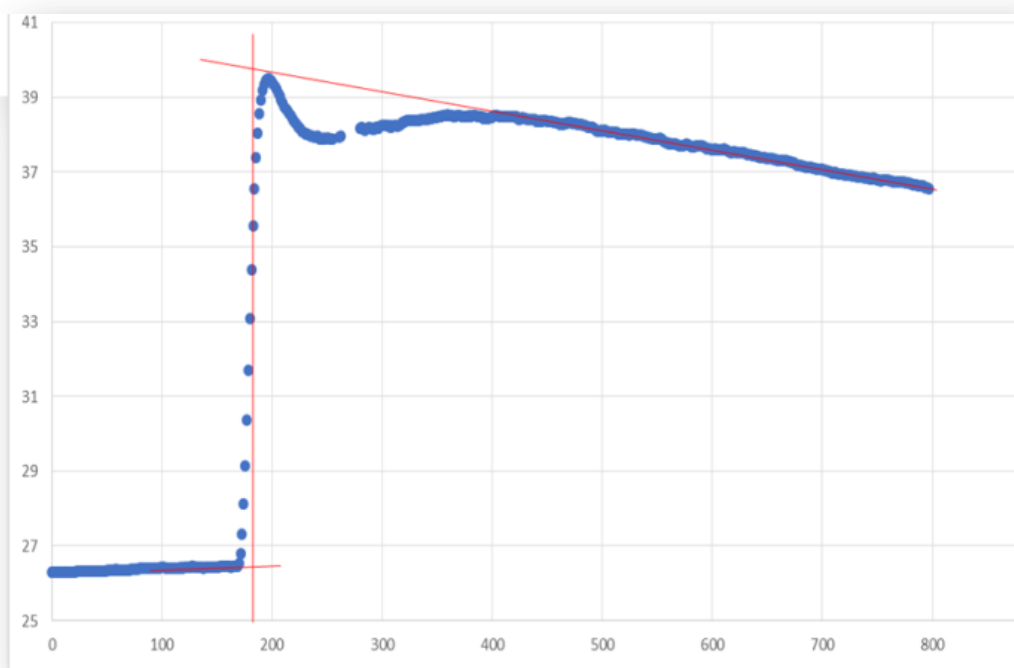


Gráfico 2: Variação da temperatura durante a análise calorífica e energética.

3.8.1. Determinação empírica dos Potenciais Caloríficos (PC) e Energéticos (PE) de Resíduos Sólidos

Os parâmetros usados para determinar o Potencial Calorífico (PC) e Potenciais Energéticos (PE) de resíduos são: P_{RE} , P_{GE} , EE_{Bruta} e $EE_{Líquida}$. Neste estudo, estes parâmetros foram determinados através dos métodos de AIE (2007), Khumar *et al.* (2014), Tsunatu *et al.* (2015), Aderoju & Guerner Dias (2019), Soho *et al.* (2021) e Gani *et al.* (2023) baseados em diferentes modelos matemáticos.

a) *Potencial Calorífico Superior (PCS/VCS)*

Conforme Franjo *et al.* (1992), Prasada Rao *et al.* (2010) e Aderoju & Guerner Dias (2018) “a medição dos potenciais caloríficos é descrita como sendo uma premissa para avaliação do nível de combustão dos resíduos para a geração de electricidade em projectos Waste to Energy (WTE), permitindo estimar a viabilidade económica do projecto”.

Com base no método teórico (empírico/análise teórica), o PCS, foi determinado pela equação de Rao *et al.* (2010),

$$\text{Equação 6: } PCS \text{ (kJ/kg)} = 337C + 1419(H2 - 0.125O2) + 93S + 23N$$

Onde:

PCS - poder calorífico superior,

C - % de Carbono,

H - % de Hidrogénio,

O - % de Oxigénio,

S - % de Enxofre,

N - % de Nitrogénio.

b) *Potencial Calorífico Inferior (PCI/VCI)*

Com base no método teórico (empírico/análise final), de acordo com Possoli *et al.* (2013), o PCS foi determinado pela equação seguinte:

$$\text{Equação 7: } PCI \left(\frac{kcal}{kg} \right) = PCS - 9 (\%H) * CLV$$

Onde:

PCI - potencial calorífico inferior,

CLV - calor latente de vapor (587 kcal/kg),

%H - percentagem de hidrogénio na amostra.

c) *Potencial de Recuperação Energética (P_{RE})*

O *P_{RE}* foi determinado pela equação:

$$\text{Equação 8: } P_{RE} \text{ (kWh)} = VCI * W_t * \left(\frac{1000}{860} \right) * \eta$$

Onde:

P_{RE} – Potencial de recuperação de energia,

W_t - massa dos resíduos em toneladas,

η - eficiência de conversão (*η* varia entre 22% a 28%),

VCI - valor calorífico inferior.

e) *Potencial de Geração Eléctrica (P_{GE})*

O P_{GE} foi determinado pela equação:

$$\text{Equação 9: } P_{GE} \text{ (kW)} = \frac{PRE}{24} \text{ ou } P_{GE} \text{ (kW)} = VCI * (0.004845) * \eta$$

Onde:

P_{RE} - *potencial de recuperação energética,*

P_{GE} - *potencial de geração eléctrica,*

VCI - *valor calorífico inferior,*

η - *eficiência geral da central eléctrica.*

f) *Energia Eléctrica Bruta (EE_{BRUTA}) dos RSU*

A EE_{BRUTA} foi determinado pela equação:

$$\text{Equação 10: } EE_{BRUTA} = M_{RSU} * \frac{500 \text{ kWh}}{1000 \text{ kg}}$$

Onde:

EE - *energia eléctrica,*

M_{RSU} - *massa de resíduos sólidos urbanos.*

g) *Energia eléctrica líquida ($EE_{Líquida}$) distribuível*

A $EE_{Líquida}$ foi determinada pela equação:

$$\text{Equação 11: } EE_{Líquida} = EE_{Bruta} * \eta_{GERAL}$$

Onde:

η_{GERAL} - *eficiência geral da central eléctrica.*

Para determinar estes parâmetros, dados como: a *Massa* e o *Volume* dos resíduos sólidos gerados e a população existente no período em alusão foram considerados, assim como a correlação “*volume de resíduos X população*”.

h) *Massa de resíduos plásticos*

A massa de resíduos plásticos foi determinada pela equação:

$$\text{Equação 12: } M_{fp} = M_{rsu} * F_{fr}$$

Onde:

M_{fp} - *massa de resíduos plásticos,*

M_{rsu} - *massa de resíduos sólidos urbanos,*

F_{fr} - *frequência / massa da fracção do resíduo plástico.*

i) *Energia potencial de resíduos sólidos urbanos*

A energia potencial (EP) foi determinada pela equação:

$$\text{Equação 13: } E_{Prsu} = M_{fp} * V_C \text{plástico}$$

Onde:

EP - energia potencial de resíduos sólidos urbanos,

MFP - massa da fracção plástica,

VC - valor calorífico do plástico.

j) *Potenciais de Recuperação (P_{RE}) e de Geração Energética (P_{GE})*

Conforme Tsunatu *et al.* (2015) e Jesus *et al.* (2017) o P_{RE} é a quantidade possível de energia recuperada a partir de RSU e baseada em diferentes métodos de conversão. É uma função do valor calorífico de cada resíduo e do conteúdo orgânico queoconstitui.

Para Da Silva *et al.* (2019) o potencial de conversão e recuperação energética dos RSU através da incineração pode ser estimado segundo três alternativas:

- *Potencial energético tomando-se como base a colecta indiferenciada, isto é, deixando 100% dos RSU para incineração;*
- *Potencial energético considerando-se a segregação de parte dos materiais recicláveis ou não;*
- *Potencial energético considerando-se a segregação a 100%.*

Neste estudo, foram considerados os dois últimos casos. O P_{RE} e P_{GE} foram determinados com bases nas equações de AIE (2007), Tsunatu *et al.* (2015) e dados de base da população do INE (2021) de acordo com:

$$\text{Equação 14: } P_{RE}(kWh) = PCI * Wt * \frac{1000}{860} * \eta$$

Onde:

Wt - massa total de resíduos (toneladas),

PCI – potencial calorífico inferior (kcal/kg),

η - eficiência de conversão (entre 22% a28%).

Por outro lado, o Potencial de Geração de Energia (P_{GE}) é definido como sendo a quantidade de energia que pode ser gerada diariamente a partir de resíduos ou outra fonte de energia e é determinado por meio da equação seguinte:

$$\text{Equação 15: } P_{GE} (kW) = \frac{PRE}{24}$$

Onde:

P_{GE} - potencial de geração eléctrica,

P_{RE} - potencial de recuperação energética.

Considere-se que, a energia gerada por uma tonelada de RSU é equivalente a 250kg de petróleo, ou seja, 500/600 kWh de energia eléctrica ou 1,5 a 4,5 toneladas de vapor (CABEÇAS & LEVY, 2006).

A tabela 9 apresenta, resumidamente, os métodos, os procedimentos e as normas utilizadas na análise laboratorial das amostras, no âmbito desta pesquisa.

Tabela 9: Métodos de referência usados na análise laboratorial dos resíduos.

Norma	Procedimento	Amostra	Técnica
EN (2004)	Procedimento para recolha de resíduos para análise laboratorial genérica	RSU e RSA	Análise laboratorial específica
CEN/TS 14778-1 e CEN/TS 14118	Procedimentos de recolha de amostras de biocombustíveis sólidos	RSA (caroço-de-milho, pé-do-feijoeiro e cápsula-do-amendoim) e RSU (PET, PEAD, PEBD, PS e PP)	Análise laboratorial específica
CEN/TS 14780	Procedimento para a preparação de amostras de Biocombustíveis Sólidos para Análise Laboratorial	RSA (caroço-de-milho, pé-do-feijoeiro e cápsula-do-amendoim)	Triagem, moagem, peneiração e conservação (partículas com diâmetro $\leq 200\mu\text{m}$)
EN:14774-3	Determinação da humidade pelo Método de mufla/forno (Análise proximal)	RSA (caroço-de-milho, pé-do-feijoeiro e cápsula-do-amendoim)	Termogravimetria (TG) $105\pm 2^\circ\text{C}$
CEN/TS 14774-3	Determinação do Teor de Cinzas e matéria seca	RSA (caroço-de-milho, pé-do-feijoeiro e cápsula-do-amendoim)	Termogravimetria (TG): 550°C
CEN/TS 14588	Determinação de voláteis	RSA (caroço-de-milho, pé-do-feijoeiro e cápsula-do-amendoim)	Termogravimetria (TG) 900°C
CEN/TS 14774-3 & CEN/TS 14588	Determinação do Carbono fixo (CF ou FC)	RSA (caroço-de-milho, pé-do-feijoeiro e cápsula-do-amendoim)	Termogravimetria (TG) + Cálculo
Microscopia & Espectroscopia	Determinação da composição elementar de Biocombustíveis sólidos e derivados de Petróleo	RSA (caroço-de-milho, pé-do-feijoeiro e cápsula-do-amendoim) e RSU (PET, PEAD, PEBD, PS e PP)	MEV/EED ou SEM/EDS
ISO 17246:2005 (E)	Norma para análise de combustíveis minerais sólidos ou derivados	RSU (PET, PEAD, PEBD, PS e PP)	Metalização e MS e Termo gravimetria

ISO 11722:2013 (E)	Teor de Humidade	RSU (PET, PEAD, PEBD, PS e PP)	Termogravimetria (TG) 105±2°C
ISO 1171:2010 (E)	Tor de Cinzas e Matéria seca	RSU (PET, PEAD, PEBD, PS e PP)	Termogravimetria (TG) 815±10°C
ISO 562:2010 (E)	Determinação de Voláteis	RSU (PET, PEAD, PEBD, PS e PP)	Termogravimetria (TG) 900±10°C
ISO 562:2010 (E)	Determinação de Carbono Fixo (CF ou FC)	RSU (PET, PEAD, PEBD, PS e PP)	Termogravimetria (TG) + Cálculo
Método empírico e Calorimétrico	Determinação dos potenciais caloríficos (PCs – VCS e VCI), Potenciais de recuperação energético (P _{RE}) e de geração eléctrica (P _{GE})	RSA (carroço-de-milho, pé-do-feijoeiro e cápsula-do-amendoim) e RSU (PET, PEAD, PEBD, PS e PP)	Equação de Dulong modificada e Incineração/combustão

FONTE: Adaptado de Castro (2002).

O diagrama a seguir apresenta, de forma resumida, o trabalho laboratorial realizado no estudo.

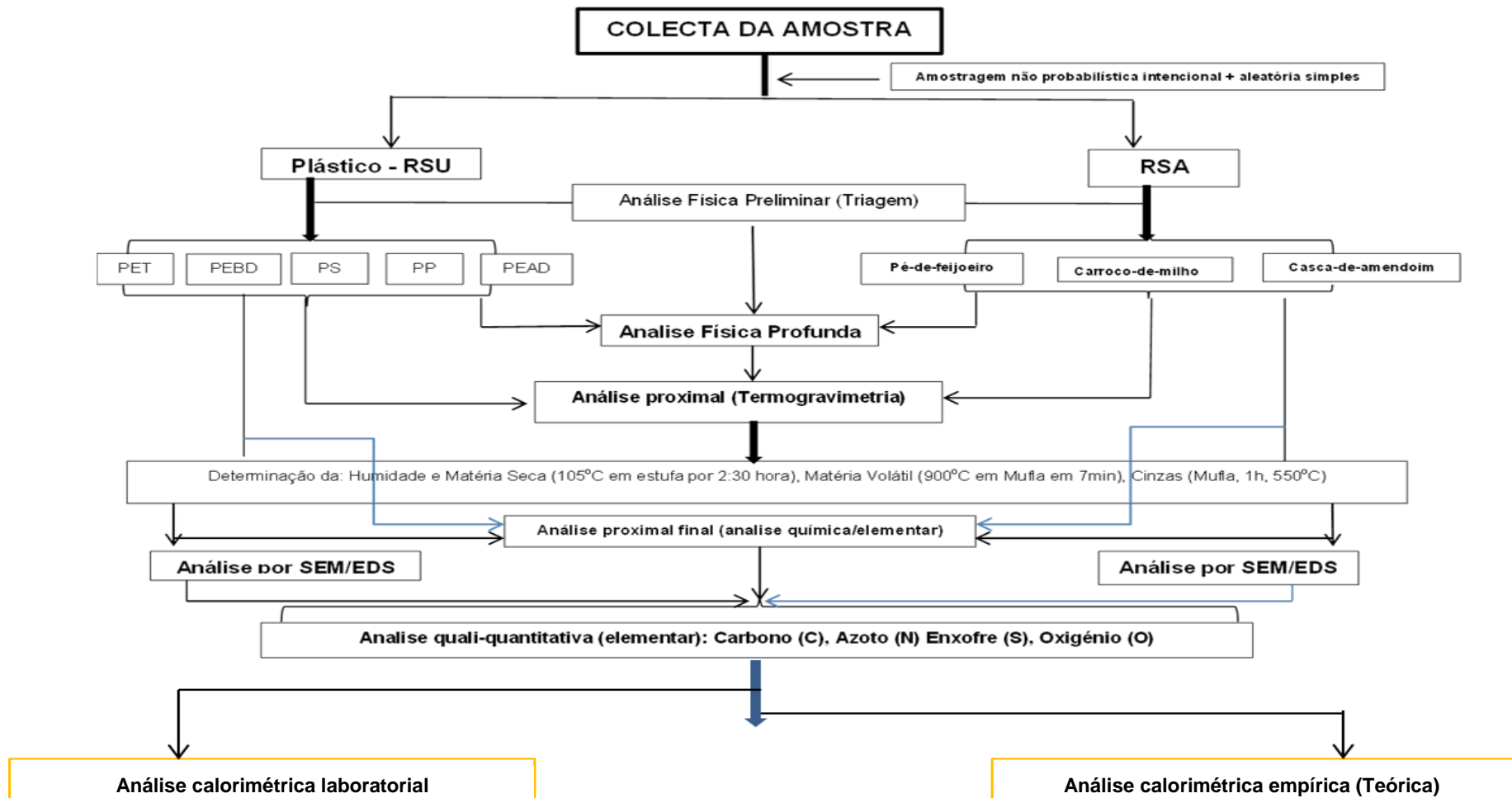


Diagrama 4: Protocolo analítico geral do trabalho laboratorial

3.9. Análise da Viabilidade Técnica de Geração de Energia a partir de Resíduos

A viabilidade técnica e ambiental de geração e distribuição de energia, a partir de resíduos sólidos, foi determinada com base na correlação matemática entre a *taxa anual de crescimento populacional (TAP)* e a *taxa anual de geração de resíduos (TAR)*.

A correlação entre o potencial de distribuição de electricidade, gerada por incineração de misturas de resíduos sólidos, e o número de famílias beneficiárias foi efectuada pelos *métodos de correspondência matemática*, desenvolvidos e aplicados pela AIE (2005), Carvalho & Martinho (2005), Chapala (2020) e Norberto *et al.* (2021).

De acordo com Brito *et al.* (2010), Von Sperling (2014), Pereira *et al.* (2017), Jannuzzi (2018), Queiroz *et al.* (2019) e Norberto *et al.* (2021):

“a geração e diversificação de resíduos é uma função do crescimento populacional, estilo de vida, cultura e hábitos alimentares da população, isto é, existe uma forte correlação entre o crescimento populacional e o aumento da produção de resíduos sólidos, e que a produção apresenta tendência de elevação, mesmo que o crescimento populacional não seja proporcional a isso [...]”.

Deste modo, procurou-se, neste estudo, perceber como o crescimento populacional irá afectar a geração e a variabilidade de resíduos nos próximos 25 anos, considerado como período de análise na pesquisa. Isto irá permitir prever o potencial de geração de energia eléctrica líquida e distribuível (EELD) para a população existente no referido período.

A projecção de 25 anos definida na pesquisa foi feita a partir de dados de projecção demográfica (2017-2050) de referência, fornecidos pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) (2021), escolhido por ser um dos períodos de referência para muitos estudos sobre resíduos e, também, pela disponibilidade de dados de projecção da população em Moçambique.

Com base nestes dados, foi determinada a correlação entre o crescimento populacional e a geração de resíduos a nível urbano, considerando três cenários distintos (péssimo, moderado e óptimo).

3.10. Projecção do Volume de Resíduos Sólidos

A projecção do volume de resíduos sólidos foi feita com base *na taxa anual de crescimento da população e o volume per capita anual de resíduos gerados no período em estudo.*

Para estimar os volumes médios anuais de resíduos foram usadas as equações matemáticas utilizadas por Rao *et al.* (2010), Aderjoju & Guern Dias (2028), apresentadas a seguir:

$$\text{Equação 16: } M_{SWG} = (Wu * 0,25) + (Ws * 0,75)$$

Onde:

MSWg - taxa de geração de RS na zona urbana em toneladas,

Wu – taxa de geração de resíduos sólidos na zona suburbana em toneladas,

Ws - taxa de geração de resíduos sólidos na zona suburbana em toneladas.

$$\text{Equação 17: } Q_{waste}\left(\frac{d}{t}\right) = Pop_{year}(t) * W_{trate}(capita) ;$$

Onde:

Q_{waste} – quantidade total de lixo,

Pop – número da população por ano,

W_{trate} – quantidade per capita de resíduos tratados.

$$\text{Equação 18: } Q_{waste}(anual) = Q_{waste\ daily}(t) * \frac{N_{days}}{year}; N = 365 \text{ ou } 366$$

Onde:

Q_{waste} - Quantidade total de lixo,

N - número de dias por ano.

$$\text{Equação 19: } Wi = pi * W_{total}$$

Onde:

W_i – quantidade do lixo por categoria (t/dia),

P_i – percentagem de categoria de resíduos por cidade,

W_{total} – volume diário de resíduos na cidade (t/dia).

Por outro lado, os dados de referência para resíduos agrícolas foram fornecidos pelos Serviços Distritais para Actividades Económicas (SDAE) do Distrito da Manhica. As razões para esta opção são:

- *Maluana é um posto administrativo rural, potencialmente agrícola onde as culturas de milho, feijão e amendoim são consideradas principais;*

- *Apenas existem informações (registos) sobre a produção anual destas culturas a nível do SDAE da Manhiça.*

O objectivo desta projecção é determinar a taxa de crescimento de resíduos tendo em conta que, no contexto desta pesquisa, é fundamental o conhecimento sobre a capacidade de geração de resíduos pois, esta proposta considera os resíduos como matéria-prima para a geração de electricidade, o que poderá ajudar a avaliar a viabilidade técnica da proposta.

3.11. Determinação da População Beneficiária/Capacidade de Oferta

Nesta pesquisa, a população beneficiária (número de famílias beneficiárias - NFB) corresponde àquela que se abastece com base na energia gerada por resíduos sólidos.

Para determinar a população beneficiária, foi considerado: o *volume de resíduos gerados e os níveis de consumo de energia eléctrica da população de referência.*

Os níveis de referência para o consumo de energia eléctrica por tipo de população, considerados neste estudo, são os obtidos por Mulder & Tembe (2007), Chapala (2020), Gutta (2021), Moreno *et al.* (2022), Gani *et al.* (2023) e Simango *et al.* (2023), tendo sido determinada a capacidade de oferta de energia com base nos diferentes tipos de resíduos. Estes níveis são apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Valores de consumo médio *percapita* de energia eléctrica por categoria habitacional.

Área	Consumo mensal	Consumo diário	Unidade
Rural	233	2,9	kWh
Periurbana	280	7,8	
Urbana	87	9,3	

FONTE: (CHAPALA, 2020; MORENO *et al.*, 2022; GANI *et al.*, 2023)

Deste modo, considerando que uma incineradora, em plenas condições de funcionamento, pode incinerar de forma efectiva cerca de *uma tonelada de resíduos/hora e que o seu funcionamento pode atingir 8.000 horas/ano* foi possível estimar a capacidade energética de resíduos com base numa determinada

massa/volume de resíduos a ser incinerados (GOLDMBERG, 2007; MARAFON, 2016; GUTTA, 2017).

Baseando-se nestes dados e nos dados da população e volume médio anual de resíduos foi estimada a quantidade de energia distribuível gerada a partir de resíduos sólidos. Esta estimativa considerou apenas materiais plásticos, devido à disponibilidade de dados de base.

3.12. Categorização, Sistematização e Análise de Dados

Os dados desta pesquisa foram sistematizados em tabelas e gráficos e categorizados em dois grupos: *i. Dados qualitativos – referentes aos tipos (categorias e subcategorias) de resíduos encontrados nos centros de geração, as características físicas e a composição elementar desses resíduos;* *ii. Dados quantitativos:* referentes à porção individual de cada categoria de resíduo no centro, o conteúdo energético (teores de W, Cz, V, CF) e o Potencial Calorífico, P_{GE} , P_{RE} e o NFB.

A *análise de dados qualitativos* consistiu na descrição sumária comparativa da composição física dos resíduos sólidos nos diferentes centros, conforme a sua natureza e origem, com base na triangulação de técnicas de análise temática e narrativa, após a definição das categorias dos resíduos como um parâmetro.

A *análise de dados quantitativos* foi feita com base na ferramenta estatística Excel 2010, admitindo-se uma margem de confiança dos valores da análise não superior a 5,0% ($0,02 \leq \delta \leq 0,05$). No laboratório, as análises foram executadas com as margens que se apresentam na tabela 11.

Tabela 11: Valor de acuracidade definidos para as medições.

Parâmetro	Análise física		Norma
	Repetibilidade	Reprodutividade	
Cinzas	<10%, $r = 0,2$ do valor absoluto e > 10%, $r = 2\%$ do valor médio	<10%, $r = 0,03$ do valor absoluto;> 10%, $r = 3\%$ do valor médio	ISO (análise em base seca) e BS/EN
Voláteis	<10%; 0,03 do valor absoluto > 10%, $r=0,03X$	 $R = 0,05X$	
Humidade	% mm < 5% → 0,10; % mm ≥ 5% → 0,15		
Análise elementar			
Método do Pico	% Erro $2,1 \leq x \leq 2,8$; $Sdev = 24,5$ (RSA) e $Sdev 535$ e RSU)		

CAPITULO IV

4.0. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados do trabalho realizado no campo e no laboratório. Os resultados são sistematizados e descritos em três grandes categorias:

Categoria I: *Resultados da observação (triagem qualitativa):* são apresentados os resultados médios quali-quantitativos dos diários de caracterização física dos componentes dos resíduos nos centros de geração (residências e mercados) e de descarte (contentores e lixeiras), com foco na tipologia dos resíduos.

Categoria II: *Resultados da experimentação:* são apresentados todos os resultados de análises laboratoriais, com foco no conteúdo energético (Humidade, Voláteis, Cinzas e Carbono fixo), Potencial calorífico e Potenciais de geração e de recuperação energética (PCS, PCI, P_{GE} e P_{RE}) dos resíduos.

Categoria III: *Resultados da análise da viabilidade ambiental e técnica (modelação):* são apresentadas as taxas médias anuais de geração de resíduos no período em estudo (2025-2050), assim como a quantidade de energia gerável e distribuível com base na produção de resíduos sólidos neste período.

4.1. Resultados da Observação presencial (trabalho de campo)

Os resultados da observação correspondem à caracterização, classificação e quantificação dos resíduos nas áreas de estudo (centros de geração e de descarte de resíduos).

Salientar que os resultados da triagem aqui apresentados se referem, exclusivamente, às médias dos resultados encontrados nos diferentes Centros de Resíduos em Maputo (Residências, Mercados, Contentores e Lixeiras) ao passo que os resultados dos RSA aqui apresentados, são valores médios dos resíduos encontrados nas quatro áreas agrícolas estudadas em Maputo província (Municípios de Maputo, Matola, Manhiça e Posto Administrativo da Maluana).

4.2. Resultados da Triagem preliminar de RSU de Maputo

As campanhas de triagem física dos RSU, realizadas nos quatro tipos de Centros de Resíduos (Residências, Contentores, Mercados e Lixeiras), permitiram categorizar os RSU em sete tipos, nomeadamente: Vidro, Têxteis, Metal, Materiais orgânicos, Plásticos, Papel e Papelão, classificados como Resíduos da Classe IIA (não perigosos), bem como as respectivas percentagens, conforme ilustrado nos gráficos a seguir apresentados.

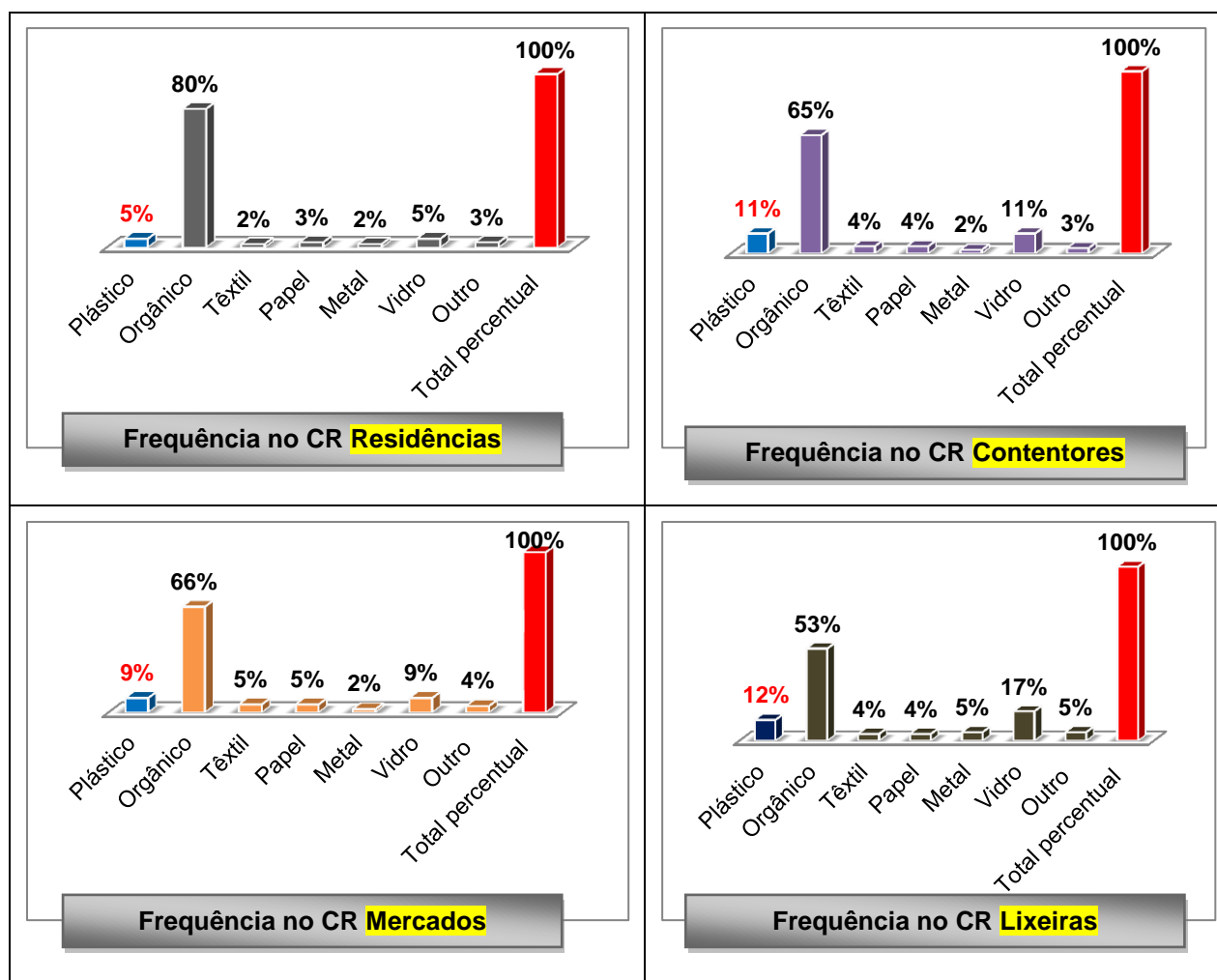


Gráfico 3: Resultados da quantificação por tipo de RSU nos centros de triagem.

Onde CR – Centro de resíduos – local de geração ou descarte do resíduo.

No geral, da triagem preliminar (observação), apesar de pequenas diferenças em termos percentuais de cada constituinte, foram encontrados, *qualitativamente*, em todos os centros os seguintes resíduos: Plástico, Material orgânico (biodegradável), *Material têxtil*, *Papel*, *Metal*, *Vidro* e *outros*. Os valores globais médios, de todas as

campanhas de triagem de RSU realizadas em todas as áreas e centros de resíduos, são apresentados no gráfico 4.

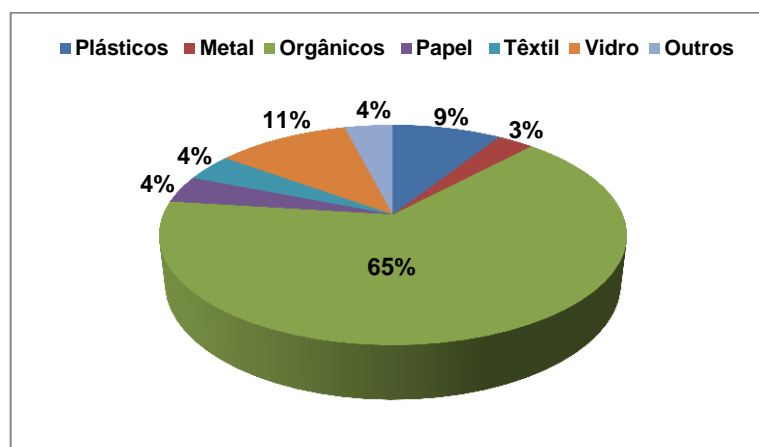


Gráfico 4: Resultados globais da triagem e quantificação de RSU.

Da análise do gráfico 4, pode-se depreender que a composição dos resíduos nos Centros de RSU, das áreas de estudo, varia significativamente, sendo que, estes são maioritariamente constituídos, em média, por resíduos do tipo: Fração Orgânica de RSU (FORSU) (65%), Vidro (11%) e Plásticos (9,0%).

Estes resultados assemelham-se aos obtidos por Gani *et al.* (2021) que usando uma metodologia similar obtiveram 68,5%, 8% e 5,0%, respectivamente.

Esta variação na composição dos resíduos nas áreas de triagem, pode estar associada a factores como: práticas de *reciclagem primária (compostagem)*, *desenvolvimento económico*, *estilo de vida*, *hábitos alimentares dos habitantes*, *tipo de actividades comerciais*, assim como da *política e eficiência do sistema de recolha de RSU* adoptada pelo Município, levando a concluir que o local influencia directamente na composição dos RSU, conforme sustentam Souza & Guadagnin (2009).

Este resultado está em conformidade com o disposto em USEPA (1992), CEMPRE (2000), Nascimento & Vilar (2009), Cossa (2016), Alfredo *et al.* (2023), Macamo *et al.* (2023), e Davó *et al.* (2023) que, em seus estudos sobre a relação entre *estilo de vida e composição física* de RSU em residências, lixeiras e contentores das zonas urbanas obtiveram resultados similares aos obtidos na presente pesquisa.

Paralelamente, resultados similares foram obtidos também por Tchobanoglous *et al* (1993), Yu & Maclaren (1995), CE (2001a), Dunleavy (2003), Evans *et al.* (2014), Santos (2018), Aderoju e Guerner Dias (2018) e Gani *et al.* (2021) em pesquisa sobre composição física de RSU em zonas metropolitanas, suburbanas e em lixeiras.

Nos seus estudos, os autores enfatizam que “*apesar de mais de metade da massa total de RSU ser constituída por FORSU, outros componentes com valor energético podem ser encontrados, tais como: Têxteis, Plástico e Papel e Cartão para além de resíduos não combustíveis, tais como, Entulhos, Metal e vidro*”, tal como foi evidenciado na presente pesquisa.

4.2.1. Resultados da Triagem aprofundada de Resíduos plásticos de Maputo

O aquartelamento e classificação (triagem aprofundada) dos resíduos plásticos disponíveis em cada massa total de resíduos nos diferentes Centros de Resíduos, permitiu agrupar os materiais plásticos em sete tipos, conforme a Associação Lusófona para Energias Renováveis (ALER) (2014) e a Lista Europeia de Resíduos (2014) (LER): Polietileno Tereftalato (PET), Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Policloreto de Vinila (PVC), e Outros.

Os resultados da triagem aprofundada dos resíduos plásticos nos Centros de Resíduos (CR) são apresentados nos gráficos a seguir.

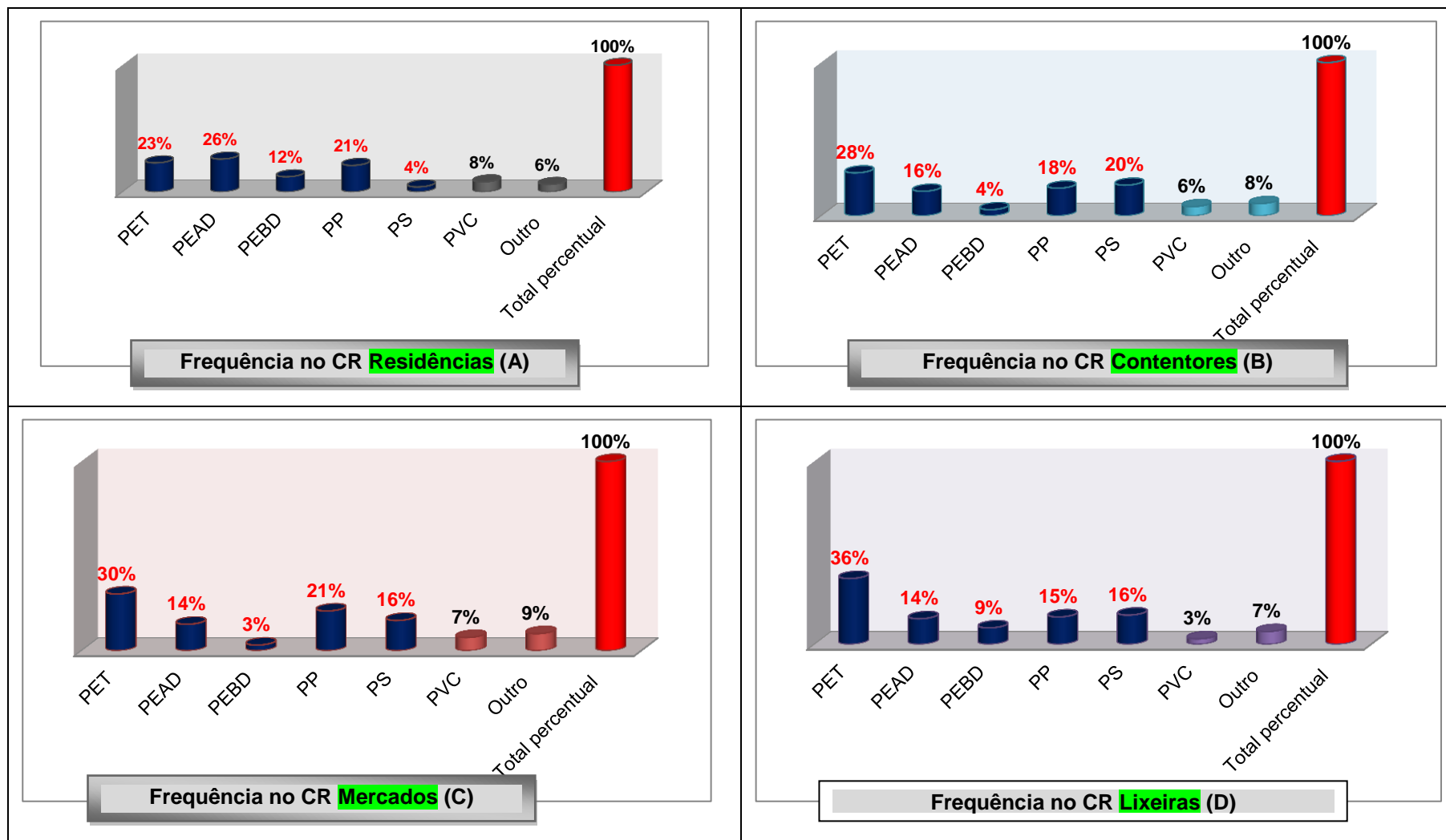


Gráfico 5: Resultados da triagem aprofundada e quantificação de resíduos de plásticos por área de amostragem.

Onde CR – Centro de resíduos – local de geração ou descarte do resíduo.

A análise dos gráficos (A, B, C e D) permite constatar que, em todos os centros de resíduos, foram encontrados os sete tipos de plásticos e, ademais, há uma variação quantitativa ligeira na composição física (tipologia) dos resíduos plásticos em todos os centros de resíduos avaliados.

Esta diferença na composição e volume de alguns tipos de resíduos plásticos em cada centro de resíduos, pode estar directamente relacionada com o facto de, nem todos os plásticos serem recicláveis, pois alguns plásticos são recolhidos nos contentores antes de serem levados às lixeiras, noutras situações verifica-se a existência de alguma actividade intensa de recolha selectiva de plásticos, sendo abandonados nos centros de descarte os que não são de interesse dos catadores e, daí, os plásticos permanecerem nos locais de descarte (variando entre 2,9% a 11% no volume global de RSU).

O gráfico D mostra que a maior concentração, dos resíduos plásticos, está em lixeiras e mercados. Isto pode ser associado ao facto destes locais serem de descarte final e, assim, receberem os resíduos plásticos provenientes de diferentes centros de geração e de trânsito sem recolha selectiva.

Este resultado é similar ao encontrado por Martins & Ventura (2020), Cabrita & Viegas (2021) e Nurhashanah (2022) que fizeram estudos similares e mostraram que a maior parte do plástico gerado em Moçambique não é devidamente aproveitada, com ênfase para PS, devido ao desconhecimento das técnicas para a sua reciclagem e baixo peso.

Ademais, apesar de algumas iniciativas de recolha e comercialização, o seu uso em actividades de reciclagem primária (artesanato e reuso para outras finalidades), altos níveis de poluição plástica prevalecem devido ao incorrecto destino e fraco aproveitamento.

No gráfico 6, apresenta-se a média geral da variação dos resíduos plásticos em todos os centros de triagem estudados.

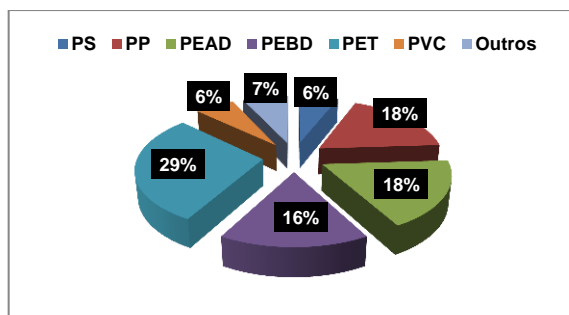


Gráfico 6: Resultados globais da triagem e quantificação de resíduos de plástico.

Do gráfico 6, pode-se depreender que, em geral, os resíduos de PET são os mais abundantes em relação a outros materiais plásticos em todos centros de resíduos, o que contrasta com os resultados obtidos por Martins & Ventura (2020), Cabrita & Viegas (2021) e Nurhashanah (2022) que obtiveram volume elevados em centros de geração (residências e mercados) e baixos em centros de descarte (lixeiras).

Esta variabilidade pode estar associada ao tipo de moradores, seus hábitos alimentares, suas actividades diárias, existência de ecopontos, segregação e à prática da “catação” e separação de resíduos para fins comerciais em estações de reciclagem e outros factores importantes, conforme fundamentam Guadagnin (2010), Rezende *et al.* (2013), Ferreira *et al.* (2020) e Zhao *et al.* (2022).

Este resultado, foi também encontrado por Cheng & Hu (2010), Moratório *et al.* (2012), Silva (2013) e Ferreira (2020) estudando a relação entre o tipo de resíduo plástico e a área de geração, comparando três cidades, Brasília, Tóquio e Shangai visando apurar o nível de reciclagem e reaproveitamento deste material nessas cidades, tendo constatado também diferenças significativas, o que leva a concluir a tipologia de resíduos depende do local de geração e da eficácia da política e do sistema de saneamento adoptado na região.

Este resultado é, também, similar ao encontrado por Melo *et al.* (2009), que fundamentam que “a prática de reciclagem, catação e retenção do plástico, sendo que muitas das vezes o plástico que chega aos contentores e lixeiras escapou da recolha ou separação (retenção) em residências”.

Conforme Carneiro (2009), Gomes *et al.* (2017), Piontek (2019) e Martins & Ventura (2020) “os materiais plásticos mais reciclados dificilmente são encontrados em locais

de descarte final de RSU, salvo em situações em que, exista uma fraca política de valorização do plástico através de catação-venda por pequenos catadores ou por sua migração até ao meio aquático”.

Por outro lado, a maior taxa de resíduos plásticos verificada nas lixeiras pode estar associada ao facto destes locais serem de destinação final de resíduos, sendo que a massa encontrada corresponde à totalidade dos resíduos sólidos provenientes dos diferentes locais (centros de gestão).

4.2.2. Resultados da Triagem de RSA

Relativamente aos resíduos agrícolas, a triagem quali-quantitativa realizada durante as duas campanhas nos quatro campos agrícolas, mostrou que predominam nestas áreas, resíduos orgânicos, especificamente: *pé-de-feijoeiro*, *cápsula-de-amendoim*, *caroço-de-milho*. Os resultados médios globais desta triagem, são apresentados no gráfico 7.

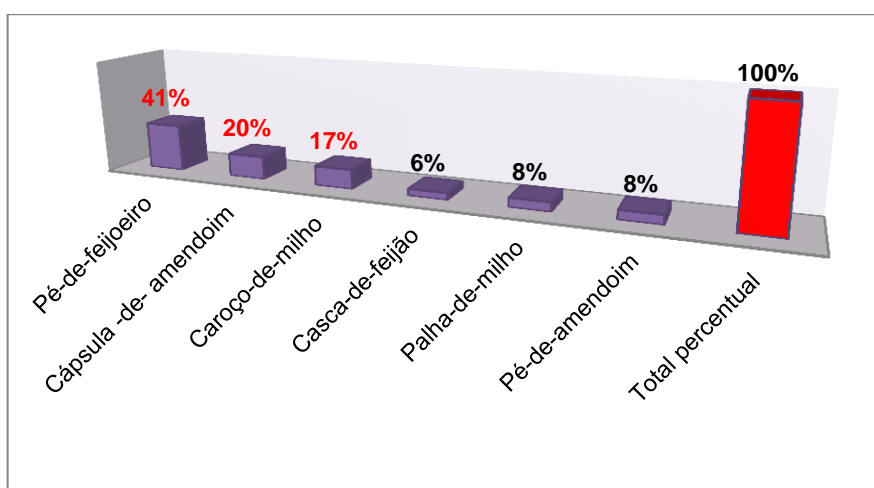


Gráfico 7: Resultados da triagem de RSA orgânicos.

Estes resultados podem estar associados ao fraco aproveitamento dos resíduos destas culturas e ao elevado volume de produção das mesmas nas áreas de estudo, considerando a sua eleição como culturas de bandeira pelo Governo Central (SDAE, 2008).

Ademais, a baixa frequência dos outros resíduos, apresentados no gráfico 7 (casca-de-feijão, pé-de-amendoim e palha-de-milho), pode estar associada ao seu uso como matéria-orgânica para a fertilização dos solos, devido à sua fácil incorporação no solo por biodegradação em solos húmidos bioreactivos, assim como a prática da queima para aquecimento das crianças em período de frio.

Este resultado foi também encontrado por Pires & Mattiazzo (2008), Pereira (2012), Faria (2016), Beltrame *et al.* (2016) e Hendges *et al.* (2018) e, *para eles, em função do tipo de agricultura (mecanizada ou de subsistência), os RSA encontrados nas áreas agrícolas, podem variar, em tipo e volume.*

Para Muniz & Braga (2015) e Sencovici & Demajorovic (2015) *em áreas rurais predominam resíduos orgânicos (lavouras, palhas, dejectos orgânicos e de actividades zootécnicas), que podem ser passíveis de reutilização e tratamento para utilização no próprio meio agrícola, como adubo, reduzindo-se assim a sua ocorrência em áreas agrícolas.*

Por outro lado, Soares & Porto (2007), Silva, (2015), Brasil (2016), Araújo & Oliveira (2017) sustentam que “*a reciclagem de materiais como: embalagens de agrotóxicos e de outros resíduos da agricultura em geral, é insuficiente, atingindo apenas 47%*” da população rural o que contribui para a emissão de grandes de Amónia (NH₃) (aproximadamente 12,1µg/m³ de gás Amónia) para atmosfera, colocando em perigo a biodiversidade e a saúde humana.

4.3. Resultados da Análise Laboratorial (RSA e Resíduos plásticos)

Os resultados das análises laboratoriais categorizam-se em quatro tipologias: *i. Resultados da análise proximal imediata; ii. Resultados da análise química – elementar e iii. Resultados da análise micrográfica e iv. Resultados da análise calorífica.*

Notar que todos os resultados das análises laboratoriais apresentados são comparativos entre os resíduos do Porto e de Maputo, conforme descrito na metodologia.

4.3.1. Resultados da Análise Proximal Imediata

Os resultados da análise proximal imediata correspondem à caracterização física (determinação da Humidade - W, Cinzas - Cz, Voláteis – V e Carbono Fixo - FC) dos resíduos agrícolas e plásticos com base na Termogravimetria com Forno.

Os resultados da determinação da *Humidade, Cinzas, Voláteis e Carbono Fixo*, são apresentados em duas partes, nomeadamente: *I) resíduos agrícolas (caroço-de-milho, cápsula-de-amendoim e pé-de-feijoeiro) e II) resíduos de materiais plásticos (PET, PEAD, PEBD, PP e PS).*

I. Resíduos Agrícolas

a) Amendoim

A análise termogravimétrica ($T = 80^{\circ}\text{C}$ a 900°C) para os parâmetros Voláteis (V), Cinzas (Cz) e Carbono fixo (CF), relativamente ao amendoim, originou os resultados apresentados no gráfico 8.

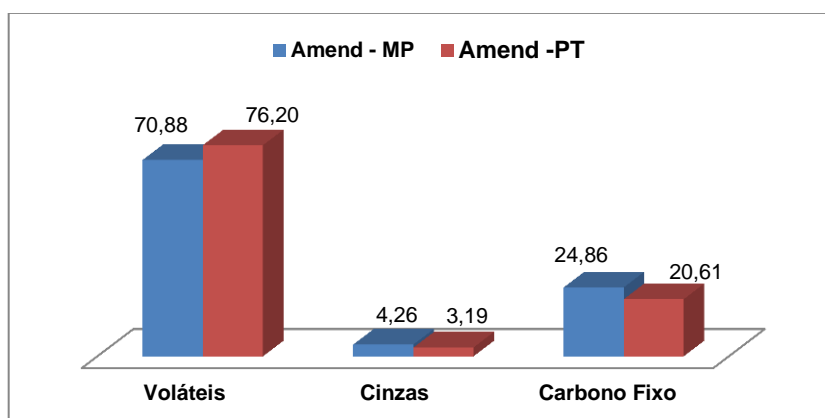


Gráfico 8: Resultados da análise imediata relativamente ao amendoim.

A análise do gráfico 8, permite depreender que, o amendoim do Porto (PT) possui maior teor de voláteis em relação ao amendoim de Maputo (MP). Outrossim, observa-se o inverso em relação aos parâmetros cinzas e Carbono fixo, onde as amostras de Maputo apresentam valores mais altos em relação às do Porto.

Em teores de voláteis, os resultados obtidos foram 70,88% e 76,20%, para Maputo e Porto respectivamente. Estes valores são diferentes entre si e também diferem dos obtidos por Chachuaio *et al.* (2023) (84,12%), Silva *et al.* (2021) (84,04%) para amostras similares, mas não são significativamente diferentes dos obtidos por Arantes (2009), Sahu *et al.* (2010), Protásio *et al.* (2011), Protásio *et al.* (2013), Wang (2016), Sharuddin *et al.* (2016), Bonato *et al.* (2019) e Xavier *et al.* (2023) que obtiveram valores médios de Voláteis na ordem de 75% sob condições analíticas semelhantes.

Esta diferença pode estar associada à origem dos resíduos, considerando que as condições e métodos analíticos e o tipo e técnicas de recolha e processamento de amostras são similares.

Apesar destas diferenças, estes resultados encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela Norma BS CEN 15148:2009 utilizada neste estudo, que

considera o intervalo de 65% e 85% como óptimo para o teor de Voláteis em biocombustíveis.

Orozco *et al.* (2014), Bezera (2016), Perondi (2017) e Simango *et al.* (2023), corroboram com este resultado, afirmando que “*altos teores de voláteis associados a baixos teores de Humidade e cinzas promovem maior combustibilidade do resíduo propiciando alto PCS*”.

Ademais, os resultados obtidos para o teor de Cinzas 4,26 e 3,19% para Maputo e Porto respectivamente, são também diferentes entre si e diferem dos obtidos por Arantes (2009), Sahu *et al.* (2010), Protásio *et al.* (2011), Protásio *et al.* (2013), Sharuddin *et al.* (2016), cujos trabalhos apresentaram um teor em Cz de 3,16%, ou os trabalhos de Wang (2016), Bonato *et al.* (2019), Chachuaio *et al.* (2023) cujas pesquisas conduziram a 2,12% de Cz, ou ainda Pereira (2020), Silva *et al.* (2021) e Xavier *et al.* (2023), que obtiveram um de 2,71%, sob condições analíticas semelhantes.

Apesar das diferenças encontradas entre ambas as amostras e com amostras de outros pesquisadores, apenas a amostra do Porto está em conformidade com o plasmado nas Normas ISO 18122:2015, ISO 18134-3:2015, ABNT NBR 2005 e BS CEN 14775:2009 utilizadas como referências neste estudo, que consideram como teores óptimos de cinzas em biocombustíveis valores que variam entre 1,5% e 3,73%.

Este resultado encontra fundamento em Oliveira (2014) e Anater *et al.* (2019) que afirmam que *as cinzas correspondem aos resíduos constituídos por óxidos metálicos não combustíveis resultantes da absorção de catiões K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} do solo, pelo que a sua composição química pode variar em função do tipo do solo e de agricultura*.

Relativamente ao Carbono fixo, os valores encontrados para este parâmetro (24,86% e 20,61%) para Maputo e Porto, respectivamente, também diferem entre si.

Porém, assemelham-se ligeiramente aos obtidos por Sahu *et al.* (2010), Wang (2016), Bonato *et al.* (2019), que obtiveram uma percentagem de CF da ordem de 20,30%, assim como os trabalhos de Pereira (2020) e Silva *et al.* (2021) cujo resultado foi de 23,71%, diferindo significativamente dos obtidos por Chachuaio *et al.* (2023) que não ultrapassou os 13,25%, resultados obtidos sob condições analíticas similares.

Todavia, apenas a amostra do Porto está dentro dos limites admissíveis para Biocombustíveis, conforme preconizado nas Normas ISO 16948:2015 e BS CEN 15104:2011, que consideram como valores ótimos para Carbono fixo o intervalo entre 3,0% e 21,0%.

Por outro lado, considerando que, o teor de Carbono fixo é inversamente proporcional ao teor de voláteis conforme Oliveira *et al.* (1982), Meira (2002), Ribeiro & Vale (2006), Vale *et al.* (2010), Alves (2014), Silva *et al.* (2020) e Tivane & Massango (2021), o amendoim afigura-se como um bom biocombustível, independentemente da sua origem.

Os valores de humidade obtidos na análise de ambas amostras foram de 9,85% e 7,20% para Maputo e Porto respectivamente. Estes valores diferem significativamente dos encontrados por Chachuaio *et al.* (2023) que obteve 4,04% de humidade, ou nos trabalhos de Pereira (2020) e Silva *et al.* (2021) cujo teor de humidade foi de 0,32%. Outrossim, ambos, Maputo e Porto, estão dentro dos limites estabelecidos pelas Normas BS CEN 14774-3:2009, ISO 18134-1:2015 e ABNT NBR 2005, fixados entre 2,31% e 15,0%.

Apesar destas diferenças, estes resultados mostram que o amendoim é um bom biocombustível para fins energéticos, por apresentar, especialmente, baixos teores de humidade e de cinzas e altos teores de voláteis, permitindo melhor combustibilidade em fornos WTE.

Estes resultados, permitem constatar que a origem do resíduo tem influência nas propriedades físico-químicas das amostras e, daí, as pequenas diferenças, encontradas nas biomassas de Porto e de Maputo, podem estar associadas ao tipo de solo, variedade do amendoim e tipo de agricultura praticada nas duas regiões de estudo.

b) **Feijão**

A análise termogravimétrica (T = 80°C a 900°C) para os parâmetros Voláteis (V), Cinzas (Cz) e Carbono fixo (CF), ao pé-de-feijoeiro, originou os resultados apresentados no gráfico 9.

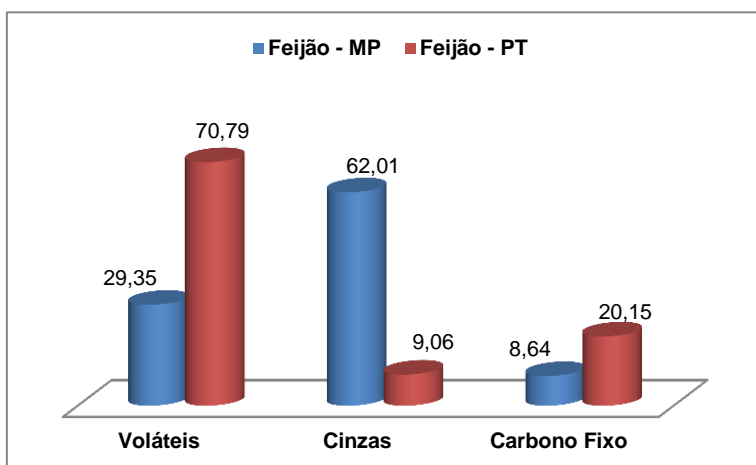


Gráfico 9: Resultados da análise imediata relativamente ao pé-de-feijoeiro.

Da análise do gráfico, pode-se depreender que relativamente ao teor de voláteis, os resultados obtidos foram de 29,35% e 70,79% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes resultados são significativamente diferentes entre si, mas assemelham-se ligeiramente aos encontrados por Oliveira *et al.* (2010), Reis *et al.* (2012), Brand *et al.* (2013), Costa *et al.* (2014) (teor de voláteis entre 29,20% e 71,00%), e Simango *et al.* (2023) (teor de voláteis de 22,9%).

Por sua vez, estes resultados diferem significativamente dos encontrados por Arantes (2009), Protásio *et al.* (2011), Protásio *et al.* (2013), Sharuddin *et al.* (2016) e Xavier *et al.* (2023) cujos resultados se situam entre 75,5% e 85,0%.

Apesar das similaridades entre ambos os resultados com os de outros estudos, dos valores obtidos na presente pesquisa, apenas o Feijão do Porto revelou valor dentro dos limites estabelecidos pela Norma BS CEN 15148:2009, usada como referência neste estudo e que fixa os valores aceitáveis para este parâmetro no intervalo entre 65,0% e 85,0%.

Os teores de cinzas encontrados nas duas amostras foram 62,01% e 9,06%, respectivamente para Maputo e Porto. Estes valores são significativamente diferentes entre si e superam também significativamente, os resultados de cinzas

obtidos por Protásio *et al.* (2011), Protásio *et al.* (2013), Chaves *et al.* (2013), Vieira *et al.* (2015), Sharuddin *et al.* (2016), Silva *et al.* (2018), Xavier *et al.* (2019) e Simango *et al.* (2023) que também analisaram amostras de feijoeiro sob condições analíticas similares. Este grupo de autores obteve resultados que variaram entre 1,3% e 9,3%, sendo que os obtidos para Maputo são muito próximos entre si e estão dentro deste intervalo.

Apesar das similaridades com outros estudos, todas as amostras estão fora (acima) dos limites admissíveis para biocombustíveis sólidos conforme plasmado nas Normas ISO 18122:2015, ISO 18134-3:2015, ABNT NBR 2005 e BS CEN 14775:2009, fixados entre 1,50% e 3,73%.

Em relação ao Carbono fixo, os resultados obtidos neste estudo foram 8,64% e 20,15% para Maputo e Porto respectivamente. Os resultados obtidos diferem significativamente entre si.

Por outro lado, o valor médio encontrado em amostras de Maputo difere significativamente dos obtidos por Chaves *et al.* (2013) e Simango *et al.* (2023) que se situaram entre 16,08% e 22,9%.

Estes valores diferem significativamente entre si e do valor 67,83% obtido por Simango *et al.* (2023), embora, o resultado da amostra do Porto se assemelha ao obtido por Vale (2000), Arantes (2009), Protásio *et al.* (2011), Sharuddin *et al.* (2016) e Xavier *et al.* (2023) que obtiveram um teor de Carbono fixo de 20,73%.

Os valores encontrados, apesar de alguma diferença com os obtidos por outros pesquisadores, estão dentro dos valores limites de referência, conforme plasmado nas Normas ISO 16948:2015 e BS CEN 15104:2011, fixados entre 3,0% e 21,0%.

Em relação aos teores de humidade, os valores obtidos nas duas amostras foram de 4,70% e 9,42% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores são significativamente diferentes entre si, bem como do valor de 14,3% obtido por Simango *et al.* (2023), mas relativamente similar ao valor de 5,0% obtido por Silva (2018), ou ao intervalo de valores entre 5,0% a 10,0% obtidos por Vale (2000), Arantes (2009), Protásio *et al.* (2013), Sharuddin *et al.* (2016) e Xavier *et al.* (2023) em análises de amostras similares.

Apesar da diferença entre si, ambos os valores estão em conformidade com os limites plasmados nas Normas BS CEN 14774-3:2009, ISO 18134-1:2015 e ABNT NBR 2005, fixados entre 2,31% e 15,00%.

As diferenças encontradas na análise de todos os parâmetros (Humidade, Cinzas, Voláteis e Carbono fixo) mostraram que existe uma influência directa da origem na qualidade física e química dos resíduos estudados.

Tal como sustentam Silva (2018), Amisse *et al.* (2021), Simango *et al.* (2023) e Chachuiao *et al.* (2023), *altos teores de Voláteis e de Carbono fixo, combinados com baixos teores de humidade e de Cinzas, favorecem directamente o PCS do Biocombustível, sendo queo teor de Voláteis é inversamente proporcional ao teor de Carbono fixo.*

c) **Milho**

A análise termogravimétrica (T = 80°C a 900°C) para os parâmetros Voláteis (V), Cinzas (Cz) e Carbono fixo (CF), relativamente ao caroço-de-milho, originou resultados apresentados no gráfico 10.

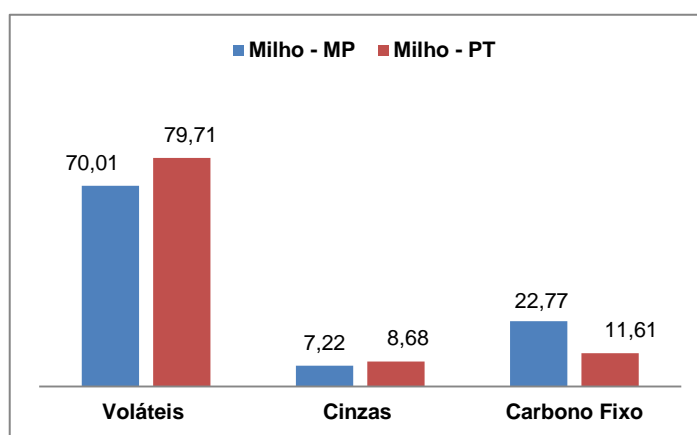


Gráfico 10: Resultados da análise imediata relativa ao caroço-de-milho.

A análise do gráfico 10 permite constatar que, os valores de voláteis para ambas amostras foram de 70,01% e 79,71% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores, não são significativamente diferentes entre si, mas diferem dos valores obtidos por Simango *et al.* (2023) e Saustiano *et al.* (2023) que obtiveram valores de voláteis entre 10,30% e 15,93%, e também dos valores obtidos por Sharuddin *et al.* (2016) César (2013) e Cunha (2020), que obtiveram valores acima de 83,0%.

Estas diferenças podem estar associadas à metodologia de análise aplicada pelos autores, e também à origem das amostras, considerando que as faixas de temperaturas de operação do forno e a composição química da amostra afectam directamente o teor de voláteis (PROTÁSIO *et al.*, 2013).

Apesar da diferença entre si e com outros resultados obtidos noutras pesquisas, ambos os valores estão dentro dos limites (65% a 85%) estabelecidos pela Norma BS CEN 15148:2009 para amostras de Biocombustíveis.

Em relação às Cinzas, os resultados obtidos para ambas as amostras foram 7,22% e 8,68% para Maputo e Porto, respectivamente. Estes resultados não são significativamente diferentes entre si, mas diferem significativamente dos obtidos por César (2013), Silva & Ataíde (2019), Cunha (2020) e Saustiano *et al.* (2023), cujos resultados se situaram no intervalo entre o mínimo de 1,60% e um máximo de 3,77%.

Apesar de verificada apenas uma ligeira diferença entre si, estes resultados superam significativamente os obtidos por outros pesquisadores e, também, os valores limitem para este parâmetro, fixados entre 1,50% e 3,73% pelas Normas ISO 18122:2015, ISO 18134-3:2015, ABNT NBR 2005 e BS CEN 14775:2009, enquanto normas de referência.

Relativamente ao Carbono fixo, foram obtidos os resultados de 22,77 e 11,61% para Maputo e Porto, respectivamente. Estes valores são significativamente diferentes entre si e ligeiramente próximos aos obtidos por César (2013) e Cunha (2020), que obtiveram, para este parâmetro, valores entre 13,67% e 15,27%.

Outrossim, são significativamente diferentes dos obtidos por Protásio *et al.* (2011) e Saustiano *et al.* (2023), cujos resultados se situaram entre 70,50% e 80,28%.

Apesar de uma ligeira similaridade com os resultados de outros pesquisadores, apenas o valor encontrado na amostra de Milho do Porto está dentro dos limites (3,0% e 21%), considerados óptimos pelas Normas ISO 16948:2015 e BS CEN 15104:2011.

Em relação à humidade, os resultados obtidos no estudo foram de 9,98% e 8,12% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores não são significativamente diferentes entre si e também são ligeiramente próximos dos obtidos por Silva & Ataíde (2019) e Cunha (2020), cujo

valor foi 7,09%. Contudo, estes valores diferem significativamente dos obtidos por César (2013) (4,05%), Simango *et al.* (2023) e Saustiano *et al.* (2023), com resultados a variarem entre 4,05% e 5,96%.

Os valores encontrados neste estudo, apesar de ligeiramente diferentes entre si e significativamente diferentes de outros estudos, ambos estão dentro dos limites (2,31% e 15,00%) considerados ótimos pelas Normas BS CEN 14774-3:2009, ISO 18134-1:2015 e ABNT NBR 2005 para os bicompostíveis.

As diferenças observadas em ambas as amostras podem estar associadas, directamente à origem do resíduo, assim como às condições analíticas aplicadas em cada estudo, conforme explicam Protásio *et al.* (2011), César (2020) e Saustiano *et al.* (2023), uma vez que, *a origem do combustível tem um papel fundamental na sua qualidade física e química, devendo ser considerada em análises proximais.*

▪ Comparação entre: Amendoim, Feijão e Milho

Para melhor elucidação dos resultados obtidos nas seis amostras, três de Moçambique e três de Portugal, apresenta-se a tabela 12 como resumo de todos os resultados da análise das amostras das duas origens diferentes.

Tabela 12: Resultados da comparação entre os diferentes parâmetros testados nos RSA.

Parâmetros	Amostra/origem (%)						Sdev
	Amendoim		Feijão		Milho		
	MP	PT	MP	PT	MP	PT	
Humidade	9,84	7,20	4,70	9,42	9,98	8,12	0,27
Voláteis	70,88	76,52	29,35	70,79	70,01	79,71	1,50
Carbono Fixo	25,28	20,91	8,83	20,16	22,78	11,61	0,03
Cinzas	4,25	3,53	64,83	9,06	7,22	8,68	0,07

Conforme apresentado na tabela 12, em relação à Humidade, todas as amostras estão em conformidade com o valor de referência das Normas BS CEN 14774-3:2009, ISO 18134-1:2015 e ABNT NBR 2005.

Relativamente aos voláteis, apenas as amostras de Amendoim (MP), Feijão (PT) e Milho (MP) é que respondem aos valores de referência da Norma BS CEN 15148:2009, enquanto para o Carbono fixo, todas as amostras estão dentro do padrão recomendado pelas Normas ISO 16948:2015 e BS CEN 15104:2011 com

excepção das amostras de Amendoim e Milho de Maputo que têm valores acima do estabelecido.

Em relação ao teor de cinzas todas as amostras de Amendoim respondem aos valores limites fixados pelas Normas ISO18122:2015, ISO18134-3:2015, ABNT NBR 2005 e BS CEN 14775:2009, ao passo que as amostras de Feijão e de Milho ultrapassam esses valores limite.

II. Resíduos Plásticos

Nesta subsecção apresentam-se os resultados da análise termogravimétrica por forno para os resíduos de materiais plásticos: PP, PEBD, PEAD, PS e PET.

a) Polipropileno (PP)

A análise termogravimétrica (T = 80°C a 900°C) para os parâmetros Voláteis (V), Cinzas (Cz) e Carbono fixo (CF) relativamente ao PP, originou os resultados apresentados no gráfico 11.

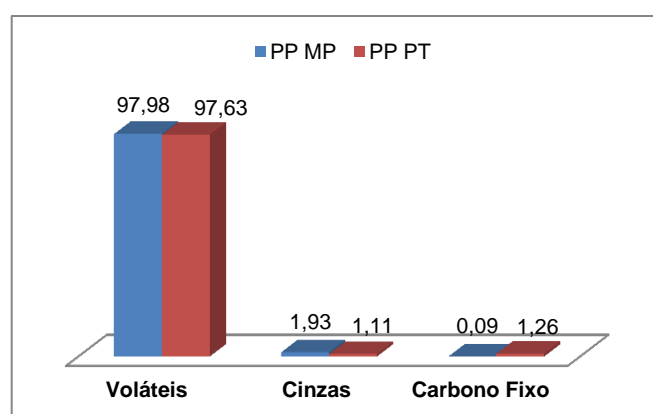


Gráfico 11: Resultados da análise imediata relativa ao resíduo de PP.

A análise do gráfico 11 permite constatar que, os valores de voláteis para ambas as amostras foram 97,98% e 97,63% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores não são significativamente diferentes entre si e, assemelham-se aos obtidos por Brás (2011), Filho (2020), Sharuddin *et al.* (2016) e Chen *et al.* (2017) que se situaram entre 94,24% e 99,95%.

Os resultados aqui encontrados, para além de similares aos obtidos por outros pesquisadores, ambos os valores estão dentro dos limites (85% e 99%) estabelecidos pelas Normas ISO 1350:1984 e ISO 562:2010, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986, para materiais plásticos.

Em relação às cinzas, os valores obtidos para ambas as amostras foram de 1,93% e 1,11% para Maputo e Porto, respectivamente. Estes resultados são significativamente diferentes entre si.

Os valores obtidos neste estudo para além de ligeiramente diferentes entre si, diferem-se também dos valores obtidos por pesquisadores como, Brás (2011), Zuim (2013), Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017) e Filho (2020) cujos valores se situaram no intervalo entre o mínimo de 0,0% e um máximo de 5,72% para material similar.

Apesar de verificada uma ligeira diferença entre si, os resultados obtidos nesta análise estão de acordo com os valores limites (0,5% e 10,0%) para este parâmetro, fixados pelas Normas ISO 1171:2010 e ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986, enquanto normas de referência.

Relativamente ao Carbono fixo, foram obtidos os resultados de 0,09% e 1,26% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes resultados, embora significativamente diferentes entre si, encontram-se dentro do intervalo, relativamente aberto, dos valores obtidos por Brás (2011), Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017) e Filho (2020) cujos resultados se situaram entre 0,05% e 1,93%.

Apesar das diferenças entre si e com resultados obtidos por outros pesquisadores, apenas o valor encontrado na amostra de PP do Porto está dentro dos limites (0,12% e 15%) considerados ótimos pelas Normas ISO 17246:2005, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Em relação à humidade, os resultados obtidos no estudo foram de 0,20% e 0,18% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores são significativamente semelhantes entre si e, também, se encontram dentro do intervalo de valores obtidos por Hoffman (2010), Zuim (2013), Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017) e Filho (2020) cujos resultados se situaram entre 0,011% e 0,25%.

Os valores obtidos neste estudo, estão dentro dos limites de 0,0% – 1,0% considerados ótimos pelas Normas ISO 11722:2013 e ISO 17246:2005 e ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986 para combustíveis derivados de petróleo.

Com base nos teores de humidade, obtidos em ambas as amostras, pode-se afirmar que estes materiais são óptimos para serem usados em incineradoras para fins energéticos.

Tal como sustentam Hoffmann (2010), Pauts & Lourenço (2017) e Filho (2020) *altos teores de humidade e de cinzas reduzem a eficiência da incineração devido ao aumento no consumo de oxigénio para derreter as cinzas e pela perda de calor com a saída de cinzas do reactor que não pode ser totalmente recuperado, o que reduz o seu rendimento.*

Por outro lado, as ligeiras diferenças encontradas no teor de humidade, cinzas, voláteis e carbono fixo em ambas as amostras, reforçam a ideia de que, existe uma influência do local de produção/origem do material na qualidade, considerando que alguns fabricantes podem incluir material inorgânico não combustível durante a produção do plástico para lhe conferir maior consistência.

b) Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)

A análise termogravimétrica ($T = 80^{\circ}\text{C}$ a 900°C) para os parâmetros Voláteis (V), Cinzas (Cz) e Carbono fixo (CF) relativamente ao PEBD, originou os resultados apresentados no gráfico 12.

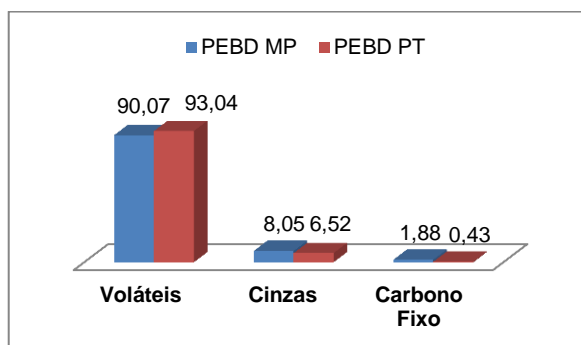


Gráfico 12: Resultados da análise imediata do PEBD.

A análise do gráfico permite constatar que os valores de voláteis para ambas as amostras foram 90,07% e 93,04% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores não são significativamente diferentes entre si, mas diferem dos resultados obtidos por Macamo *et al.* (2023) e Saiote (2012) que obtiveram valores de voláteis um pouco mais baixos, entre 82,6% e 87,28%.

Os resultados aqui encontrados, para além de ligeiramente diferentes entre si e significativamente diferentes dos obtidos em outros estudos, encontram-se ambos dentro dos limites (85% e 99%) estabelecidos pelas Normas ISO 1350:1984, ISO 562:2010, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Em relação às cinzas, os valores obtidos para ambas as amostras foram de 8,05% e 6,52% para Maputo e Porto, respectivamente.

Os valores encontrados são ligeiramente diferentes entre si e também dos obtidos por outros pesquisadores como Saiote (2012), Oshiro (2016), Aliakbari *et al.* (2017) e Macamo *et al.* (2023) cujos valores se situaram no intervalo entre o mínimo de 0,20% e máximo de 7,2%.

Os valores obtidos neste estudo apesar de diferirem entre si e também dos valores obtidos por outros pesquisadores em amostras similares, ambos estão de acordo com os valores limites (0,5% e 10%) para este parâmetro fixados pelas Normas ISO 1171:2010, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Relativamente ao Carbono fixo, foram obtidos os resultados de 1,88% e 0,43% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores são significativamente diferentes entre si e também dos obtidos em estudos realizados por Saiote (2012) e Macamo *et al.* (2023) cujos resultados se situaram entre o valor mínimo de 0,1% e máximo de 2,05%.

Apesar das diferenças entre si e com os resultados obtidos por outros pesquisadores, ambos os valores estão dentro dos limites (0,12% e 15,0%) considerados óptimos pelas Normas 17246:2005, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Em relação à humidade, os resultados encontrados no estudo foram 0,94% e 0,37% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores são significativamente diferentes entre si e também diferem dos obtidos em estudos de Macamo (2023) e Saiote (2012) cujos resultados se situaram entre 0,1% e 6,98%.

Apesar das diferenças entre si e com os obtidos por outros pesquisadores, ambas as amostras apresentaram valores dentro dos limites (0,0% e 1,0%) considerados aceitáveis pelas Normas ISO 11722:2013, ISO 17246:2005, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Os baixos valores de humidade e de cinzas, encontrados em ambas as amostras, evidenciam que o PEBD afigura-se como uma alternativa promissora para a geração de energia por WTE.

c) Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

A análise termogravimétrica (T = 80°C a 900°C) para os parâmetros Voláteis (V), Cinzas (Cz) e Carbono fixo (CF) relativamente ao PEBD, originou os resultados apresentados no gráfico 13.

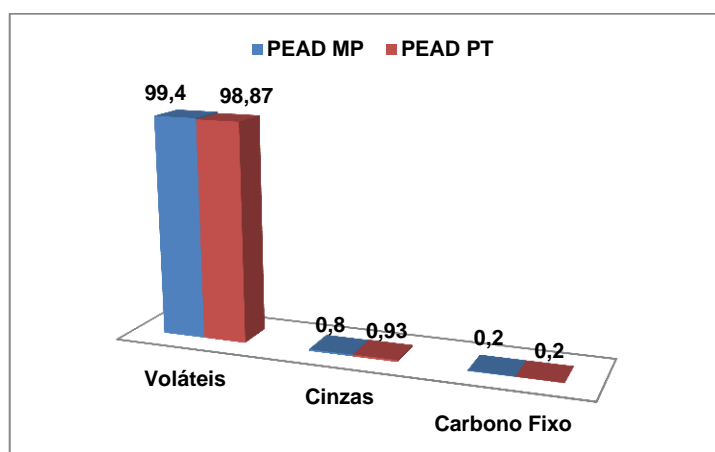


Gráfico 13: Resultados da análise imediata do PEAD.

A análise do gráfico 13, permite constatar que os valores de Voláteis, para ambas as amostras, foram 99,4% e 98,87% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores não são significativamente diferentes entre si, e também não se diferem dos obtidos por Hoffman (2010), Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017), Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023) que obtiveram valores de voláteis entre 85,39% e 99,81%.

Os resultados aqui obtidos, para além de não serem significativamente diferentes entre si e também dos de outros estudos, estão dentro dos limites (85% - 99%) considerados aceitáveis para este parâmetro pelas Normas ISO 1350:1984, ISO 562:2010, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Em relação às cinzas, os valores obtidos para ambas as amostras foram 0,8% e 0,93% para Maputo e Porto, respectivamente.

Os valores obtidos são ligeiramente diferentes entre si e também dos valores obtidos por outros pesquisadores como Hoffman (2010), Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.*

(2017), Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023) cujos valores se situaram entre 0,18% e 4,02%.

Os valores obtidos neste estudo, apesar de diferentes entre si e com os de outros estudos, ambos os resultados estão de acordo com os limites (0,5% – 10%) fixados para este parâmetro estabelecidos pelas Normas ISO 1171:2010, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Relativamente ao Carbono fixo, foram obtidos os resultados de 0,2% para ambas as amostras de Maputo e Porto.

Estes valores são iguais entre si e diferem significativamente dos valores obtidos em outros estudos realizados por Hoffmann (2010), Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017), Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023) que variaram entre 0,01% e 4,02%.

Apesar da similaridade entre si e das diferenças com os resultados de outros pesquisadores, ambos os valores estão dentro dos limites (0,12% - 15%) estabelecidos pelas Normas ISO 17246:2005, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Em relação à humidade os resultados obtidos no estudo foram 0,04% e 0,12% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores são significativamente diferentes entre si e também dos obtidos por Hoffmann (2010), Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017), Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023) que variaram entre 0,0% e 8,89%.

Apesar das diferenças verificadas entre os valores das duas amostras com os valores de outros estudos, ambos estão dentro dos limites (0,0% – 1,0%), considerados admissíveis pelas Normas ISO 11722:2013, ISO 17246:2005, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Estes resultados permitem depreender que, todas as amostras podem ser consideradas ótimas para o seu uso em sistemas pirolíticos ou de incineração para fins energéticos, devido aos seus altos teores de voláteis e baixos teores de cinzas e Carbono Fixo, que favorecem a sua combustibilidade em sistemas de incineração ou pirólise (SHARUDDIN *et al.*, 2016; FILHO, 2020; MACAMO *et al.*, 2023).

Importa referir, ainda, que ambas as amostras se revelaram como excelentes combustíveis para a geração de energia por apresentarem baixos teores de humidade, conforme referido por Oshiro (2016), Rominiyi *et al.* (2017), Filho (2020) e

Macamo *et al.* (2023), “um bom combustível para geração de energia deve apresentar valores baixos de cinzas e dehumidade de modo que sua combustão seja facilitada e completa”.

d) Poliestireno (PS)

A análise termogravimétrica (T = 80°C – 900°C) revelou para os parâmetros Voláteis (V), Cinzas (Cz) e Carbono fixo (CF) do PS os resultados apresentados no gráfico 14.

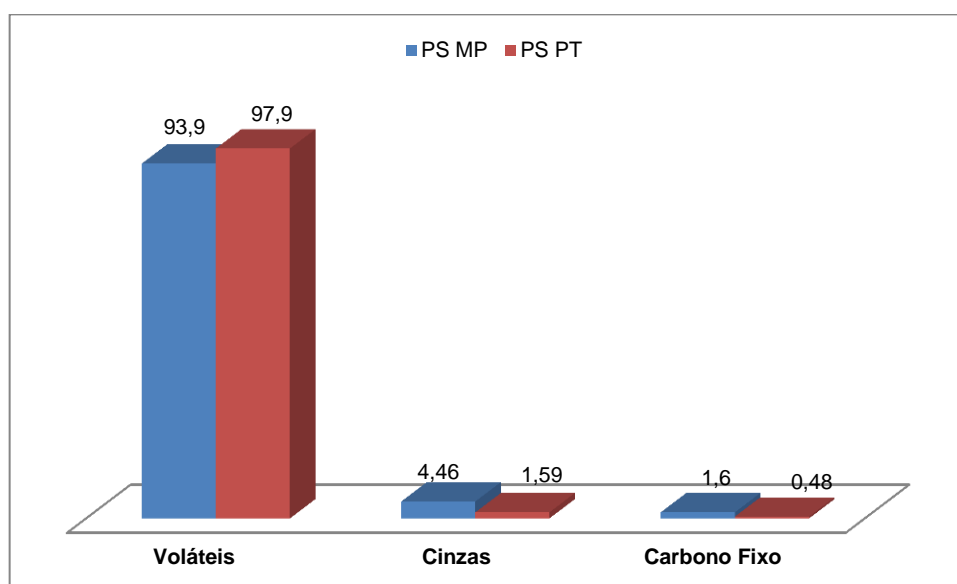


Gráfico 14: Resultados da análise imediata do PS.

A análise do gráfico 14 permite constatar que, os valores de voláteis obtidos para ambas as amostras, foram 93,9% e 97,9% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores não são significativamente diferentes entre si e também dos obtidos por outros pesquisadores como Filho (2020), Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017), Macamo *et al.* (2023) que se situaram entre 89,0% e 99,63%.

Os resultados obtidos nesta pesquisa, apesar de ligeira diferença entre si e com os de outros pesquisadores, estão dentro dos limites (85% - 99%) estabelecidos pelas Normas ISO 1350:1984, ISO 562:2010, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Relativamente às cinzas foram encontrados os seguintes resultados 4,46% e 1,59% para Maputo e Porto, respectivamente.

Os valores encontrados em ambas as amostras são significativamente diferentes entre si e também dos obtidos por outros pesquisadores como Sharuddin *et al.*

(2016), Chen *et al.* (2017), Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023) que variaram entre 0,0% e 2,31%.

Apesar das diferenças entre ambos os resultados e com os de outros pesquisadores ambos os resultados estão em conformidade com os limites (0,12% - 10%) considerados aceitáveis para este parâmetro pelas Normas ISO 1171:2010, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Relativamente ao Carbono fixo, foram encontrados os seguintes resultados 1,6% e 0,48% para Maputo e Porto, respectivamente.

Os valores obtidos neste estudo são significativamente diferentes entre si e também diferem dos obtidos por outros pesquisadores como Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017), Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023) cujos valores se situaram entre o valor mínimo de 0,039% e máximo de 1,3%.

Apesar das diferenças verificadas entre os dois resultados com os de outros pesquisadores, ambos estão dentro dos limites (0,12% - 15%) admissíveis pelas Normas ISO 17246:2005, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Relativamente à humidade, os resultados obtidos foram 1,30% e 0,48% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes resultados são significativamente diferentes entre si e também diferem dos obtidos em outros estudos como de Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017), Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023) que se situaram entre um valor mínimo de 0,041% e máximo de 7,45%.

Apesar das diferenças observadas entre ambas as amostras e de outras pesquisas, apenas o valor obtido na amostra do Porto está dentro dos limites (0,0% – 1,0%) e o valor obtido na amostra de Maputo está fora dos limites admissíveis para este parâmetro fixados pelas Normas ISO 11722:2013, ISO 17246:2005, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

As diferenças observadas entre ambas as amostras e em trabalhos de outros pesquisadores, podem estar associadas aos métodos analíticos e equipamentos usados na análise, mas também pode estar relacionada com a origem e qualidade de cada amostra bem como as técnicas de processamento das amostras antes da análise.

e) Polietileno Tereftalato (PET)

A análise termogravimétrica (T = 80°C – 900°C) revelou para os parâmetros Voláteis (V), Cinzas (Cz) e Carbono fixo (CF) do PET os resultados apresentados no gráfico 15.

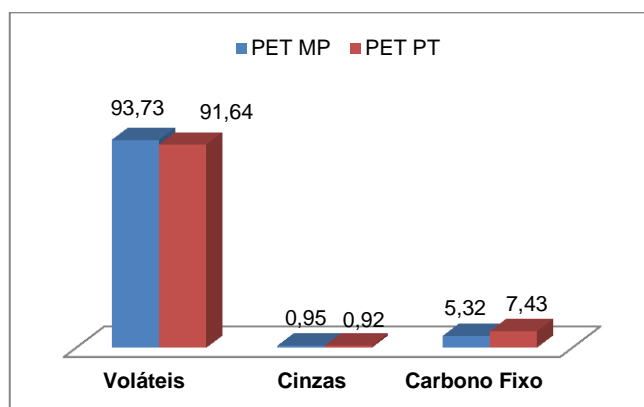


Gráfico 15: Resultados da análise imediata do PET.

A análise do gráfico 15 permite constatar que, os valores de voláteis obtidos para ambas as amostras foram 93,7% e 91,64%, para Maputo e Porto, respectivamente. Os resultados obtidos neste estudo são ligeiramente diferentes entre si e também dos obtidos noutras pesquisas como a de Sharuddin *et al.* (2016) e Chen *et al.* (2017) que obtiveram valores entre 90,57% e 91,75%, respectivamente.

Por outro lado, estes valores diferem significativamente dos resultados obtidos em pesquisas realizadas por Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023), que obtiveram valores situados entre 82,58% e 89,26%.

Apesar destas diferenças, os resultados obtidos em ambas as amostras estão dentro dos limites (85% - 99%) estabelecidos pelas Normas ISO 1350:1984, ISO 562:2010, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Relativamente às cinzas, os valores obtidos foram 0,95% e 0,92% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores não são significativamente diferentes entre si, mas diferem significativamente dos resultados obtidos nas pesquisas desenvolvidas por Hoffmann (2010), Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017), Pauts & Lourenço (2017), Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023) que se situaram entre um valor mínimo de 0,0% e um máximo de 0,68%.

Apesar das diferenças significativas entre os resultados obtidos neste estudo com os de outros pesquisadores, os valores obtidos em ambas as amostras estão dentro dos limites (0,5%- 10%), estabelecidos pelas Normas ISO 1171:2010, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Relativamente ao Carbono fixo, os valores obtidos foram 5,32% e 7,43% para Maputo e Porto, respectivamente.

Estes valores diferem ligeiramente entre si e significativamente dos valores obtidos por Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017), Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023) que se situaram entre 9,43% e 13,17%.

Apesar das diferenças significativas verificadas entre os valores obtidos neste estudo com os de outras pesquisas, ambos os valores estão dentro dos valores limites (0,12% – 15%) fixados pelas Normas ISO 17246:2005, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

Em relação à humidade, os valores obtidos foram 0,68% e 0,50% para Maputo Porto, respectivamente.

Os valores obtidos neste estudo são ligeiramente diferentes entre si e significativamente diferentes dos resultados obtidos por outros pesquisadores como Sharruddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017), Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023), que variaram entre 0,0% e 5,12%.

Estes resultados, apesar de diferentes entre si e com os obtidos por outros pesquisadores, estão dentro dos limites (0,0% – 1,0%) estabelecidos pelas Normas ISO 11722:2013, ISO 17246:2005, ABNT NBR 14929 e ABNT NBR 8112:1986.

As diferenças encontradas podem estar associadas ao tipo de equipamento, faixas de temperaturas utilizadas na análise bem como na origem (fabricante) do material, corroborando com o que defendem Hoffmann (2010) e Pauts & Lourenço (2017), que em *função do fabricante, algumas diferenças na qualidade física do material plástico podem ser consequência da incorporação de aditivos.*

▪ **Comparação entre: PP, PS, PEAD, PEBD e PET**

Os resultados da análise comparativa entre as dez amostras de materiais plásticos são apresentados na tabela 13.

Tabela 13: Resultados da análise imediata comparativa de resíduos de plásticos.

Amostra	Origem	Parâmetros da análise imediata (%)			
		Humidade	Voláteis	Cinzas	Carbono Fixo
PP	Porto	0,18	97,63	1,11	1,26
	Maputo	0,20	97,98	1,93	0,09
PS	Porto	0,10	97,93	1,59	0,48
	Maputo	7,40	89,00	2,31	1,30
PEAD	Porto	0,12	98,9	0,93	0,2
	Maputo	0,04	99,40	0,80	0,20
PEBD	Porto	0,37	93,04	6,52	0,43
	Maputo	0,93	90,07	8,04	1,88
PET	Porto	0,50	91,65	0,92	7,43
	Maputo	0,68	93,09	0,94	5,32
Sdev		0,02	0,06	0,03	1,87

A análise da tabela 13 permite depreender que todas as amostras podem ser excelentes combustíveis pois apresentam baixos teores de cinzas e de humidade e altos teores de voláteis.

Apesar de todos se afigurarem como bons combustíveis, o PEAD revela-se como sendo o melhor, seguido por PP e PS por estes apresentarem teores mais baixos de humidade e cinzas em comparação com os outros.

Relativamente às amostras do PS, observou-se uma diferença significativa entre as amostras colhidas em Maputo e Porto. Esta diferença tanto pode estar associada à diferença na composição dos polímeros, como resultado da incorporação de elementos não combustíveis durante a polimerização, tal como fundamentam Hoffmann (2010) e Pauts & Lourenço (2017), *“a origem, o método de fabricação dos plásticos (uso de aditivos para dar consistência, cor e resistência), a presença de um hetero-átomo assim como a técnica analítica utilizada podem influenciar o valor energético do resíduo”*.

4.4. Resultados da Análise Elementar e micrográfica

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados da análise elementar e micrográfica das amostras de resíduos plásticos: (PP, PS, PEAD, PEBD e PET) e Agrícolas (Feijão, Milho e Amendoim) do Porto e Maputo.

A análise elementar permite determinar a influência da composição elementar na composição imediata assim como no poder calorífico dos combustíveis.

4.4.1. Resíduos Agrícolas

Os resultados da análise elementar das seis amostras agrícolas são apresentados na tabela 14.

Tabela 14: Resultados da análise elementar de RSA.

Elemento	Origem da amostra	Resíduos Sólidos Agrícolas (%)		
		Amendim	Feijão	Milho
C	PT	54,77	34,53	53,93
	MP	55,59	51,72	52,50
O	PT	43,60	41,10	45,66
	MP	42,46	44,26	45,98
K	PT	0,95	7,73	0,20
	MP	1,08	0,28	0,68
S	PT	0,26	0,00	0,11
	MP	0,02	0,20	0,00
	MP	0,13	0,42	0,00
Al	PT	0,15	0,00	0,05
	MP	0,32	0,66	0,00
Si	PT	0,09	0,00	0,00
	MP	0,40	0,76	0,83
Cl	PT	0,00	1,48	0,07
	MP	0,00	0,00	0,00
Ca	PT	0,00	1,47	0,00
	MP	0,00	1,50	0,00
P	PT	0,00	0,13	0,00
	MP	0,00	0,22	0,00
Hg	PT	0,00	0,07	0,00
	MP	0,00	0,00	0,00
N	PT	0,00	0,00	0,00
	MP	0,00	0,00	0,00
Mg	PT	0,18	0,02	0,02
	MP	0,13	0,42	0,00

A análise da tabela 14, mostra que as seis amostras apresentam valores de teores de Carbono e de Oxigénio acima de 40%.

Foram também encontrados, em todas as amostras, uma diversidade de elementos não combustíveis tais como: Potássio - K (3,0%), Alumínio - Al (0,5%), Mercúrio - Hg (0,02%), Cálcio - Ca (0,16%), Magnésio - Mg (0,7%), Nitrogénio - N (0,0%), Silício - Si (0,03%) e Enxofre - S (0,12%).

Os resultados obtidos para Carbono e Oxigénio não diferem significativamente dos obtidos por outros pesquisadores como Gomes (2010), Vale *et al.* (2013) e Vieira *et al.* (2014) que obtiveram os valores médios para amostras similares de 46,58% e 45,46% para Carbono e Oxigénio, respectivamente.

Relativamente aos elementos Nitrogénio (N), Enxofre (S) e Hidrogénio (H) os resultados obtidos neste estudo também diferem dos obtidos por Rodriguez (2007) e Paula (2011) que se situaram entre 0,47% e 0,5% para o Nitrogénio, 0,01% e 0,3% para o Enxofre em amostras similares.

Apesar destas diferenças, os valores da composição elementar em relação ao Carbono e Oxigénio encontrados (milho, feijão e amendoim) está em conformidade com os limites (44% - 55%) fixados pelas Normas ISO 17115-6:2014 e ISO 16948:2015.

Ademais, os valores dos teores dos elementos Enxofre, Nitrogénio e Hidrogénio, obtidos neste estudo estão também em conformidade com a composição química e os limites (0,0% - 10%) em massa, fixados pelas normas anteriormente referidas.

Os altos valores de teores de Carbono, encontrados neste estudo, são considerados ótimos para uso destes materiais como biocombustíveis, outrossim, a variabilidade de elementos metálicos não combustíveis compromete os rendimentos das incineradoras e os potenciais caloríficos do material devido à formação de altos teores de cinzas no sistema.

Este fenómeno foi verificado na análise imediata das seis amostras agrícolas, onde o Feijão apresentou altos teores de cinzas e de Carbono fixo em relação às amostras de Amendoim e Milho de ambas as origens, o que explica o baixo potencial calorífico do Feijão em relação aos outros biocombustíveis (THEMILIS, 2006; HUANG *et al.*, 2009; GOMES, 2010; PROTÁSIO *et al.*, 2011).

Este resultado está em conformidade com Silva *et al.* (2008), Vale *et al.* (2013) e Vieira *et al.* (2014), Silva *et al.* (2017) e Fortes *et al.* (2022) que defendem que “a composição química de um combustível é um factor importante nas suas propriedades físicas, como é o caso do teor de cinzas dependendo fundamentalmente do local de colheita, regime de cultivo e da espécie do material combustível em análise”.

Por outro lado, segundo os mesmos autores, “existe uma forte correlação directa entre o teor de Carbono e de Hidrogénio com o PCS, esta correlação não é directa para o caso do Oxigénio e do PCS, que apesar de Oxigénio ser fundamental na promoção da combustão”, valores elevados deste reduzem o PCS do material combustível pois propicia a formação de óxidos e sais inorgânicos que compõem a maior parte das cinzas não combustíveis.

A relação entre a composição elementar e os teores de cinzas de materiais vegetais não lenhosos é melhor ilustrada na tabela 15.

Tabela 15: Resultados da análise da correlação entre a composição elementar e os teores de cinzas de RSA.

Elemento	Origem da amostra	Resíduos Sólidos Agrícolas (%)		
		Amendim	Feijão	Milho
C	PT	54,77	34,53	53,93
	MP	55,59	51,72	52,50
O	PT	43,60	41,10	45,66
	MP	42,46	44,26	45,98
K	PT	0,95	7,73	0,20
	MP	1,08	0,28	0,68
S	PT	0,26	0,00	0,11
	MP	0,02	0,20	0,00
	MP	0,13	0,42	0,00
Al	PT	0,15	0,00	0,05
	MP	0,32	0,66	0,00
Si	PT	0,09	0,00	0,00
	MP	0,40	0,76	0,83
Cl	PT	0,00	1,48	0,07
	MP	0,00	0,00	0,00

Ca	PT	0,00	1,47	0,00		
	MP	0,00	1,50	0,00		
P	PT	0,00	0,13	0,00		
	MP	0,00	0,22	0,00		
Hg	PT	0,00	0,07	0,00		
	MP	0,00	0,00	0,00		
N	PT	0,00	0,00	0,00		
	MP	0,00	0,00	0,00		
Mg	PT	0,18	0,02	0,02		
	MP	0,13	0,42	0,00		
Teor de Cinzas em resíduos sólidos agrícolas (%)						
Amostra	Amendim		Feijão		Milho	
Origem	PT	MP	PT	MP	PT	MP
Resultado	3,53	4,26	9,06	64,83	8,68	7,22

A tabela 15 mostra que, independentemente da origem, as amostras de Feijão apresentam maiores teores de elementos metálicos em relação às amostras de Milho e Amendoim, justificando assim os altos teores de cinzas obtidos na análise imediata deste material.

Os teores de cinzas decrescem na sequência Feijão - Milho – Amendoim, pois no primeiro caso, os resíduos apresentam baixos teores de celulose e uma grande diversidade de elementos metálicos que favorecem a formação deste resíduo. Por outro lado, as amostras de Feijão de Maputo apresentaram altos teores de K, Na, Mg, Al, Si e Ca, que formam óxidos inorgânicos não combustíveis (Cinzas).

Por sua vez, foram encontrados baixos teores de Carbono e Oxigênio em ambas as amostras de Feijão (Maputo e Porto), o que justifica os baixos teores de voláteis, de Carbono fixo e de potencial calorífico obtido nas amostras de Feijão de ambas as origens.

Conforme Moraes *et al.* (2017) e Aderoju & Guerner Dias (2018) “quanto maior for a diversidade elementar do material, mais difícil é a sua combustibilidade e o valor calorífico, pois, maior diversidade na composição elementar favorece a formação de altos teores de cinzas, que são um material não combustível”.

Por outro lado, de acordo com Izidoro *et al.* (2012), “as cinzas com elevado teor de Carbono não queimado contribuem para elevada perda de calor por ignição e alta área superficial o que influencia negativamente na combustibilidade dos materiais”.

As pequenas diferenças, encontradas na composição elementare de teores de cinzas nas amostras, podem estar associadas à sua origem e ao tipo de solos, tal como defendem Medeiros *et al.* (2014), “a composição mineralógica das cinzas depende de factores geológicos relacionados com o plantio, tipo de biomassa e as condições de combustão, que podem ser estabelecida por difracção de raios X (DRX)”.

Este resultado permite corroborar também com Sales & Lima (2010), Souza (2010) e Araújo (2011) que, analisando cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, encontraram altor teor de dióxido de silício (SiO₂) devido à adsorção deste a partir do solo. Este fenómeno permite explicar ainfluência do tipo de solo na composição elementar das amostras agrícolas e a sua influência no potencial calorífico do material combustível.

A relação entre a composição elementar com os teores cinzas e o potencial calorífico dos materiais sólidos agrícolas foi descrita por Guerra (2011) que, estudando materiais que apresentam cadeias ligadas por catiões intersticiais, como o Sódio (Na), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), que geram estruturas abertas, com CuO Cu₂O e Cu⁰ nos quais a água e outras moléculas podem alojar-se facilmente, desta forma, pode-se tornar processos como adsorção fáceis de acontecer, o que dificulta significativamente a combustibilidade e o potencial calorífico do combustível.

4.4.2. Resíduos de Plásticos

Considerando que a combustibilidade do material está associada ao arranjo estrutural dos átomos nas moléculas e ao tipo do elemento constituinte, foi examinada a composição química das amostras de resíduos de materiais plásticos e os resultados desta análise são apresentados na tabela 16.

Tabela 16: Resultados da análise elementar de resíduos plásticos.

Elemento	Origem da amostra	Composição elementar por resíduo plástico (%)				
		PP	PS	PEBD	PEAD	PET
C	PT	86,51	47,85	51,33	46,26	59,27
	MP	82,71	65,00	67,15	95,07	59,97

O	PT	4,40	15,87	4,96	17,37	31,40
	MP	9,57	3,16	2,80	4,93	30,54
Ni	PT	9,08	7,61	8,77	7,46	8,96
	MP	7,72	9,70	6,70	0,00	9,49
Hf	PT	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
	MP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rb	PT	0,00	0,22	0,00	0,00	0,33
	MP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	PT	0,00	0,00	4,46	0,00	0,00
	MP	0,00	0,00	1,85	0,00	0,00
Ti	PT	0,00	0,00	1,65	0,00	0,04
	MP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	PT	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00
	MP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Si	PT	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00
	MP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	PT	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
	MP	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00

A análise da tabela 16 permite depreender que, a maior parte das amostras de materiais plásticos de ambas as origens, apresentam altos (acima de 50%) teores de Carbono com exceção do PS e PEAD do Porto que estão muito abaixo do limite de 50,0%, fixado pelas Normas ISO 11722:2013 e ISO 16948:2015 para materias desta natureza.

Honus *et al.* (2016), Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017) e Mendonça *et al.* (2017) obtiveram resultados acima de 85,0% do teor de Carbono em análises de amostras similares.

Em relação ao Oxigénio os valores obtidos neste estudo situaram-se entre 4,4% – 31,4%, alguns deles acima dos limites (0,0% - 10%) estabelecidos pelas Normas ISO 17115-6:2014 e ISO 16948:2015.

A análise da tabela 16 permite, também, constatar que, para além de Carbono e Oxigénio, foram encontrados nas amostras outros elementos, tais como: Nitrogénio (N), Hidrogénio, Enxofre (S), Cálcio (Ca), Rubídio (Rb), Alumínio (Al), Titânio (Ti), Silício (Si), Sódio (Na) e Magnésio (Mg) em baixa percentagem.

Apesar de estarem em menor quantidade, estes elementos químicos têm uma forte influência sobre a combustibilidade do material, pois, conforme sustentam Honus *et al.* (2016), Sharuddin *et al.* (2016), Chen *et al.* (2017), Mendonça *et al.* (2017) e Filho (2020) “os plásticos possuem na sua composição química uma diversidade de elementos, outrossim predominam Carbono, Cloro, Oxigénio e Hidrogénio” resultantes da polimerização de monómeros (hidrocarbonetos) com excepção do PET cujo monómero integra elementos diferentes de H e C.

Por sua vez, de acordo com Brás (2011) “a composição de resíduos plásticos é essencialmente Carbono e Hidrogénio o que evidencia o seu interesse como matéria-prima de produção de combustível líquido derivado de petróleo, sendo sempre importante conhecer a sua composição para melhor categorização e utilização para fins energéticos”.

Deste modo, a variabilidade na composição química encontrada nos materiais plásticos, pode estar associada aos métodos de produção, qualidade da matéria-prima bem como às políticas adoptados pelos fabricantes na cadeia produtiva, onde alguns optam em acrescentar substâncias para agregar maior resistência ao material, assim como o uso de matéria-prima reciclada (ZUIM, 2013).

A relação entre a composição elementar com a composição imediata de resíduos plásticos é sistematizada na tabela 17.

Tabela 17: Resultados da análise da relação entre a composição elementar e física dos resíduos plásticos.

Elemento	Origem da amostra	% Elementar por resíduo plástico				
		PP	PS	PEBD	PEAD	PET
C	PT	86,51	47,85	51,33	46,26	59,27
	MP	82,71	65,00	67,15	95,07	59,97
O	PT	4,40	15,87	4,96	17,37	31,40
	MP	9,57	3,16	2,80	4,93	30,54
Ni	PT	9,08	7,61	8,77	7,46	8,96

	MP	7,72	9,70	6,70	0,00	9,49				
Hf	PT	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00				
	MP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Rb	PT	0,00	0,22	0,00	0,00	0,33				
	MP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Ca	PT	0,00	0,00	4,46	0,00	0,00				
	MP	0,00	0,00	1,85	0,00	0,00				
Ti	PT	0,00	0,00	1,65	0,00	0,04				
	MP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Na	PT	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00				
	MP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Si	PT	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00				
	MP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Mg	PT	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00				
	MP	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00				
Teor de Cinzas em resíduos plásticos (%)										
Amostra	PP		PS		PEBD		PEAD		PET	
Origem	PT	MP	PT	MP	PT	MP	PT	MP	PT	MP
Resultado	1,11	1,93	1,59	2,31	6,52	8,04	0,93	0,80	0,92	0,94

Os resultados da tabela 17 mostram que, existe uma relação entre a composição elementar e imediata dos resíduos de materiais plásticos.

A relação entre o teor de cinzas e a composição elementar dos combustíveis foi estudada por Ribeiro & Moreira (2009), Sharuddin *et al.* (2016), Aderoju & Guerner, Dias (2018), Filho (2020) e Falcão (2022) que segundo estes pesquisadores, *apesar de os materiais plásticos não possuírem uma diversidade de constituintes elementares, a presença de elementos não combustíveis a eles adicionados durante a produção, dificulta a sua combustibilidade pois, maior diversidade de elementos não combustíveis favorece a formação de óxidos não combustíveis (cinzas) e consequente redução do valor energético do combustível.*

Por outro lado, obteve-se altos teores de Oxigénio nestes materiais, o que pode derivar da estrutura monomérica original de cada um dos plásticos, o que favorece a formação de cinzas em processos de incineração.

De acordo com Liuy (1997), Costa (2006), Guiggi *et al.* (2012) e Cochy (2023) “*mesmo em pequenas quantidades, os elementos minoritários inorgânicos (metais e enxofre) podem ser importantes na combustão, pois, formam fases de baixo ponto de fusão e em partícular, o Mg que pode reduzir a viscosidade das cinzas líquidas ou Ti e P que tendem a formar fases de alto ponto de fusão, daí verificar-se baixos teores de voláteis nestes plásticos especificamente*”.

Ademais, as diferenças verificadas nos materiais plásticos podem estar associadas à presença de aditivos como: *estabilizantes, lubrificantes, agentes anti-bloqueios, plastificantes, corantes/pigmentos, antioxidantes, antiestáticos* e outros, introduzidos no processo do fabrico do plástico, para conferirem a cada um deles uma consistência e qualidade diferentes. Estes aditivos contribuem para a formação de altos teores de cinzas, humidade e potencial calorífico (GUIGGI *et al.*, 2012; COCHY, 2023).

4.5. Resultados da análise micrográfica de resíduos

A análise micrográfica de resíduos permite caracterizar de forma detalhada as imagens dos resíduos fornecendo informações sobre: *a estrutura, a morfologia, o tamanho das partículas, a distribuição dos sedimentos*, detecção de contaminantes ambientais e os defeitos dos materiais residuais (SHARUDDIN *et al.*, 2016).

Estas informações são fundamentais para a caracterização energética, gestão e controlo da qualidade do resíduo, pois maior teor de sedimentos indicará maior probabilidade de formação de cinzas e baixa combustibilidade, o que resulta em menor eficiência do incinerador.

4.5.1. Resíduos sólidos agrícolas

Os resultados da análise micrográfica de resíduos sólidos agrícolas são apresentados na figura 12:

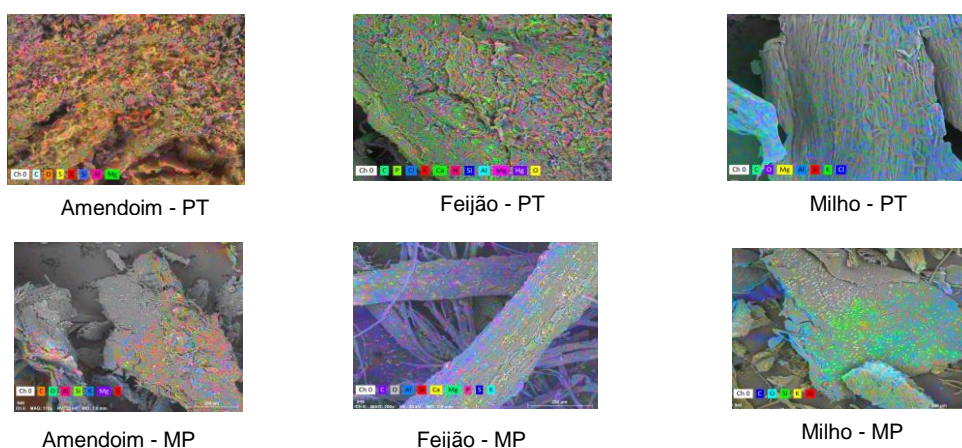


Figura 12: Estruturas micrográficas de RSA.

A análise micrográfica das três amostras revelou uma estrutura quase homogénea para amostras de Porto e heterogénea para amostras de Maputo.

Este resultado pode estar associado à diversidade elementar encontrada em cada amostra, onde os resíduos de Maputo revelaram maior teor de cinzas e elementos metálicos não combustíveis em relação às amostras de Porto.

Estruturas morfológicas similares foram encontradas por Sharruddin *et al.* (2016) em amostras similares ao analisar a relação entre a composição elementar, o teor de cinzas e o poder calorífico de resíduos sólidos agrícolas. Por sua vez, factores como densidade e constituição e estrutura da cadeia dos contituíntes da parede celular destes materiais afecta a sua combustibilidade. Todos são constituídos por pectina, celulose e lignina, mas em percentagens diferentes, o que influi no potencial energético de cada um, devido à estrutura e composição elementar destes polissacarídeos.

4.5.2. Resíduos plásticos

Os resultados da análise micrográfica de resíduos plásticos são apresentados na figura 13:

Os resultados da análise micrográfica de resíduos plásticos são apresentados na figura 13:

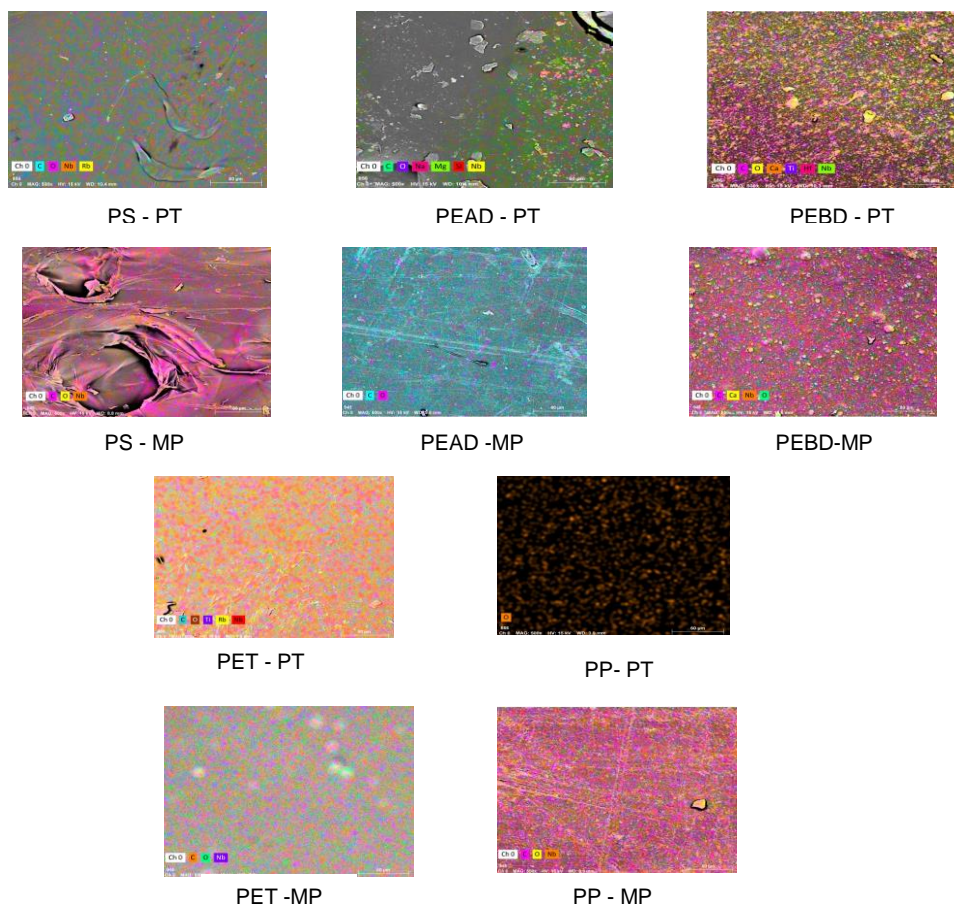


Figura 13: Estruturas micrográficas de Resíduos plásticos.

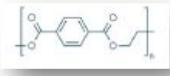

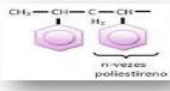

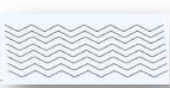
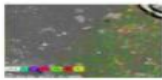

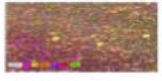


A análise micrográfica realizada em materiais plásticos, revelou que, todas as amostras apresentam estruturas micrográficas homogêneas não muito diferentes entre si (MARTINS & VENTURA, 2020).

Estas similaridades podem estar associadas ao facto de, os materiais plásticos derivarem de monómeros hidrocarbonetos e também na similaridade dos processos de produção sendo que, apesar da adição de alguns aditivos, tais não mostram grande influência na morfologia dos diferentes materiais.

Apesar desta ligeira similaridade, foram encontradas diferenças significativas nos potenciais caloríficos dos diferentes plásticos, o que consubstancia com estudos realizados por Zuim (2013) que defende que *“do ponto de vista elementar, os materiais plásticos não apresentam grande diversidade, salvo em casos específicos em que alguns produtores adicionam elementos diferentes dos constituintes dos monómeros para melhorar a consistência e aspecto”*.

Paralelamente, ao método de produção, a estrutura da cadeia (linear ou ramificada), a presença de um heteroátomos (no caso do PET) e densidade também afectam o valor calorífico dos materiais plásticos.

Na figura 14, resume-se a correlação entre: a *estrutura da cadeia*, *densidade*, *estrutura micrográfica* com o *potencial energético* dos resíduos de materiais plásticos e RSA.

Nome do plástico	Estrutura molecular	Estrutura Micrográfica	Densidade	Potencial energético
Polietileno Tereftalato (PET)			1,36g/cm ³	24128J/g
Poliestireno (PS)			1,05g/cm ³	41239J/g
Polietileno de Alta Densidade (PEAD)			0,96 g/cm ³	47459J/g
Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)			0,92 g/cm ³	40300J/g
Polipropileno (PP)			0,90 g/cm ³	45964J/g

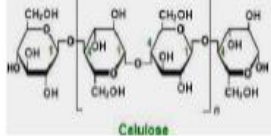

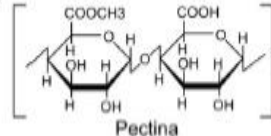
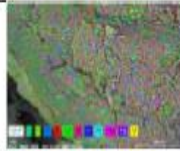
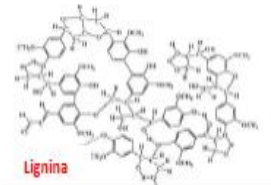

Nome do plástico	Estrutura molecular	Estrutura Micrográfica	Densidade	Potencial energético
Amendoim (Cápsula)	 Cellulose		0,84g/cm ³ 40,5; 14,7; 26,4	21913 J/g
Feijão (Pé/ramo)	 Pectina		0,65g/cm ³ 12,4; 19,7; 3,81	15798 J/g
Milho (Carço)	 Lignina		1,24g/cm ³ 35; 30; 18	18484 J/g

Figura 14: Resultados da análise comparativa da correlação entre a densidade, tipo de cadeia polimérica, a estrutura micrográfica e o potencial energético de RSA e resíduos de materiais plásticos.

Analisando a figura 14, evidencia – se que, o potencial energético é influenciado por: estrutura micrográfica, tipo de monómero gerador, estrutura da cadeia polimérica e densidade (BECH *et al.*, 2009; FILHO, 2020). O Potencial energético dos RSA depende de: *estrutura micrográfica, da composição química da parede celular, dos compostos minerais e da densidade* (DE CARVALHO *et al.*, 2010).

4.6. Resultados da Análise Energética

Neste sucapítulo apresentam-se os resultados da análise energética dos RSA e plásticos obtidos por meio do uso de uma Bomba Calorimétrica.

I. Resíduos Sólidos Agrícolas

Os resultados da análise energética dos Resíduos Sólidos Agrícolas são apresentados no gráfico 16.

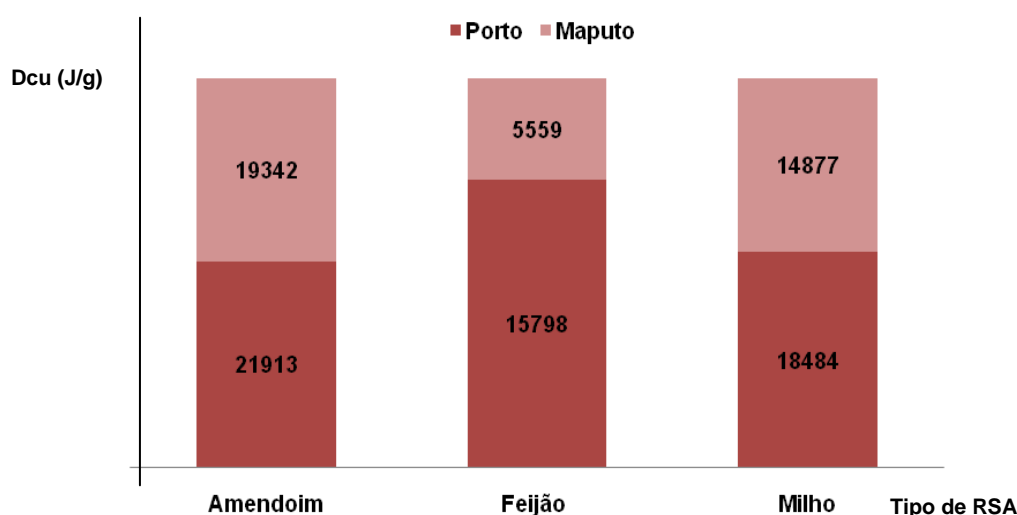


Gráfico 16: Resultados da análise calorífica directa dos RSA.

O gráfico 16 mostra que os resultados obtidos para o potencial energético (Dcu) das amostras agrícolas foram: *amendoim* (19.342 J/g e 21.913 J/g) e *feijão* (5.559 J/g e 15.798 J/g) e *milho* (14.877 J/g e 18.484 J/g) para Maputo e Porto, respectivamente. Estes resultados diferem significativamente entre si e também dos valores obtidos por outros pesquisadores como Sheng & Azevedo (2005), Protásio *et al.* (2011), Matusse *et al.* (2022), Chachuaio *et al.* (2023), Simango *et al.* (2023) e Mabasso *et al.* (2024) que obtiveram 2.750J/g feijoeiro, 1.742J/g milho e 3.889J/g para o amendoim.

Estas diferenças podem estar associadas aos teores de voláteis, cinzas, Carbono fixo e humidade encontrados em cada biocombustível uma vez que, o *Potencial*

calorífico do bicomcombustível, é função da sua composição física e química (CHACHUAIO *et al.*, 2023; SIMANGO *et al.*, 2023).

Ademais, Mabasso *et al.* (2024) defende que “é normal que, biocombustíveis da mesma espécie, apresentem diferenças na composição química em função da sua origem, método de cultivo e época de colheita”.

Apesar das diferenças encontradas entre as amostras da mesma espécie e natureza, todos os valores estão dentro dos limites (3.000 J/g – 26.500 J/g) fixados pelas Normas ISO 16967:2015, ISO 16968:2015, ASTM D5373-16, ISO 16994:2016, ISO 18125:2017 e ASTM D5865M -19.

A relação entre a composição imediata e o potencial calorífico dos resíduos sólidos agrícolas é descrita na tabela 18.

Tabela 18: Relação entre a composição imediata e o Potencial calorífico de RSA.

Determinação teórica do PCS e instrumental de Dcu - RSA								
AMOSTRAS		PARAMETROS						
	Origem	W(%)	V(%)	Cz(%)	CF(%)	PCS(MJ/kg)	Dcu(J/g)	Referência
Amendoim	PT	7,2	76,52	3,35	20,91	19,35	21913,00	Protasio (2013) e Vale <i>et al</i> (2011)
	MP	9,84	70,88	4,25	25,28	20,02	19342,00	
Feijão	PT	9,42	70,79	9,06	20,16	18,24	15793,00	Simango (2023) e Matusse <i>et al</i> (2023)
	MP	4,7	29,35	64,83	8,83	8,20	5559,00	
Milho	PT	8,12	79,71	8,68	11,61	16,60	18483,00	Amisse (2022) e Chachuaio (2023)
	MP	9,98	70,01	7,22	22,78	19,03	14877,00	
Método de - Modelação matemática de Dulong - Petit (1997) e Parikh <i>et al</i> (2005)								
$PCS = (0,3536 \cdot CF) + (0,1559 \cdot V) + (0,0078 \cdot Cz)$								

A análise da tabela 18, permite depreender que existe uma relação directa entre a composição imediata e o Potencial calorífico dos resíduos, sendo que quanto maior for o teor de cinzas e menor for o teor de voláteis maior é o potencial calorífico. De acordo com Khan *et al.* (2008),

“a composição química da Cinza afecta a escolha do processo de conversão do combustível, uma vez que estas podem causar problemas operacionais significativos do equipamento, em particular no processo de combustão que pode levar à formação de escórias e à corrosão dos equipamentos de combustão e conseqüente redução do rendimento do processo, quer dizer, uma elevada percentagem de cinza acarreta uma diminuição da energia disponível no combustível, ou seja, o poder calorífico é reduzido”.

Ademais, Lourenço *et al.* (2023) afirma que em combustíveis, altos teores de oxigénio ea presença de elementos químicos tais como: Nitrogénio, Cloro, Enxofre,

Sódio, Magnésio, Potássio provocam corrosão das paredes da incineradora e propiciam a emissão de gases de chuvas ácidas (SO_x e NO_x), fusão de cinzas e formação de depósitos que reduzem a eficiência da incineradora e o potencial calorífico do combustível.

II. Resíduos Plásticos

Os resultados da análise energética dos resíduos plásticos são apresentados no gráfico 17.

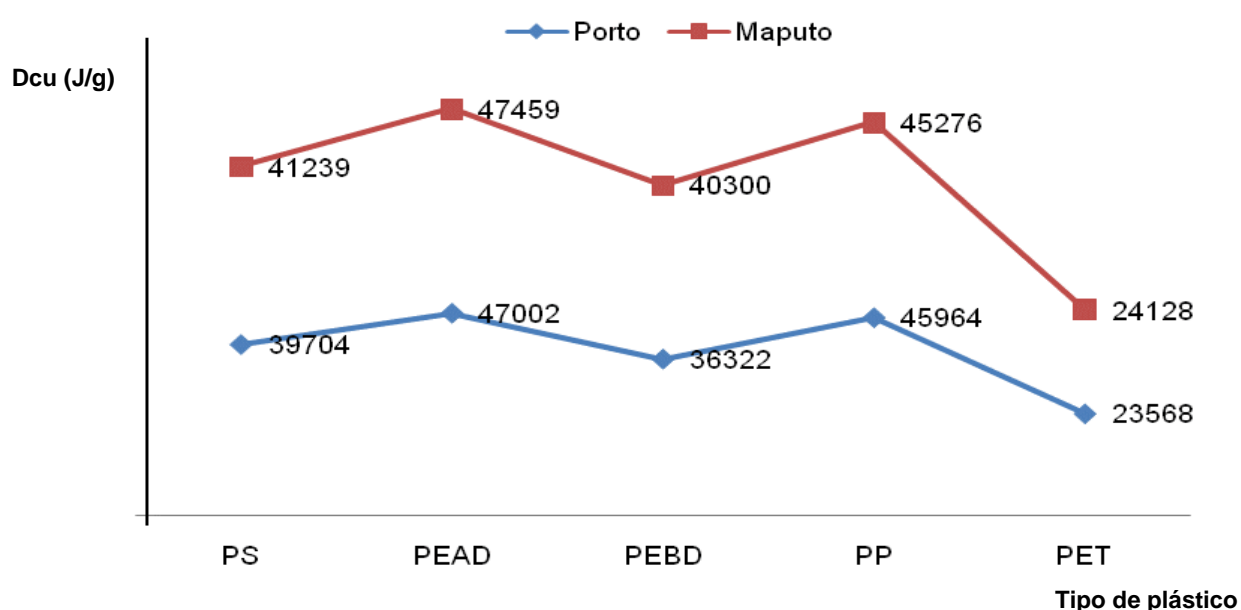


Gráfico 17: Resultados da análise energética de resíduos plásticos.

O gráfico 17, mostra que os valores energéticos (Dcu) dos materiais plásticos são: PS (41.239 J/g e 39.704 J/g), PEAD (47.459 J/g e 47.002 J/g), PEBD (40.300 J/g e 36.322 J/g), PP (45.276 J/g e 45.964 J/g) e PET (24.128 J/g e 23.568 J/g) para Maputo e Porto, respectivamente.

Os resultados, obtidos nesta análise para o PET, são ligeiramente diferentes entre si, mas diferem significativamente dos valores obtidos em outros estudos como os obtidos por Chen *et al.* (2017), Filho (2020) e Macamo *et al.* (2023) cujos resultados variaram entre 20.601 J/g e 28.200 J/g.

Relativamente ao PS, os valores obtidos nesta pesquisa também são ligeiramente diferentes entre si e também dos obtidos por outros pesquisadores como Costa (2006), Sharuddin *et al.* (2016) e Macamo *et al.* (2023) que se situaram entre 40.500 J/g e 43.000 J/g.

Em relação ao PP, os valores obtidos neste estudo são ligeiramente similares entre si mas diferem significativamente dos resultados obtidos por outros pesquisadores como Costa (2006), Sharuddin *et al.* (2016) e Chen *et al.* (2017) que se situaram entre 40.800 J/g e 45.340 J/g.

Relativamente ao PEBD, os valores obtidos nesta pesquisa são significativamente diferentes entre si e diferem dos obtidos por Sharuddin *et al.* (2016) e Macamo *et al.* (2023), cujos resultados estão entre 24.715 J/g e 39.500 J/g.

Em relação ao PEAD, os valores obtidos são ligeiramente similares entre si e aos obtidos por Campos & Assis (2019), Cavalheiro (2018) e Gomes *et al.* (2017) que se situaram na faixa entre 24.000 J/g e 47.000 J/g.

Independentemente das diferenças entre si e com os valores obtidos por outros pesquisadores, os valores de PCI das amostras analisadas indicam que estas apresentam um potencial energético favorável, pois, todos estão dentro dos limites (24.000 J/g – 48.000 J/g) fixados pelas Normas ISO 18125:2017 e D5865M-19 e o Método LECO “*Gross heat in fuel oils and biomass*” para combustíveis derivados de petróleo (Óleo diesel, Gás Natural, GLP e Gasolina).

As discrepâncias observadas entre si, estão associadas às quantidades e tipos de aditivos (cargas minerais ou outros) adicionados aos materiais plásticos puros, com intuito de agregar melhorias nas características físicas e químicas dos plásticos conforme o fabricante (ASSIS, 2019; FILHO, 2020).

A relação entre a composição imediata e o potencial calorífico dos resíduos de plásticos é descrita na tabela 19.

Tabela 19: Resultados da análise da relação entre a composição imediata e o potencial energético dos resíduos plásticos.

Determinação teórica do PCS e instrumental do Dcu - Plásticos								
Parâmetros								
AMOSTRAS	Origem	W (%)	V (%)	Cz (%)	CF (%)	PCS (kcal/kg)	Dcu (J/g)	Referência
PP	PT	0,18	97,63	1,11	1,26	7157,00	45964,00	Saroddin <i>et al</i> (2016) e Filho (2020)
	MP	0,2	97,98	1,93	0,09	7245,47	45276,00	
PS	PT	0,1	97,93	1,59	0,48	7222,13	39704,00	Saroddin <i>et al</i> (2016) e Filho (2020)
	MP	7,4	89	2,311	1,3	6358,76	41239,00	
PEAD	PT	0,12	98,9	0,93	0,2	7171,79	47002,00	Saroddin <i>et al</i> (2016) e Filho (2020)
	MP	0,04	99,4	0,8	0,2	7171,14	47459,00	
PEBD	PT	0,37	93,04	6,52	0,43	7590,56	36322,00	Saroddin <i>et al</i> (2016) e Filho (2020)
	MP	0,93	90,07	8,04	1,88	7614,66	40300,00	
PET	PT	0,5	91,65	0,92	7,43	6973,90	23568,00	Saroddin <i>et al</i> (2016) e Filho (2020)
	MP	0,68	93,09	0,94	5,32	6996,98	24128,00	
Método de Modelação matemática de Dulong - Petit (1997) e Seervi (2015), Sharoddin <i>et al</i> (2016)								
$PCS = 7115,197 - 123,971*(W) - 81,3121*(Cz) + 20,7421*(CF)$								

Os resultados da tabela 19 mostram que o PEAD de ambas as amostras apresenta maior potencial calorífico em relação a outros materiais: PET, PS, PP, PEBD, respectivamente.

Por outro lado, da análise dos resultados pode-se depreender que as amostras dos resíduos de materiais plásticos, de PET, PS e PEAD analisadas, apresentam baixos teores de *humidade* e de *cinzas*, em comparação com PP e PEBD, o que justifica o baixo potencial calorífico destes dois últimos, pois, de acordo com Costa (2006) e Chen *et al.* (2017), “quanto maior for o teor de *humidade* e *cinzas*, menor é o potencial calorífico destes materiais”.

4.7. Análise da Correlação entre a Composição Elementar e o Potencial Energético

Os resultados da análise de correlação entre o potencial energético e a composição elementar (em termos de C e O) dos resíduos são apresentados nos gráficos a seguir:

1. Resíduos sólidos agrícolas e materiais plásticos do Porto

A análise da correlação entre os elementos C e O com o potencial energético dos RSA e de materiais plásticos é apresentado no gráfico 18.

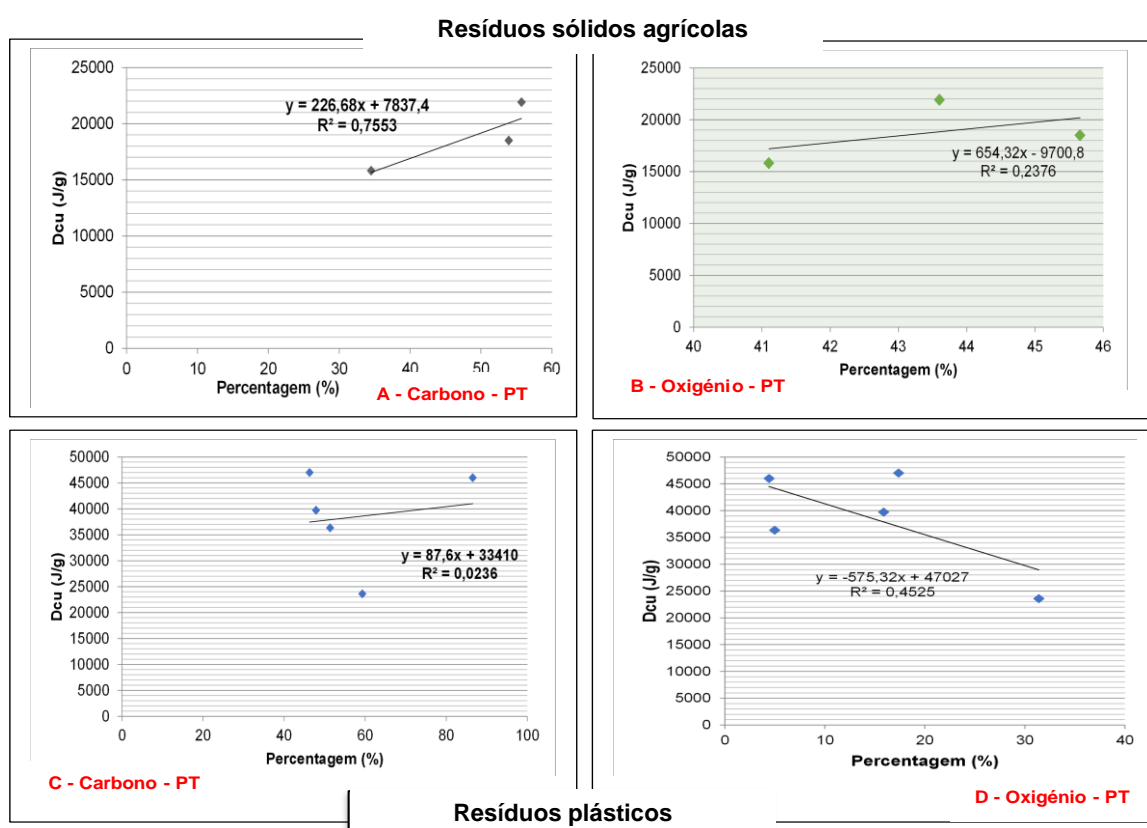


Gráfico 18: Resultados da análise da correlação entre a composição elementar e o valor energético de RSA e resíduos de materiais plásticos do Porto.

A análise dos gráficos, permite constatar que existe uma correlação forte ($R^2 = 0,7553$) entre o potencial energético dos RSA com o teor de Carbono.

Por outro lado, não foi verificada forte correlação entre o valor energético dos resíduos plásticos e o teor de Carbono e Oxigênio encontrados nas amostras.

Este resultado é considerado ótimo por Carvalho (2005), Bech *et al.* (2009), Filho (2020), Strong (2020), Lima *et al.* (2021) e Norberto *et al.* (2021), que afirmam que “o

poder calorífico de resíduos plásticos depende fortemente do seu potencial de Hidrogénio e Oxigénio em alguns casos”.

Esta correlação foi também estudada por Themilis (2006) e Protásio *et al.* (2011), onde constataram, também, que *“a composição química de um combustível é um factor importante nas suas propriedades físicas, como é o caso do teor de cinzas”.*

Ademais, Themilis (2006), Sharoddin *et al.* (2016), Aderoju *et al.* (2018) e Huang *et al.* (2023), também fundamentam que *existe uma forte correlação directa entre o teor de Carbono e de Hidrogénio com o High Heat Potential (HHP), mas esta correlação não é directa para o caso do Oxigénio e do HHPE* que, apesar de o Oxigénio ser fundamental na promoção da combustão, valores elevados deste elemento reduzem significativamente o HHP do material, por favorecer a formação de cinzas.

1. Resíduos agrícolas e plásticos de Maputo

A análise da correlação entre os elementos C e O com o potencial energético dos RSA e de materiais plásticos é apresentado no gráfico 19.

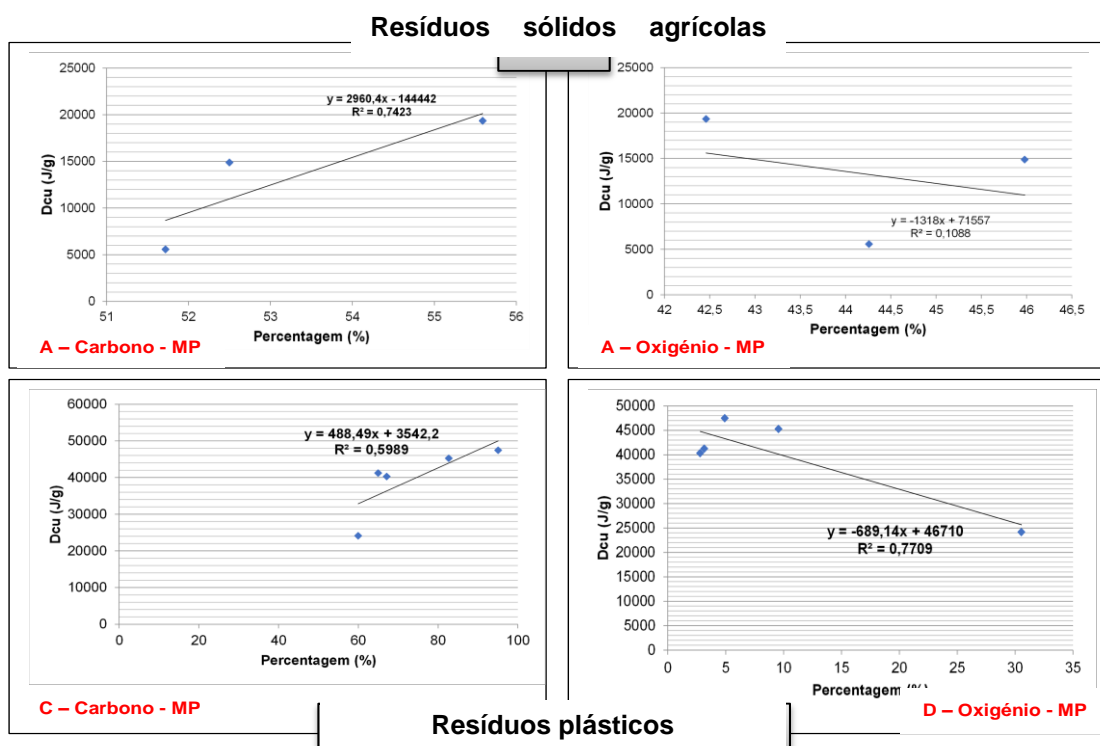


Gráfico 19: Resultados de análise da correlação entre a composição elementar e o valor energético de RSA e resíduos de materiais plásticos de Maputo.

A análise do gráfico 19 permite constatar que, *existe uma correlação positiva directa forte ($R^2 = 0,7423$) entre o valor energético e o teor de carbono em RSA.*

Relativamente aos resíduos de materiais plásticos, o gráfico revela que o potencial energético do material plástico depende forte e directamente ($R^2 = 0,7709$) do teor de carbono e Oxigénio.

Friedl (2005), Parickh et al. (2005), Sheng & Azevedo (2005), Majumder et al. (2008), Akkaya et al. (2009), Erol et al. (2010), Aderoju et al. (2018) e Filho (2020) também defendem que “*existe uma forte correlação negativa entre o teor de oxigénio e o potencial energético dos resíduos de materiais plásticos*”.

4.8. Análise da Viabilidade Técnica

A análise da viabilidade técnica consistiu na determinação do Potencial de Recuperação Energética (P_{RE}), Potencial de Geração Eléctrico (P_{GE}) e da estimativa da população abastecida.

Passo 1: Determinação da produção diária de RSU por habitante no ano

Considerando que um habitante produz diariamente em Maputo (Moçambique) uma média de 0,49 kg, CMCM, (2017) de RSU e a média de plástico em RSU nas Cidades Africanas é de 13%, Jaica, (2023) e que a taxa média anual de crescimento da produção de RSU e de resíduos plásticos é de 3%, pode-se deduzir que,

$$\text{Equação 19: } P_{RSU\text{dia}}(\text{ano X}) = P_{RSU\text{dia}}(\text{ano X-1}) \times 1,03$$

Onde:

$P_{RSU\text{dia}}(\text{ano X})$ – Produção diária de RSU por habitante por ano.

Passo 2: Determinação da produção diária de Resíduos plásticos por habitante no ano

$$\text{Equação 20: } P_{plástico\text{dia}}(\text{ano X}) = [P_{RSU\text{dia}}(\text{ano X-1}) \times 0,13] \times 1,03$$

Onde:

$P_{plástico\text{dia}}(\text{ano X})$ – Produção diária de RSU por habitante por ano.

Passo 3: Determinação da produção anual de resíduos plásticos por habitante

Considerando que um ano tem 365 dias, tem-se que a produção anual de resíduos plásticos (M_{ap}) por habitante será dada por:

$$\text{Equação 21: } P_{\text{Plásticoanual}} (\text{ano X}) = P_{\text{plástico}} (\text{ano X}) \times 365$$

Onde:

$P_{\text{Plástico.anual}} (\text{ano X})$ – produção anual de resíduos plásticos por habitante no ano.

Passo 4: Determinação da produção anual de resíduos de materiais plásticos em Maputo no ano de 2025 (estimativa).

Fazendo uma modelação para 25 anos (2025 - 2050), e considerando que a taxa de crescimento da população não é constante, teremos:

$$\text{Equação 22: } TCP = [(Pop (\text{ano X})/Pop (\text{ano X-1})) - 1] \times 100$$

Onde:

TCP – taxa de crescimento da população no período de previsão,

$Pop (\text{ano X})$ – nº população em um determinado ano.

Passo 5: Determinação da produção anual de resíduos plásticos em Maputo

Esta produção é dada pela equação 23:

$$\text{Equação 23: } P_{\text{plástico/ano em Maputo}} = P_{\text{plásticoanual}} (\text{ano X}) \times \text{População} (\text{ano X})$$

Onde:

$P_{\text{plástico/ano}}$ – produção anual de resíduos plásticos em Maputo.

Passo 6: Determinação do potencial de geração de energia por resíduos plásticos

Tendo estes dados e considerando uma previsão de geração de energia em 25 anos, após determinar as taxas de crescimento da população, de geração de RSU, de resíduos plásticos, e considerando que nem todos os resíduos plásticos gerados são convertidos em energia devido ao deficiente sistema de recolha, pode-se determinar o Potencial de geração eléctrica (P_{GE}), em três possíveis cenários:

- **Cenário pessimista** (apenas 16% de resíduos plásticos são recolhidos e convertidos):

$$\text{Equação 24: } PGE_{CP} = \{[(P_{\text{plástico/ano em Maputo}} \cdot 78) / 130] \cdot 0,16\} / 1000$$

Onde:

PGE_{CP} – Potencial de geração de energia por resíduos plásticos em cenário pessimista.

- **Cenário moderado** (apenas 50% de resíduos plásticos são recolhidos e convertidos):

$$\text{Equação 25: } PGE_{Co} = \{[(P_{\text{plástico/ano em Maputo}} \cdot 78) / 130] \cdot 0,50\} / 1000$$

Onde:

PGE_{Co} – Potencial de geração de energia por resíduos plásticos em cenário moderado.

- **Cenário otimista** (100% de resíduos plásticos são recolhidos e convertidos):

$$\text{Equação 25: } PGE_{CM} = \{[(P_{\text{plástico/ano em Maputo}} \cdot 78) / 130] \cdot 1,00\} / 1000$$

Onde:

PGE_{CP} – Potencial de geração de energia por resíduos plásticos em cenário otimista.

Passo 7: Estimativa de energia gerada por incineração do plástico

Considerando que, segundo Cabeças & Levy (2006) a anergia gerada por 1 tonelada de RSU = 250 kg de petróleo = 500/600 kWh de energia eléctrica = 1.5 a 4.5 toneladas de vapor, e assumindo que, 13% de RSU é material plástico, pode-se deduzir que, em 1000 kg (1 ton) de RSU tem-se 130 kg de plástico. Neste contexto, uma nova equiparação pode ser deduzida:

Se uma tonelada de RSU contém 130 kg de plástico e de acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE) (2007) uma tonelada de RSU equivale a 250 kg de Petróleo e gera 600 kWh de EE, então, obtém-se os dados constantes da tabela 20:

Com base na correlação *população anual e taxa média diária de resíduos*, determinou - se o P_{GE} para o período de 25 anos contados a partir de 2025 e obteve-se os dados apresentados na tabela a seguir, considerando os três cenários hipotéticos.

Tabela 20: Projecção dataxa de geração de energia eléctrica com base em resíduos plásticos (2025-2050).

Período	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	RSU	R plástico	R plástico	Maputo	Taxa de crescimento da População	Maputo	Potencial de Geração Eléctrica (PGE)		
	kg/(hab.dia)	kg/(hab.dia)	kg/(hab.ano)	População		R plástico	16%	50%	100%
						kg/ano	MWh	MWh	MWh
2025	0,49	0,064	23,25	3801510		88387008.26	8485.2	26516.1	53032.2
2026	0,50	0,068	24,67	3897799	2,53	96144885.39	9229.9	28843.5	57686.9
2027	0,52	0,070	25,41	3995409	2,50	101509155.45	9744.9	30452.7	60905.5
2028	0,54	0,072	26,17	4094311	2,48	107142561.20	10285.7	32142.8	64285.5
2029	0,55	0,074	26,95	4194435	2,45	113055550.48	10853.3	33916.7	67833.3
2030	0,57	0,076	27,76	4295631	2,41	119256652.01	11448.6	35777.0	71554.0
2031	0,59	0,078	28,60	4397648	2,37	125751546.29	12072.1	37725.5	75450.9
2032	0,60	0,081	29,45	4500073	2,33	132540820.07	12723.9	39762.2	79524.5
2033	0,62	0,083	30,34	4603037	2,29	139640625.33	13405.5	41892.2	83784.4
2034	0,64	0,086	31,25	4706874	2,26	147074410.56	14119.1	44122.3	88244.6
2035	0,66	0,088	32,18	4811462	2,22	154852716.63	14865.9	46455.8	92911.6
2036	0,68	0,091	33,15	4916620	2,19	162984249.39	15646.5	48895.3	97790.5
2037	0,70	0,094	34,14	5022037	2,14	171473150.00	16461.4	51441.9	102883.9
2038	0,72	0,096	35,17	5127856	2,11	180338836.56	17312.5	54101.7	108203.3
2039	0,74	0,099	36,22	5234405	2,08	189608581.64	18202.4	56882.6	113765.1
2040	0,76	0,102	37,31	5341669	2,05	199298883.28	19132.7	59789.7	119579.3
2041	0,79	0,105	38,43	5449650	2,02	209427509.28	20105.0	62828.3	125656.5
2042	0,81	0,108	39,58	5558363	1,99	220013458.17	21121.3	66004.0	132008.1

2043	0,83	0,112	40,77	5667723	1,97	231072457.36	22183.0	69321.7	138643.5
2044	0,86	0,115	41,99	5777611	1,94	242619156.68	23291.4	72785.7	145571.5
2045	0,88	0,119	43,25	5888008	1,91	254672708.42	24448.6	76401.8	152803.6
2046	0,91	0,122	44,55	5998911	1,88	267253658.50	25656.4	80176.1	160352.2
2047	0,94	0,126	45,89	6110366	1,86	280385589.71	26917.0	84115.7	168231.4
2048	0,97	0,129	47,26	6222262	1,83	294085751.69	28232.2	88225.7	176451.5
2049	1,00	0,133	48,68	6334439	1,80	308369255.82	29603.4	92510.8	185021.6
2050	1,03	0,137	50,14	6446868	1,77	323257728.77	31032.7	96977.3	193954.6
Descrição de cenários: 16% - Cenário pessimista; 50% - Cenário moderado e 100% - Cenário optimista									

Os resultados da tabela 20 mostram que existe uma correlação directa forte entre a taxa de crescimento da população com a de geração de resíduos plásticos.

Passo 9: Estimativa da população beneficiária

Então, tem-se a seguinte equação:

$$\text{Equação 26: } NFB = \frac{PGE}{Tdc}$$

Onde:

NFB - Número de Famílias Beneficiárias,

P_{GE} - Potencial de Geração Eléctrico/ Total de Energia Gerada,

Tdc – Total diário de consumo.

Conforme Chapala *et al.* (2020), os consumos médios de energia eléctrica, por família, variam em função da tipologia da área, se urbana, periurbana ou rural, sendo:

- *Bairros urbanos: 9,3 kWh/dia*
- *Bairros periurbanos: 7,8 kWh/dia*
- *Bairros rurais: 2,9 kWh/dia*

Deste modo, é possível estimar o número de famílias beneficiárias da produção de energia eléctrica, com base na queima de resíduos de plásticos. Na tabela 21, apresenta-se essa estimativa, para o ano de 2025, considerando os três cenários da tabela 20:

Tabela 21: Estimativa do número de famílias a serem beneficiadas no ano 2025.

Categoria Residencial	Consumo diário	NFB			Unidade
		CP	CM	CO	
B. Urbano	9,3	913	2852	5703	Residências
B. Periurbano	7,8	1088	3400	6799	Residências
B. Rural	2,9	2926	8799	18287	Residências

Legenda: CP - Cenário pessimista, CM - Cenário moderado, CO - Cenário optimista

Os resultados da tabela 21 mostram que o uso de resíduos plásticos para fins energéticos permitiria gerar energia para muitas famílias em todos os cenários e bairros, com base em resíduos plásticos através de tecnologias WTE, especificamente a incineração.

O mesmo raciocínio, mas agora para o ano de 2050, dá origem aos resultados que se apresentam na tabela 22 considerando os mesmos cenários da tabela 20:

Tabela 22: Estimativa do número de famílias a serem beneficiadas no ano 2050.

Categoria Residencial	Consumo diário	NFB			Unidade
		CP	CM	CO	
B. Urbano	9,3	3337	10428	20856	Residências
B. Periurbano	7,8	3979	12433	24866	Residências
B. Rural	2,9	10701	33441	66881	Residências

Legenda: CP - Cenário pessimista, CM - Cenário moderado, CO - Cenário optimista

Os resultados da tabela 22 mostram um número de famílias beneficiadas considerável, considerando um crescimento contínuo da geração de resíduos plásticos até 2050.

Esta prática não só auxiliaria na execução do projecto governamental “*Energia para Todos – 2018 - 2030*”, como também seria uma estratégia sustentável de gestão de resíduos plásticos e de diversificação da matriz energética nacional, que actualmente depende significativamente de recursos hídricos, gás natural e biomassa.

CAPITULO V

5. Conclusões, Limitações e Sugestão de trabalhos futuros

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões do estudo, as suas limitações, bem como sugestões para futuras pesquisas.

5.1. Conclusões

Do trabalho realizado no campo sobre atriagem e análise físico-química, elementar e energética dos resíduos (RSA e RSU) chegou-se às seguintes conclusões:

- Referente à tipologia de RSU e RSA (objectivo específico 1), concluiu-se que, nas lixeiras urbanas, predominam resíduos do tipo: metal, papel/papelão, têxteis, outros resíduos, plástico, vidro e matéria orgânica, tendo sido encontrados como principais resíduos de materiais plásticos: PP, PET, PS, PEBD e PEAD, com predominância para o PP e PET cujas médias foram de 21% e 35%, respectivamente; e em áreas agrícolas predominam os resíduos de pé-de-feijoeiro, caroço-de-milho e cápsula-de-amendoim. Os resultados obtidos para os RSU e para os RSA, permitem aceitar a hipótese afirmativa de que *existe uma variação na composição dos RSU e dos RSA*;
- Relativamente às características físicas e à composição elementar de RSU e RSA (objectivo específico 2), concluiu-se que, do ponto de vista físico, os RSA apresentam baixos teores de voláteis e altos teores de cinzas, humidade e carbono fixo. Contrariamente, os resíduos de materiais plásticos apresentam baixos teores de humidade, cinzas e carbono fixo e altos teores de voláteis. Do ponto de vista elementar, nos resíduos agrícolas (RSA) foi encontrada uma diversidade de elementos químicos não combustíveis, respectivamente: Hg, Al, Na, Mg, K, S e N e nos resíduos plásticos (RSU) foi encontrada a seguinte composição química: C, O, S e traços de elementos metálicos. Esta composição varia em função da origem da amostra, o que permite confirmar a hipótese que refere que, *a origem do material influencia na composição elementar do material combustível*. Paralelamente, a composição elementar de RSA mostrou que o poder calorífico do resíduo é influenciado pelo conteúdo em Carbono enquanto, nos resíduos plásticos o poder calorífico depende do teor de Oxigénio e de Carbono. Estes resultados permitem confirmar a hipótese afirmativa, que refere

existir uma relação entre a composição física, química e a origem do resíduo, assim como confirmar que existe uma correlação entre o tipo de resíduo, a sua origem e o seu poder energético;

- Do ponto de vista energético, (objectivo específico 3), os resultados permitem concluir que, independentemente da origem, os RSA são menos energéticos do que os resíduos plásticos. O resíduo de amendoim é mais energético do que os resíduos de milho e de feijão. Foi também constatado que, o PEAD é mais energético do que o PP, PS, PET e PEBD, em que esta ordem representa uma diminuição do poder energético.
- Relativamente à viabilidade técnica (objectivo específico 4), os resultados permitem concluir que o uso de resíduos plásticos e agrícolas para fins energéticos é uma prática viável (confirma-se a hipótese 1), pois não acarreta custos avultados para aquisição da matéria-prima e, ao mesmo tempo, o volume de resíduos gerados por dia é suficiente para fornecer energia a um número significativo de famílias.

No geral, conclui-se que existe relação directa forte entre a composição física, química, a origem, a estrutura micrográfica e o tipo de resíduo com o valor energético dos resíduos sólidos, sendo que, altos teores de voláteis e baixos teores de cinzas e humidade favorecem um alto potencial calorífico dos resíduos em estudo.

5.2. Limitações do Estudo

Neste estudo, não foi possível prever as taxas de geração de energia com base em RSA pois, à data, não foram encontrados dados de base relativos à taxa individual de geração de RSA de acordo com a sazonalidade da sua geração.

Do mesmo modo, também não foi feita a análise da viabilidade económica de produção de electricidade por RSA e por resíduos plásticos, pois os modelos de projecção utilizados para esta análise não foram matéria de estudo na presente pesquisa.

Devido às condições técnicas e financeiras, não foi possível determinar os valores energéticos das misturas de resíduos em função da sua proporção nas lixeiras.

5.3. Sugestões

Considerando as limitações encontradas no estudo, sugere-se aos futuros pesquisadores da área e que pretendam debruçar-se sobre a mesma temática que procurem:

- O desenvolvimento de modelos matemáticos que permitam a modelação das taxas de geração de RSA em zonas rurais, em conformidade com a sazonalidade das culturas agrícolas;
- Desenvolvam outras metodologias para a caracterização energética de RSA e resíduos plásticos, com base no cruzamento e/ou triangulação de técnicas ajustadas à realidade de cada território e escalabilidade;
- Desenvolvam um estudo aprofundado da viabilidade social, económica e ambiental do uso de RSA e resíduos plásticos na geração de energia, em concordância com as Agendas 2030 e 2063.

BIBLIOGRAFIA

- ABUBAKAR, R. *et al.*, *Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South. International Journal Of Environmental Research And Public Health*, UK, 2022.
- ADEROJU, A., GUERNER DIAS, A., *Waste to Energy as a complementary energy source in Abuja, Nigéria*, Porto, 2018.
- ADEROJU, O. *et al.*, *Building an Integrated Perception and Attitude Towards Municipal Solid Waste Management in Nigeria. Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities*, London, 2015
- ADEROJU, O. *et al.*, *The optimization of Municipal Solid Waste as a Potential source for Power Generation and Sustainable Development in Nigeria*, Porto, 2019
- Agência Internacional de Energia (AIE), *Access to Information on the Environment, The European communities (access to information on the Environment) regulation*, London, 2007
- Agência Portuguesa do Ambiente (APA), *Combustíveis Derivados de Resíduos*, Porto, 2019.
- Agência Portuguesa do Ambiente – APA, *Mapeamento e Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos*, Porto, 2022
- AJOFRE, M. *et al.*, *Avaliação da Eficácia das Misturas de Esterco Bovino e Guano Sobre o Desenvolvimento da Brassica olearacea na Baixa de Infulene*, Mapito, 2020.
- AKKAYA *et al.*, *Proximate Analysis Based Multiple Regression Models For Higher Heating Value Estimation Of Low Coals. Fuel processing technology*, Flórida, 2009.
- ALFREDO, N. *et al.*, *Avaliação do Potencial Energético ds Resíduos Orgânicos Descartados no Mercado de Xipamanine na Cidade de Maputo*, Maputo, 2022.
- AMISSE, A. *et al.*, *Avaliação do Potencial Energético do Lodo da Estação de Tratamento de Águas Residuais do Infulene*, Maputo, 2021.

- ANATER, M. *et al.*, *Análise da qualidade do carvão vegetal para uso residencial na região de Curitiba, Paraná*, 2019.
- ANATERM, *Análise da qualidade do carvão vegetal para uso residencial na região de Curitiba, Paraná*, Brasil, Piracicaba, 2019.
- ANDRADE, F. *et al.*, *Avaliação da Qualidade Agrícola do Composto Orgânico Comercializado no Sector Informal na Caidade de Maputo, Maputo*, 2021.
- ARANTES, R. *et al.*, *Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico*, Gurupi, 2012.
- ARAÚJO, D., *Síntese e Caracterização de óxido de Magnésio obtido por Diferentes Técnicas e sua Aplicação na Produção de Biodiesel. Universidade de Brasília, Instituto de Química, Laboratório de Catálise, Brasília – DF*, 2011.
- ARAÚJO, I., OLIVEIRA, A., *Agronegócio e agro-tóxicos: impactos à saúde dos trabalhadores agrícolas no nordeste brasileiro. Trabalho*, Santa Catarina, 2017.
- ARDUSSO, M. *et al.*, *COVID-19 - Pandemic repercussions on plastic and antiviral polymeric textile causing pollution on beaches and coasts of South America. Science Of The Total Environment*, Chicago, 2021.
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Publica (ABRELPE), *Roteiro para encerramento de lixões*, Rio de Janeiro, 2017.
- Associação Lusófona para Energias Renováveis (ALER), *Energias renováveis em Moçambique: Relatório Nacional do ponto de situação*, Accra, 2017.
- AYMORE, A., *A Metodologia da Problematização*, São Paulo, 2010.
- BECH, R. *et al.*, *Determining the elemental composition of fuels by bomb calorimetry and the inverse correlation of HHV with elemental composition, Biomass and bioenergy*, UK, 2009.

- BECH, N., *Determining the elemental composition of fuels by bomb calorimetry and the inverse correlation of HHV with the elemental composition. Biomass and bioenergy*, Tókyio, 2009.
- BELTRAME, T. *et al.*, *Efluentes, Resíduos Sólidos E Educação Ambiental: Uma Discussão Sobre O Tema*, Porto, 2016.
- BEZERRA, J., *Estudo do Potencial Energético de Briquetes Produzidos a partir de Resíduos da Casca de Coco Verde e Bagaço de Cana*, Praia, 2016.
- BOANE, A., MONJANE, A., *Geração do Bio hidrogénio a Partir de resíduos Pecuários*, Maputo, 2017
- BONATO, J. *et al.*, *Caracterização da casca de amendoim para fins energéticos*, Rio Grande do Sul, 2019
- BORNIA, A., MENDONÇA, A., *Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos: Análise das Políticas Públicas*, Santa Catarina, 2019
- BRAND, M. *et al.*, *Análise da Qualidade Da Madeira E Do Carvão Vegetal Produzido A Partir Da Espécie Miconia cinnamomifolia (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na Agricultura Familiar, em Biguaçu*, Santa Catarina. Santa Catarina, 2013.
- BRÁS, D., *Estudo da Pirólise de Resíduos Plásticos provenientes do abate de automóveis*, Lisboa, 2011.
- CABRITA, C., VIEGAS, S., *Avaliação da exposição a Bisfenol A em trabalhadores da indústria de gestão de resíduos de plástico: revisão sistemática*, Lisboa, 2021.
- CALADO, L., CARMO, F., *Gaseificação térmica de biomassa lenhocelulósica – uma abordagem técnico-económica de diferentes tecnologias de gaseificação. Dissertação para obtenção do grau de mestre em tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia*, Portalegre, 2020.
- CARNEIRO, P., *Análise das tecnologias para gestão e reaproveitamento energético dos resíduos urbanos para reciclagem de plásticos*, Itajuba, 2019.

- CARVALHO, E., MARTINHO, G., *Metodologias para a quantificação e caracterização física dos resíduos sólidos urbanos*, Lisboa, 2005.
- CARVALHO, R., *Análise termogravimétrica da biomassa e seus compostos (celulose, hemicelulose e lignina)*, Sorocaba, 2022.
- CASTRO, J., *Gestão e Gerenciamento de Resíduos*, São Paulo, 2002.
- CCDM, Annual Conference, *The festival of clinical date science*, Abuja, 2023.
- CHACHUAIO, L. et al., *Avaliação do Potencial Calorífico dos Resíduos Sólidos Agrícolas para fins Energéticos: Um estudo de Caso de Cápsula de amendoim*, Maputo, 2023.
- CHAPALA, N. et al., *Implementation of the Policy for Banning Incandescent Lamps in the Markets: Review of the Global Situation and Challenges for Mozambique*, Maputo, 2020.
- CHAVES, A. et al., *Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de Eucalyptus spp. Enciclopédia Biosfera*, Ceará, 2013.
- CHEN, D. et al., *Restudy on Torrefaction of Corn stalk from the point Of View of Deoxygenation and decarbonization*, Manchester, 2018.
- CHEN, L. et al., *Synergistic Effect os Thermal Behavior and Char Morphology Analysis During co-pyrolisis of Paulownia Wood blended with different plastic waste*, UK, 2017.
- CHEN, L. et al., *Synergistic Effect on Thermal Behavior and Char Morphology Analysis During Co-pyrolisis of Paulownia Wood Blended with Different Plastics Waste. Applied Thermal Engineering*, Lisbon, 2017
- CHEN, X. et al., *Experimental investigation of municipal solid waste gasification in a fixed bed reactor. Waste Management*, London, 2018.
- CHENG, H., HU, Y., *Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: current and future practices in china. Bioresource Technology*, Oxford, 2010.
- COACHY, L., *Resíduos Da Construção Civil: Uma Alternativa Para Reconstrução*, Lisboa, 2023.

- Compromisso Empresarial Para Reciclagem Embalagem - CEMPRE, Lixo Municipal- *Manual de Gerenciamento Integrado*, Rio de Janeiro, 2022.
- CORDEIRO, N. *et al.*, *Gestão de resíduos agrícolas como forma de redução dos impactos ambientais*, Paraná, 2020.
- CORRÊA, L., *Alternativa Para o Plástico - Reciclagem Energética*, Porto, 2015.
- COSSA, U., *Resíduos sólidos Domiciliares: Alternativas de Destinação e seus Impactos Sócio Ambientais na Cidade de Chibuto/Moçambique*, Rio Claro, 2016.
- COSTA, E., *et al.*, *Ambientes e substratos na formação de mudas e produção de frutos de cultivares de tomate cereja. Horticultura Brasileira*, São Paulo, 2015.
- COSTA, G. *et al.*, *Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal*, Cerne, 2014.
- COSTA, P. *et al.*, *Produção de Hidrocarbonetos Líquidos e Gasosos por Pirólise de Resíduos Plásticos*, Lisboa, 2016.
- COSTA, P., *Produção de hidrocarbonetos líquidos e gasosos por pirólise de resíduos plásticos*, Lisboa, 2006.
- COSTA, T., *Estudo do potencial energético de briquetes produzidos a partir de resíduos de madeira*, Fortaleza, 2016.
- CUNGUARA, B. DARNHOFER, I., *The role of nonfarm income in coping with the effects of drought in southern Mozambique*, Maputo, 2016
- CUNHA, I., *Análise Térmica e Pirólise Analítica de Sabugo de milho. Faculdade de Engenharia Química*, Minas Gerais, 2020.
- DA LUZ, L. *et al.*, *Metodologia da pesquisa científica e produção de textos para engenharia*, RS, 2012.
- DA LUZ, L. *et al.*, *Tratamento de Minérios*, Rio do Janeiro, 2010.
- DA SILVA, J. *et al.*, *Bioenergetic potential of Ponkan peel waste (Citrus reticulata) pyrolysis by kinetic modelling and product characterization*, *Biomass and Bioenergy*, Nápolis, 2019.

- DA SILVA, R. et al., *Influência da Temperatura Final de carbonização nas características do carvão vegetal de espécie tropicais*, Brasília, 2018.
- DAS, P. et al., *Valorization of Packaging Plastic Waste by Sloe Pyrolysis*, S/L, 2018.
- DAVÓ, M. et al., *Mapeamento e Caracterização Física de Resíduos Sólidos Urbanos gerados no Município da Matola*, Maputo, 2023
- DAWSON, C., *Practical Research Methods*, Oxford, 2002.
- DE JESUS, A. et al., *Alternative Biomass for the Production of Bio Oil by catalyzed pyrolysis*, Lisbon, 2017.
- DIMANDE, V., *Análise da rentabilidade económica do milho cultivado em sistema de consociação com o Feijão vulgar no distrito de Boane: caso da cooperativa 25 de Setembro no período 2012-2014*, Maputo, 2016.
- DUNLEAVY, P., *Authoring a PhD How to plan, draft, write and finish a doctoral thesis or dissertation*, UK, 2013.
- DURAES, L., *Estudo da reacção entre o Óxido de Ferro (III) e o alumínio e avaliação do Seu potencial energético*, Coimbra/UK, 2007.
- ECOLE, C. et al., *Avaliação da Eficácia Agrícola do Esterco Avícola Enriquecido com NPK: Caso do Desenvolvimento dea Brassica oleracea, var.acephala no Bairro Inhagoia, cidade de Maputo*, Maputo, 2022
- EROL, M. et al., *Calorific Calue Estimation Of Biomass From Their Proximate Analyses data. Renewable Energy*, Lavras, 2010.
- EVANS, D. et al., *How to Write a Better Thesis*, in Springer International Publishing, Switzerland, 2014.
- FALCÃO, C., *Problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos na Giné-Bissau. Instituto Politécnico de Bragança*, Bragança. 2022.
- FARIA, A., PEREIRA, R., *O Processo De Logística Reversa De Embalagens De Agrotóxicos: Um Estudo De Caso Sobre o INPEV. Organizações Rurais e Agroindustriais*, São Paulo, 2012.
- FERREIRA, I., TADEU, M., *Estimativa do potencial energético de resíduos celulósicos de fabricação do papel através de análise Imediata, Revista brasileira de energias renováveis*, Brasília, 2014.

- FERREIRA, J., *Resíduos sólidos e lixo hospitalar: uma discussão ética*, Rio de Janeiro, 1995.
- FERREIRA, N. et al., *Pirólise de Biomassa Lignocelulósica Utilizando diferentes catalisadores para produção de Bio óleo*, Minas Gerais, 2014.
- FIGUEIREDO, A., *Pirólise termoquímica de pós da fibra de coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bio-óleo. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.*
- FIGUEIREDO, P. et al., *Adubação orgânica e Contaminação ambiental*, Praia, 2020.
- FILHO, J., *Tratamento térmico para aproveitamento energético de resíduos plásticos: análise experimental*, Minas Gerais, 2020.
- FONSECA, J., MORAES, A., *Metodologia da pesquisa Científica*, Lisboa, 2002.
- FONSECA, J., *Valorização energética de resíduos Para uma economia circular: o Estado da arte em Portugal*, Porto, 2020.
- FORTES, A., *Importância das energias renováveis no quotidiano: percepções dos alunos da escola secundária de anguabe sede*, Maputo, 2019
- FRANJO, A. et al., *Carorific value of municipal solid waste Enviromental Technology*, UK, 1992.
- FREINKEL, S., *Plastic: A toxic love story. New York. Houghton Mifflin Harcourt*, Manchester, 2011.
- FREITAS, E., PRODANOV, C., *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho académico*, Feevale, 2013.
- FRIEDL, A. et al., *Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. Analytica Chimica Acta*, Accra, 2005.
- Fundo Mundial para a Natureza – WWF, *Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização*, Suíça, 2020
- Fundo Nacional de Energia - FUNAE, *Atlas de Energias Renovaveis de Moçambique*, Maputo, 2015.

- GANI, A. *et al.*, *Impact of Gross Domestic Product (GDP) Change in Municipal Solid Waste (MSW) Generation in Maputo. WIT Transaction On Ecology and Environment*, UK, 2020.
- GANI, A. *et al.*, *Estudo do Potencial de Geração de Energia Eléctrica na Lixeira Municipal de Hulene*, Maputo, 2023.
- GANI, A. *et al.*, *The Impact of gross domestic product (GDP) Change on municipal solid waste (MSW) Generation in Maputo*, Maputo, 2020.
- GERHARDT, T., SILVEIRA, D., *Métodos de pesquisa. Porto Alegre*, Rio do Sul, 2009.
- GHIGGI, C. *et al.*, *Influência Das Composições Química E Mineralógica De Cinzas De Misturas De Carvões Para Pci No Comportamento De Fusibilidade E Viscosidade A Altas Temperaturas. Technol. Metal. Mater. Miner.*, São Paulo, 2012.
- GIL, A., *Como elaborar projectos de pesquisa*, 5ª Edição. Atlas, 2010.
- GIL, A., *Métodos e técnicas de pesquisa social*, São Paulo: Atlas, 2008.
- GOLDMBERG, J., *Energias Renováveis um Futuro Sustentável*, Sao Paulo, 2007.
- GOMES, M., *Produção de Bio-óleo através do Processo Termoquímico de Pirólise*, Araçatuba, 2010.
- GOMES, S. *et al.*, *Potencial energético de resíduos sólidos domiciliares do município de Ponta Grossa*, Paraná, 2017.
- GRAÇA, V., *Plano De Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Proposta para a Cidade de Porto Novo, Ilha de Santo Antão, Praia*, 2015.
- GUADAGNIN, M. *et al.*, *Estudo da Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos em Municípios do Sul Catarinense*, Santa Catarina, 2014.
- GUERNER DIAS *et al.*, *Evaluation of the Agricultural Efficiency of Different Combinations of Poultry Manure and NPK in Cabbage Yield in Maputo: A contribution to Sustainable Use of The Land*, Maputo, 2023.

- GUERRA, T., *Estudo por Teoria Funcional da Densidade da Adsorção do 2,4,6-Trinitrotolueno sobre a Superfície de Óxido de Magnésio*, Rio de Janeiro, Brasil, 2011.
- GUIGGI, C. *et al.*, *An Observation-based Global Gridded Runff Dataset From 1902 to 2014*. *Earth System Science Data*, UK, 2014.
- HEBERLE, A., KONRAD, O., *Influência da co-digestão do óleo vegetal residual na geração de Biogás por lodo de estação de tratamento de efluentes*. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, Lagos, 2018.
- HENDGES, H. *et al.*, *Resíduos X Agricultura: Classificação, Tratamento e Destinação Final Ambientalmente Adequados Scientia Agraria Paranaensis – Sci. Agrar*, Paraná, 2018.
- HENRIQUES, R. *et al.*, *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica*, Rio de Janeiro, 2017.
- HOFFMAN, B., *Ociclo Combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO₂: Uma Solução para mitigar as emissões de CO₂ em Termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo*. *Dissertação (mestrado em Planejamento Energético) PPGPE*, Rio de Janeiro, 2010.
- HONUS, S. *et al.*, *Pyrolysis Gass Produced from individual and Mixed PE, PP,PS and PET-Part I:Experiments and Graphical Interchangeability Methods*, S/L, 2018.
- HUANG, C. *et al.*, *Ulimate Analysis and heating valueprediction of strawby near infraredspectroscopy*, Tóquio, 2023.
- Instituto Nacional de Estatística de Moçambique - INE, *Censo 2019*, Maputo, 2020.
- Instituto Nacional de Estatística de Moçambique - INE, *Censo 2020*, Maputo, 2021.
- Instituto Naional de Estatística de Moçambique – INE, *Apresentação dos Resultados do IV Recenseamento Geral da População, Censo de 2017*, Maputo, 2028.
- IZIDORO, *et al.*, *Characteristics of Brazilian coal fly ashes and their synthesized zeolites*. *Chemical and Environmental Technology Center, Nuclear and Energy Research Institute*, São Paulo, 2012.

- JALONGO, M., SARACHO, O., *Writing for Publication Transitions and Tools that Support Scholars' Success*. University of Maryland College Park, MD, USA. 2016
- JANNATKNAH, J. *et al.*, *Energy and Exergy analysis of combined ORC-ERC System of Biodiesel-fed Diesel Engine Waste Heat Recovery*, USA, 2020.
- JANNUZZI, P., *Da agenda de desenvolvimento do milênio ao desenvolvimento sustentável: oportunidades e desafios para o planejamento e políticas no século XXI*. Bahia anal, São Paulo, 2018.
- JEN, L., *Estequiometria das reações de combustão*. In: *Curso de Combustão Industrial*, São Paulo, 1987.
- JUNIOR, R. *et al.*, *Percepções sobre o descarte de resíduos sólidos em ambientes costeiros: um estudo em praias do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul*, 2024.
- KHOTARI, C., *Research Methodology: Methods and Techniques*. 2nd Edition, New Age International Publishers, New Delhi. 2004.
- KOKUBUN, C., MANCINI, S., *Alternativas sustentáveis para a diminuição do plástico convencional em embalagens flexíveis alimentícias*, São Paulo, 2023.
- KRAUSE, K. *et al.*, *Aproveitamento de resíduos agrícolas na composição de substratos para produção de mudas de tomateiro*, Espírito santo, 2017.
- KUHL, R. *et al.*, *Tecnologias para tratamento térmico de resíduos sólidos: Uma abordagem energética*, São Paulo, 2015.
- KULEAPE, J. *et al.*, *Assessment of the energy recovery potentials of solid waste generated in akosombo. Ghana. African Journal of Environmental Science and Technology*, USA, 2014.
- KUMAR, S., *Technology options for municipal solid waste-to-energy project*, Tokyo, 2000.
- LAKATOS, E., MARCONI, M., *Fundamentos de metodologia científica*, São Paulo, 5ª edição, Atlas, 2007/8.

- LAKATOS, E., MARCONI, M., *Metodologia Do Trabalho Científico: Procedimentos Básicos, Pesquisa Bibliográfica, Projecto e Relatório, Publicação e Trabalhos Científicos*, 4ª Edição, São Paulo, 1992.
- LANTSOGHT, E., *The A-Z of the PhD Trajectory. A Practical Guide for a Successful Journey*, New Deli, 2018.
- LEVY, J., CABEÇAS, A., *Resíduos Sólidos Urbanos - Princípios e Processos*, Lisboa, 2006.
- LIMA, S. et al., *Simulação da pirólise de resíduos para a produção de combustível limpo. Brazilian Journal of Development*, Curitiba, 2021.
- LIN, Y. et al., *Combustion and emission characteristics of dewatered sewage sludge in a pilot-scale furnace: Experimental study and theoretical analysis*, Florida, 2021.
- LINO, F., ISMAIL, K., *Evaluation of The treatment of Municipal waste as Renewable Energy Resource in Campinas*, Campinas, 2018.
- Lista Europeia de Resíduos (LER), *Classificação, Triagem e Quantificação de Resíduos Sólidos Urbanos*, UK, 2014.
- LIU, T., *Phase separation during anaerobic fermentation of solid substrates in an innovative plug-flow reactor." Proc. 8th International Conference on Anaerobic Digestion*, UK, 1997.
- LOPES, L. et al., *Unique and non-redundant function of csf1r paralogues in regulation and evolution of post-embryonic development of the zebrafish*, Lisbon, 2020.
- LOURENÇO, M., *Validação de ensaios físico-químicos de biocombustíveis sólidos para a acreditação internacional de capacidades analíticas*, Lisboa, 2023.
- MABASSO, D. et al., *Avaliação do Potencial Calorífico das Misturas dos Resíduos Agrícolas para Fins energéticos: Um Contribuição para a Valorização Energética de Resíduos de Pé-de-milho. Pé-de-feijoeiro e Pé-de-amendoim*, Maputo, 2024.

- MACAMO, F. *et al.*, *Mapping, sorting and energy analysis of plastic waste: a study of the possibility of generating energy by WTE*, Maputo, 2023.
- MAJUMDER, A. *et al.*, *Development of a new proximate analysis based correlation to predict calorific value of coal*. *Fuel*, UK, 2008.
- MARAFON, N. *et al.*, *Uso da biomassa para geração de energia*, São Paulo, 2016
- MARCELINO, M., *Biomassa Residual do coco para obtenção de energia e intermediários químicos via Gaseificação: Caracterização, Modelagem e Simulação*, Salvador, 2017.
- MARTINHO, M., GONÇALVES, M., *Gestão de Resíduos Sólidos*, Lisboa, 2000.
- MARTINS, M., VENTURA, J., *Poluição por plástico, A crise ambiental e as políticas europeias e nacionais*, Lisboa, 2020.
- MASSANGO, L. *et al.*, *Análise do Valor energético do pé-de-amendoim para fins energéticos*, Maputo, 2022.
- MEDEIROS, J. *et al.*, *Síntese de Nanoestruturas de CuO em Curto Tempo Utilizando O Método Hidrotermal De Microondas (HMO)*, Natal-RN, Brasília, 2014.
- MELO, L. *et al.*, *Estudo de cenários para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de Curitiba*, Curitiba, 2009.
- MENDONÇA, M. *et al.*, *Modelagem Matemática Aplicada na Determinação de Balanço de Massas de Bio-óleo Obtido por Pirólise a Partir de CDR*, Curitiba, 2017.
- Ministério da Terra e Ambiente – MTA, *Statistical Data of Municipal Waste Management in Major Cities of Mozambique*, USA, 2020.
- Ministério de Administração Estatal - MAE, *Dados Geofísicos de Moçambique*, 2021.
- Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDSCF), *Informação e conhecimento para as políticas de desenvolvimento social*, Brasília, 2016.
- MIQUIDADE, A., *Morfologia urbana da Matola: Tendências de Crescimento da cidade*, Lisboa, 2018

- MONJANE, A. *et al.*, *Avaliação do potencial energético de resíduos sólidos urbanos e agrícolas: Uma contribuição para a diversificação da matriz energética e gestão sustentável dos resíduos orgânicos*, Porto, 2022.
- MONJANE, A., VILANCULO, M., *Produção de Bioplástico na Base da Biomassa Residual, 7ª Edição da Revista Científica de Matemática, Ciências Naturais e Aplicadas*, Santa Catarina, 2022.
- MONZANI, N. *et al.*, *Estimativa do rendimento potencial do feijoeiro e factores limitantes*, Brasília, 2017.
- MORAES, N. *et al.*, *Avaliação da Capacidade Adsorptiva Da Cinza Do Bagaço De Cana-De-Açúcar Para Remoção De H₂S Oriundo Da Gaseificação De Biomassas, PPEQ, Recife – PE*, 2017.
- MORAES, S. *et al.*, *Síntese e caracterização de Nanoplásticos de Poliestireno/Hidróxido Lamelar*, Lisboa, 2014.
- MORATÓRIA, D. *et al.*, *Conversão de resíduos sólidos Urbanos em energia*, São Paulo, 2012.
- MOREIRA, G. *et al.*, *Análise técnica e econômica dos processos de pirólise e liquefação hidrotérmica dos resíduos da indústria de madeira*, Rio de Janeiro, 2010.
- MORENO, F. *et al.*, *Fitorremediação aplicada a áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos*, Uruguay, 2022.
- MOTA, J., *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos*, IPEA, Brasília, 2012.
- MOURA, A. *et al.*, *Reaproveitamento Energético do Lodo da Estação de Tratamento de Esgoto: Uma Revisão*, Curitiba, 2017.
- MUNIZ, I., BRAGA, R., *O Gerenciamento De Óleos Lubrificantes Usados Ou Contaminados E Suas Embalagens: Estudo De Caso De Uma Empresa De Logística Na Região Norte Do Brasil. Sistemas & Gestão*, Lisboa, 2015.
- NASCIMENTO, F., VILAR, L., *Sustentabilidade Ambiental, Estudos Jurídicos e Sociais*, Rio do Sul, 2009.

- NORBERTO, A. *et al.*, *Study of the relationship between the generation of solid urban waste and the Gross Domestic Product (GDP) per capita in Brazil, Belo Jardim*, 2021.
- OLIVEIRA, A., *Estudo das propriedades mecânicas do lodo têxtil para fins de utilização em pavimentos rodoviários. Dissertação (Mestrado em Geotécnica)*, Campina Grande, 2014.
- OLIVEIRA, N. *et al.*, *Contribuição para a destinação final dos resíduos de coco: geração de energia a base da casca*, Pernambuco, 2010.
- OPINHEIRO G. *et al.*, *Densidade Energética de Resíduos Vegetais*, Lisboa, 2005.
- Organização das Nações Unidas – ONU, *A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*, UK, 2020.
- OROZCO, R. *et al.*, *Characterization of lignocellulosic fruit waste as an alternative feedstock for bioethanol production. BioResouces*, São Bento, 2014.
- OSHIRO, T., *Produção e caracterização de briquetes produzidos com resíduos lignocelulosicos*, Londrina, 2016.
- PARADELA, R. *et al.* *Estudo da Pirólise de Misturas de Resíduos de plásticos, pneus e biomassa*, Lisboa, 2012
- PARIKH, J. *et al.*, *Correlation for calculating HHV from approximate analysis of solid fuels*, São Paulo, 2005.
- PEDROZA, M., *et al.*, *Balanço Energético Da Pirólise De Lodo De Esgoto: Uma Abordagem Das Propriedades Termodinâmicas Do Processo. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Química*, Foz do Iguaçu, 2010.
- PEDROZA, M. *et al.*, *Produção e Tratamento de lodo de Esgoto. Uma Revisão*, Lisboa, 2010.
- PEDROZA, M. *et al.*, *Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos em processo de Pirólise. Revista Brasileira de Energeias Renováveis*, Lisboa, 2017.
- PEREIRA, H. *et al.*, *Birth and demise of the rheic ocean magnetic arc(s): combined U-Pb and Hf isotope analyses in detrital zircon from SW Iberia Siliciclastic strata*, Evora, 2017.

- PERONDI, D. *et al.*, *Steam Gasification Of Poultry Litter Biochar For Bio-Syngas Production. Process Safety And Environmental Protection*, Porto, 2017.
- PIONTEK, F., MÜLLER, M., *Literature Reviews: Life Cycle Assessment in the Context of Product-Service Systems and the Textile Industry*, Singapore, 2018.
- PIRES, A., MATTIAZZO, M., *Avaliação Da Viabilidade Do Uso De Resíduos Na Agricultura*, Espírito Santo, 2008.
- POLI, D. *et al.*, *Uma avaliação das Metodologias para Determinação do Poder Calorífico dos resíduos sólidos urbanos. Revista de ciências exactas e tecnologia*, Lavras, 2014.
- PRADO, K. *et al.*, *Resíduos Sólidos Urbanos como fonte de energia renovável no Brasil: Panorama actual e perspectivas futuras* São Paulo, 2021.
- PRADO, K. *et al.*, *Resíduos Sólidos Urbanos como Fonte de Energia Renovável no Brasil: Panorama actual de e perspectivas Futuras*, São Carlos, 2021.
- PROTÁSIO T. *et al.*, *Relação entre poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal*, Brasília, 2013.
- PROTÁSIO, P. *et al.*, *Relationship between the superior calorific power and the elemental and mineral components of plant Biomass*, Minas Gerais, 2011.
- PROTÁSIO, T. *et al.*, *Compactação da biomassa vegetal visando a produção de biocombustível sólido. Pesq. flor. bras*, Colombo, 2013.
- PROTÁSIO, T. *et al.*, *Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares da biomassa*, Colombo, 2016.
- QUEIROZ, O. *et al.*, *Crescimento populacional e geração de resíduos sólidos: o caso da região norte*, Belém, 2019.
- QUEIROZ, O. *et al.*, *Espécies Forrageiras Para a Produção De Leite Em Solos De Várzea*, Santa Catarina, 2012.

- QUIRINO, W., *Utilização energética de resíduos vegetais. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, Brasília, 2003.*
- RAO, P. *et al.*, *Waste to energy: A case study of Eluru, A. P, Índia. International Journal of Environmental Science and Development*, Porto, 2010.
- REIS, A. *et al.*, *Composição Da Madeira e do Carvão Vegetal De Eucalyptus Urophylla Em Diferentes Locais De Plantio*, Dantas, 2012.
- REIS, S., MARTINHS, C., *O papel da educação ambiental na gestão dos resíduos sólidos urbanos e resíduos de plástico – o caso da cidade da Praia, Praia, 2016.*
- REZENDE, B., *Estudo da viabilidade da utilização da biomassa para geração de energia eléctrica, Ouro Preto, 2017.*
- REZENDE, M. *et al.*, *Compostagem Versus Vermicompostagem: Comparação Das Técnicas Utilizando Resíduos Vegetais, Esterco Bovino E Serragem. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Espírito Santo, 2015.*
- RIBEIRO, H., BUQUE, L., *Overview of the Selective Waste Collection with Pickers in Maputo Municipality, Mozambique: Challenges and Perspectives, Saúde Soc 24, USA, 2014.*
- ROCHA, J., *Gaseificação da Biomassa: Histórico e Conceitos Básicos, Amazonas, 2002.*
- ROYA, B. *et al.*, *Biogás: Uma energia Limpa, Rio de Janeiro, 2019.*
- SAIOTE R. *et al.*, *Estudo da Pirólise Catalítica de Resíduos Plásticos, Lisboa, 2012*
- SALES, A., LIMA, S., *Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. Waste Management, Porto Alegre. 2013.*
- SANTOS, F. *et al.*, *Estoque de energia da madeira de espécies florestais da Caatinga e análise técnica de sua utilização na queima de cerâmica vermelha, Macaíba, 2019.*
- SANTOS, M. *et al.*, *Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica, Lisboa, 2011.*

- SANTOS, M. *et al.*, *Tecnologias de Produção e Uso de Biogás e Biometano*, São Paulo, 2018.
- SAUSTIANO, V. *et al.*, *Avaliação do Potencial Calorífico de Resíduos Sólidos Agrícolas para Fins Energéticos: Um estudo de Caso co Caroço-de-milho*, Maputo, 2023.
- SCHRAMM, J., *Análise preliminar do potencial energético e do processo de incineração como alternativa na gestão de resíduos sólidos urbanos*, Florianópolis, 2015.
- SENCOVICI, L., DEMAJOROVIC, J., *Entraves e Perspectivas Para A Logística Reversa Do Óleo Lubrificante e Suas Embalagens. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, Lavras, 2015.
- SHARUDDIN, S. *et al.*, *Energy Recovery from Pyrolysis of Plastic Waste: Study on Non-recycled Plastics (NRP) data as the Real Measure of Plastic Waste, Energy Conversion and Management*, UK, 2017.
- SHARUDDIN, S. *et al.*, *Review on Pyrolysis of Plastic Wastes. Energy Conversion and Management*, Porto, 2016.
- SHENG, C., AZEVEDO, J., *Estimating the Higher Heating Value Of Biomass Fuels From Basic Analysis Data, Biomass And Bioenergy*, Florida, 2005.
- SHENG, C., AZEVEDO, J., *Estimating the higher heating value of biomass fuels basic analysis data. Biomass and bioenergy*, Los Angeles, 2005.
- SID, S.*et al.*, *Bio-sourced polymers as alternatives to conventional food packaging materials: A review. Trends in Food Science & Technology*, Michigan, 2021.
- SILVA, A. *et al.*, *Impactos da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo em municípios de Minas Gerais – Brasil*, Minas Gerais, 2021.
- SILVA, C. *et al.*, *Tourism and management of public investments: an analysis of the tourist regions of Rio Grande do Norte Brazil2003/2016*, Rio Grande do Norte, 2021.
- SILVA, E., *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação/Edna Lúcia da Silva, Estera Muszkat Menezes*, Florianópolis, 2005

- SILVA, I. *et al.*, *Caracterização Das Cinzas De Incineração De Resíduos Industriais E De Serviços De Saúde. Centro de Pesquisas e Análises Tecnológicas, Brasília, 2008.*
- SILVA, I., *O reaproveitamento energético como solução para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do brasil: Análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental, Palhoça, 2013.*
- SILVA, J. *et al.*, *Biogas Production From Organic Fraction Of Municipal Solid Waste: Case study of Brazil. Waste Management, Pretória, 2020.*
- SILVA, M., *Estudo da queima de briquetes de biomassa numa salamandra. Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2018*
- SILVA, R., CAIRES, L., *O Potencial De Mercado Dos Municípios Da Região Sudeste Do Brasil: Uma Avaliação Do Índice De Acessibilidade, Brasília, 2019.*
- SILVA, R., *Concentrações de Amônia na Atmosfera na Cidade de São Paulo e sua relação com a Poluição Veicular, São Paulo, 2015.*
- SILVI, M., PADILLA, E., *Proenvironmental behavior: social norms, intrinsic motivation and external conditions. Environmental Policy And Governance, USA, 2021.*
- SIMANGO, A. *et al.*, *Análise do potencial calorífico dos resíduos sólidos agrícolas (RSA): Um estudo comparativo entre pé-de-milho e pé-de-feijoeiro, 2023.*
- SINGH, N. *et al.*, *Sustainable Materials Alternative to Petrochemical Plastics Pollution: A Review Analysis, Sustain. Horizons, 2022.*
- SINGH, R. *et al.*, *An Overview for Exploring the Possibilities of Energy Generation from Municipal Solid Waste (MSW) in Indian Scenario. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Lagos, 2011.*
- SOARES, E., *Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos, Rio de Janeiro, 2011.*

- SOARES, W., PORTO, M., *Actividade Agrícola e Externalidade Ambiental: Uma Análise A Partir Do Uso De Agro-tóxicos No Cerrado Brasileiro. Ciência & Saúde Colectiva*, Abuja, 2007.
- SOUZA, G., GUADAGNIN, G., *Caracterização Quantitativa e qualitativa de Resíduos Sólidos Domiciliares*, Brasília, 2009.
- SOUZA, L., *Preparação e Caracterização de catalisadores heterogêneos do tipo óxido de magnésio obtido pelo método de moagem mecânica de alta energia para a produção de biodiesel etílico. Universidade Federal de Santa Catarina*, Florianópolis, 2010.
- STOICA, M. *et al.*, *Review of Bio-Based Biodegradable Polymers: Smart Solutions for Sustainable Food Packaging*, Lisboa, 2024.
- STRONG, A. *et al.*, *Published in the Brazilian Multidisciplinary Magazine, Renewable Energies in Mozambique: availability, generation, use and future trends*, Brasília, 2020.
- TAIMO, E., *Avaliação do potencial bioenergético da biomassa pecuária: um estudo comparativo entre excremento bovino e suíno*, Maputo, 2021.
- TAYIE, S., *Research Methods and write research proposals*, Cairo, 2005.
- TCHOBANOGLIOUS, G., KREITH, F., *Handbook of Solid Waste Management; McGraw-Hill: Nova Iorque*, NY, USA, 2002.
- TCHOBANOGLIOUS, M. *et al.*, *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*, McGraw-Hill Inc, Nova Iorque, 1993.
- TEIXEIRA, E. *et al.*, *Comparative environmental life – cycle analysis of concretes using biomass and coal fly ashes as partial cement replacement material*, CTAC, Portugal, 2016.
- THEMELIS, N., *Energy recovery from Global Waste-to-Energy. Submitted to 2006 summer review issue of WMW, Waste-to-Energy, Research and Technology Council (WTERT)*, Lagos, 2006.

- TIVANE, G., *Estudo do potencial energético de briquetes produzidos a partir de resíduos de cascas de amendoim e da serradura da madeira*, Maputo, 2022.
- TSUNATU, K. *et al.*, *Municipal Solid Waste as Alternative Source Of Energy Generation: A Case Study Of Jalingo Metropolis, Taraba State, Nigéria*, 2015
- United Environmental Protection Agency – USEPA, *Guidelines for exposure Assessment. EPA/600/Z92/001, US Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum*, Washington, DC, 1992.
- United Environmental Protection Agency - USEPA, *Municipal solid waste in the United State*, USA, 2010.
- USEPA, Protocol – *A Computerized Solid Waste Quantity and Composition Estimation System. United States Environmental Protection Agency. Risk Reduction Engineering Laboratory*, Flórida, 2003.
- VALE, A. *et al.*, *Potencial Eneregtico da Biomassa e Carvao vegetal do Epicarpo e da Torta do Pinhao Manso*, Lavras, 2019.
- VASCONCELOS, C. *et al.*, *Geração de Bio Metano através da Co – digestão anaeróbica de lamas: caso ETA do umbeluzi*, Maputo, 2021.
- VASCONCELOS, L., *Melhoria da Eficiência Energética e Eliminação do Desperdício na Fábrica dos Plásticos Colep Portugal S.A*, Porto, 2012
- VIEIRA, A., *Caracterização da Biomassa Proviniente de Residos Agrícolas*, Parabna, 2012.
- VIEIRA, G. *et al.*, *Biomassa: Uma visão sobre os processos de Pirólise*, Rio de Janeiro, 2014.
- VIEIRA, J., *Metodologia de pesquisa científica na prática: Editora Fael*, Curitiba, 2010.
- VIEIRA, P., SOUZA, A., *Estudo experimental da gaseificação do caroço do açaí*, Brasília-DF, 2014.
- VIEIRA, A., *Caracterização da biomassa proveniente de Resíduos agrícolas*, Paraná, 2012.

- VON, S., *Princípios do Tratamento Biológico de águas Residuais*, 4th edition, Editora UFMG, Minas Gerais, 2014.
- WANG, J. *et al.*, *Hidrotermal carbonization of tobacco stalk for fuel application*. Bioresour, Accra, 2016.
- WLODARKIEWICZ, M., MIGNONI, M., *Bioplásticos: uma revisão teórica sobre uso de nano-celulose e amido derivados de resíduos agro-alimentares*, Alto Uruguai, 2024.
- WORLD BANK, *The World Bank Annual report*, USA, 2018/2019.
- WORLD BANK, *The World Bank Annual report*, USA, 2021.
- WWF, *Além de Grandes Hidrelétricas: Políticas para Fontes Renováveis de Energia no Brasil*, Rio de Janeiro, 2012.
- YURCHENKO, L., *Potencial Bioenergético dos Excrementos de Animais de Estimação, no Atual Contexto de Gestão de Resíduos Biodegradáveis em Portugal*, Porto, 2022.
- YUSOFF, S. *et al.*, *Solid Waste Management in the Tourism Industry. Handbook Of Environmental Engineering*, São Paulo, 2022.
- ZAMANI, B., *Towards Understanding Sustainable Textile Waste Management: Environmental impacts and social indicators*, Flórida, 2014.
- ZHAO, K. *et al.*, *Ecotoxicology and Environmental safety*, UK, 2022.

Quadro legal, Normalização e Protocolos analíticos

1. Decreto-lei nº 239/97, de 9 de Setembro, Maputo, 2023.
2. Decreto-lei nº 13/2006, de 15 de Junho. Regulamento sobre a Gestão de Resíduos Sólidos, Maputo, 2006.
3. Regulamento (EU) nº2017/977, do Conselho, de 8 de Junho, Português, 2022.
4. Regulamento da Direcção Geral do Ambiente – DGQA Portuguesa, 1989.
5. Portaria nº 209/2004, de 3 de Março, Lisboa, 2020.
6. ABNT NBR 2005.
7. American Society for Testing and Materials Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke; 2019.

8. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Preparação de Amostra de Carvão Mineral para Análise e Ensaios, NBR 8292. Rio de Janeiro, 1983.
9. ASTM D 3172 – 89. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. In: Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, 1996.
10. ASTM D 4326 – 94. Test Method for Major and Minor Elements in Coal and Coke Ash by X-Ray Fluorescence. In: Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, 1996. v.05.05, p. 369.
11. ASTM International Gross Heat in Fuel Oils and Biomass; 2010.
12. ASTM International Standard Practice for Calculating Coal and Coke Analyses from As-Determined to Different Bases (D3180-15); 2015.
13. ASTM International Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke (D5373-21); 2021.
14. ASTM. D 5373 – 93. Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal and Coke. In: Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, 1996. v.05.05, p. 453-456.
15. BS EN 14774-3:2009, Solid biofuels Determination of moisture content Oven dry method, 2009.
16. BS CEN 14775:2009, Solid biofuels - Determination of ash content, 2009
17. BS CEN 15104:2011, Solid biofuels — Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen Instrumental methods, 2011.
18. BS CEN 15148:2009, Solid biofuels Determination of the content of volatile
19. ISO 14780:2017/Amd.1:2019 Solid Biofuels - Sample Preparation Amendment 2019.
20. ISO 16948:2015 Solid Biofuels - Determination of Total Content of Carbon, Hydrogen and Nitrogen; 2015.
21. ISO 16967:2015 Solid Biofuels - Determination of Major Elements; 2015.
22. ISO 16968:2015 Solid Biofuels - Determination of Minor Elements; 2015.
23. ISO 16993:2016 Solid Biofuels - Conversion of Analytical Results from One Basis to Another, 2016.
24. ABNT ISO 9000, Sistemas de gestão da Qualidade- Fundamentos e vocabulário, 2ª Edição, São Paulo, 2005.

25. ISO 16994:2016 Solid Biofuels - Determination of Total Content of Sulfur and Chlorine; 2016.
26. ISO 18125:2017 Solid Biofuels - Determination of Calorific Value; 2017.
27. ISO 18134-1:2015 Solid Biofuels - Determination of Moisture Content - Oven Dry Method-Part 1; 2015.
28. ISO 18134-3:2015 Solid Biofuels - Determination of Moisture Content - Oven Dry Method-Part 3: Moisture in General Analysis Sample; 2015.
29. ISO 18122:2015, Solid Biofuels. Determination of Ash Content, 2015.
30. ISO 3534, *International standard. Statistics - vocabulary and symbols.* /prEN 14899, Porto, 2004.
31. LECO Corporation Determination of Carbon, Nitrogen and Sulfur in Plant Tissue; 2020.
32. LECO Corporation Determination of Moisture, Volatile Matter, and Ash in Biomass/Plant Tissue; 2016.
33. Norma ISO 1171:2010, Solid mineral fuels — Determination of Ash, 2011.
34. Norma ISO 562:2010, Hard coal and coke — Determination of volatile matter, 2010.
35. Norma ISO 17246:2005, Coal Proximate analysis, 2005.
36. American Society for Testing and Materials International - ASTM Método D, 2005.
37. ASTM 5231 – 92, *Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste*, USA, 2003.

APÊNDICES

Apêndice 01: Guiões de análise proximal – RSU- Resíduos de plásticos



GUIÕES DE ANÁLISE LABORATORIAL

TEMA DA TESE

Avaliação do Potencial Energético de Resíduos Sólidos Urbanos e Agrícolas: Uma Contribuição para a Diversificação da Matriz Energética e para a Gestão Sustentável dos Resíduos em

A. ANÁLISE PROXIMAL/FÍSICA

Norma de referência: (ISO 17246:2005 (E) - Norma para análise de combustíveis minerais sólidos

OBSERVAÇÃO: Pelo facto do plástico ser um material produzido a base do petróleo, a norma a ser utilizada será a ISO 17246:2005 (E), que fornece bases e directrizes para trabalho com combustíveis sólidos de origem fóssil).

1. TEOR DE HUMIDADE (Análise directa)

Norma de Referência: ISO 11722:2013(E)

Procedimento 1: Recolha das amostras

- Recolha diferentes Plástico: PP, PS, PET, PEAD e PEBD
- Lave-os e seque-os ao ar

Procedimento 2: Preparação das amostras para análise

Corte as amostras em partículas pequenas $\leq 212\mu\text{m}$

Procedimento 3: Análise das amostras

Procedimento 3.1: Determinação do Teor de Humidade

1. Prepare cerca de 20 gramas de cada uma das amostras,
2. Ligue a estufa, deixando-a ligada até a $T = 105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$,
3. Prepare as 6 placas de Petri com tampa,
4. Pese-as com tampa e anote a massa
5. Coloque em cada placa $1 \pm 0.1\text{g}$ da amostra,
6. Leve as placas sem tampa para a estufa por a temperatura de $T = 105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ por 60 minutos,
7. Passe nitrogénio puro pela estufa 15 vezes sem abri-la,
8. Retire-os, tape-os imediatamente e deixe arrefecer por 10 minutos,

Note: se a estufa permitir, coloque as tampas nas placas ainda no interior da estufa.

9. Leve as placas para o dessecador por mais 10min
10. Pese-as junto com as tampas em balança e registre as massas

Onde:

m₁ - massa do placa de Petri vazio com tampa

Cálculos:

$$WM = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100$$

1. TEOR DE CINZAS (Análise directa)

Norma de Referencia: ISO 1171:2010 (E)

Procedimento 1: Recolha das amostras

- Recolha diferentes Plástico: PP, PS, PET, PEAD e PEBD
- Lave-os e seque-os ao ar

Procedimento 2: Preparação das amostras para análise

Prepare amostras com dimensões partículas $d \leq 212\mu\text{m}$

Procedimento 3: Análise das amostras

Procedimento 3.1: Determinação do Teor Cinzas

1. Prepare cerca de 10 gramas de cada uma das amostras,
2. Ligue o forno e mantenha uma temperatura de $T = 815 \pm 10^\circ\text{C}$,
3. Prepare os 6 cadinhos de sílica/porcelana com tampas
4. Seque-os em mufla por 60 minutos a temperatura de 550°C ,
5. Retire-os e deixe arrefecer em dessecador por 20 minutos,
6. Aumente a T até $T = 815 \pm 10^\circ\text{C}$, enquanto faz a pesagem das amostras,
7. Pese-as junto com as tampas em balança e registe as massas
8. Coloque em cada cadinho $1 \pm 0.1\text{g}$ da amostra, e coloque as tampas,
9. Registe esta massa,
10. Leve os recipientes contendo as amostras para a mufla a $T = 815 \pm 10^\circ\text{C}$, por 60min
11. Retire-os e deixe arrefecer por 20min em dessecador,
12. Pese-os novamente sem retirar as tampas,

Nota; Caso há dúvidas nos resultados de massas, continue o aquecimento a mesma T por 15min.

Cálculos:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100$$

Onde:

m_1 - massa do cadinho vazio sem tampa

m_2 - massa do cadinho com amostra sem tampa

m_3 - massa do cadinho sem tampa e amostra após calcinar

1. TEOR DE MATERIA VOLATIL (Análise directa)

Norma de Referencia: ISO 562:2010 (E)

Procedimento 1: Recolha das amostras

- Recolha diferentes Plástico: PP, PS, PET, PEAD e PEBD
- Lave-os e seque-os ao ar

Procedimento 2: Preparação das amostras para análise

Cortar/esmagar as amostras em pedaços muito pequenas (tamanho $\leq 1\text{mm}$)

Procedimento 3: Análise das amostras

Procedimento 3.1: Determinação do de Matéria volátil

13. Prepare cerca de 10 gramas de cada uma das amostras,
14. Ligue o forno e mantenha uma temperatura de $T = 900 \pm 5^\circ\text{C}$,
15. Prepare os 2 cadinhos de sílica com tampas
16. Seque-as em mufla por 7 minutos a temperatura de $900 \pm 5^\circ\text{C}$,
17. Retire-os e deixe arrefecer em dessecador por 20 minutos,
18. Pese-as junto com as tampas em balança e registe as massas
19. Coloque em cada cadinho $1 \pm 0.1\text{g}$ da amostra, e coloque as tampas,
20. Registe esta massa,
21. Leve os recipientes contendo as amostras para a mufla a $T = 900 \pm 5^\circ\text{C}$, por $7'5''\text{min}$
22. Retire-os e deixe arrefecer por 20min em dessecador,
23. Pese-os novamente sem retirar as tampas,

NOTA: Não deixe nenhum espaço vazio no suporte de cadinhos!

Cálculos:
$$V = \frac{100(m_2 - m_3)}{m_2 m_1} - \omega_{H_2O}$$

Onde:

m_1 - massa do cadinho vazio com tampa

m_2 - massa do cadinho com amostra e tampa

m_3 - massa do cadinho com tampa e amostra apos calcinar

ω_{H_2O} - humidade expressa em %

B. ANALISE QUÍMICA/ ELEMENTAR

- Prepare o material para análise: PP, PS, PET, PEAD e PEBD
- Corte em pedaços com dimensões $d \leq 0.5\text{cm}$
- Faça a metalização (use o procedimento *Castro (2002)* para material não vegetal
- Faça análise em SEM/EDS

C. ANALISE CALORIMETRICA

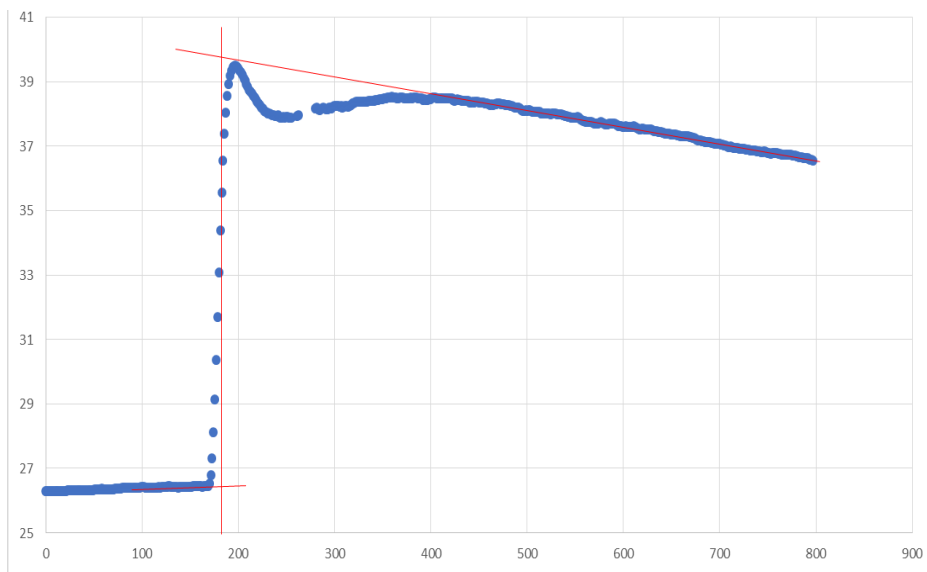
- Prepare diferentes pós dos plásticos: PP, PS, PET, PEAD e PEBD, $d \leq 200\mu\text{m}$
- Prepare a prensa para produção da pastilha

1. Calibração Do Calorímetro

- O calorímetro e calibrado com Acido Benzóico **pa**.
- Pese cerca de 0.5g de Acido Benzóico
- Faça a pastilha
- Regista a temperatura do laboratório (T_{amb})
- Submeta a queima e registe a ΔT registava (use o método do pico e a extrapolação)
- Repita este procedimento no início de cada dia de análise
- Calibre sempre em triplicata

2. Análise das amostras

- Produza pastilhas de cada tipo de plástico
- Submeta a análise
- Retire o ΔT
- Repita o procedimento 4 vezes

Determinação experimental do ΔT : Métodos da extrapolação e do pico

Apêndice 02: Guiões de análise proximal – RSA- Orgânicos



GUIÕES DE ANÁLISE LABORATORIAL

TEMA DA TESE

Avaliação do Potencial Energético de Resíduos Sólidos Urbanos e Agrícolas: Uma Contribuição para a Diversificação da Matriz Energética e para a Gestão Sustentável dos Resíduos em

A. ANÁLISE PROXIMAL - Termo gravimetria

1. TEOR DE HUMIDADE

Norma de Referência: BS EN 14774-3:2009 ou EN 14774-3:2009 (E) - Humidade

Procedimento 1: Recolha das amostras

Norma CEN/TS 14778-1: Norma para amostragem de Biocombustíveis sólidos

- Cápsula de amendoim
- Pé-de-feijoeiro
- Carroço-de-milho

Procedimento 2: Preparação das amostras para análise

Norma CEN/TS 14780: Norma para preparação de amostras de Biocombustíveis sólidos

1. Leve as amostras ao laboratório e guarde-os em lugar identificado,
2. Pese cada uma deles (massa),
3. Anote os resultados,
4. Preparar amostras de cada um dos materiais reduzindo o tamanho até uma secção de $\leq 1\text{mm}$
5. Misture muito bem a massa preparada
6. Guarde em porta-amostras, secos e rotule-as.

Procedimento 3: Análise das amostras

Procedimento 3.1: Determinação do Teor de Humidade

Norma EN:14774-3 - Método de mufla/forno seca (Análise proximal)

11. Prepare cerca de 10gramas de cada uma das amostras,
12. Ligue a estufa, e seque as placas por 10min a $T = 105 \pm 2^\circ\text{C}$,
13. Prepare as 6 placas de Petri com tampa,
14. Retire-os e deixe arrefecer em dessecador por 20 minutos,
15. Pese-as junto com as tampas em balança e registe as massas
16. Coloque em cada placa $1 \pm 0.1\text{g}$ da amostra, e coloque as tampas,
17. Registe esta massa,
18. Leve os recipientes contendo as amostras para a estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ por 2h:30min

19. Retire-os e deixe arrefecer por 20min em dessecador,
20. Pese-os novamente sem retirar as tampas,
21. Registe as massas encontradas,
22. Determine os teores de Humidade (diferença de massa) e Massa seca, conforme a norma.

Cálculos

$$Mad = \frac{m2 - m3}{m2 - m1} * 100$$

Onde:

m_1 - massa gramas da placa vazia com tampa

m_2 - massa em gramas da placa com amostra com tampa antes de secar

m_3 - massa gramas da placa com amostra com tampa depois de secar.

NOTA: Análise Deve ser em duplicata, i.e, cada amostra deve ser colocada em duas placas!!

2. TEOR DE CINZAS E BASE SECA

Norma de Referencia: FprEN 14775:2009 (E) ou CEN/TS 14588

Procedimento 4: Recolha das amostras para Determinação do Teor de Cinzas e Massa/Base seca

Norma CEN/TS 14778: Norma para amostragem de Biocombustíveis sólidos

- Cápsula-de-amendoim
- Pé-de-feijoeiro
- Carço-de-milho

Procedimento 4.1: Preparação das amostras para análise

Norma CEN/TS 14780: Norma para preparação de amostras de Biocombustíveis sólidos

Procedimento 4.2: Determinação do Teor de Cinzas e Massa/Base seca

Norma CEN/TS 14774-3

1. Prepare cerca de 20 gramas de cada uma das amostras,
2. Ligue a Mufla/forno, deixando-o ligado até a $T = 550 \pm 10^\circ\text{C}$ estável,
3. Prepare 6 cadinhos de porcelana sem tampa,
4. Seque-os em forno por 60min (1:00h) a temperatura de $T = 550 \pm 10^\circ\text{C}$
5. Retire-os e deixe arrefecer em dessecador por 5-10 minutos
6. Pese-os em balança e registe as massas, depois tare (zere as balanças) sem retirá-los.
7. Coloque em cada recipiente (cadinhos) com ajuda de uma espátula limpa e seca 2.00g da amostra, conforme recomendado,
8. Registe esta massa
9. Leve os cadinhos contendo as amostras para a Mufla a 250°C por 1:00 hora
10. Após passar este tempo, continue subindo a $T = 550 \pm 10^\circ\text{C}$ e mantenha por 2:00h
11. Retire-os e deixe arrefecer por 10min em dessecador
12. Pese-os novamente
13. Registe as massas encontradas
14. Determine os teores de Matéria volátil e Cinzas

Calculo:

$$Ad = \frac{m2 - m1}{m2 - m1} * 100 * \frac{100}{100 - Mad}$$

Onde:

m_1 - massa em gramas do cadinho

m_2 - massa do cadinho com amostra antes de secar

m_3 - massa do cadinho com cinzas (após secagem)

M_{ad} - Teor de humidade

3. TEOR DE MATÉRIA VOLÁTIL

Norma de Referência: (Norma BS EN 15148:2009E ou CEN/TS 15148)

Procedimento 5: Recolha das amostras para Determinação do Teor de Cinzas e Massa/Base seca

Norma CEN/TS 14778: Norma para amostragem de Biocombustíveis sólidos

- Cápsula-de-amendoim
- Pé-de-feijoeiro
- Carço-de-milho
-

Procedimento 4.1: Preparação das amostras para análise

Norma CEN/TS 14780: Norma para preparação de amostras de Biocombustíveis sólidos

Procedimento 4.2: Determinação do Teor voláteis

Norma CEN/TS 14588

1. Prepare cerca de 10 gramas de cada uma das amostras;
2. Ligue a Mufla/forno, deixando-o ligado até a $T = 900 \pm 10^\circ\text{C}$ estável;
3. Prepare 6 cadinhos de porcelana com tampa,
4. Prepare o suporte de cadinhos com tampa completando-o com os cadinhos vazios;
5. Leve os cadinhos ao forno a $T = 900 \pm 10^\circ\text{C}$ por 7 min;
6. Retire-os e deixe arrefecer por 7 minutos;
7. Pese-os tampados e registe as massas;
8. Coloque cerca de 1:00gde cada amostra em cada um;
9. Pese novamente;
10. Tampe imediatamente e leve-os ao forno a $T = 900 \pm 10^\circ\text{C}$ por 7 min;
11. Retire-os do forno e coloque-os na placa de arrefecimento ate atingir cerca de 30 a 50°C acima da T da sala (ambiente interno).

Cálculos:

$$Vd = \left[\frac{100(m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - Mad \right] * \frac{100}{100 - Mad}$$

Onde:

m_1 - massa em gramas do cadinho com tampa vazio

m_2 - massa em gramas do cadinho com amostra antes de queimar

m_3 - massa em gramas do cadinho com amostra queimada

M_{ad} - Teor de humidade

B.ANALISE FINAL (ELEMENMTAR)

1.CONTEÚDO DE CARBONO, HIDROGÉNIO E NITROGÉNIO

Norma de Referência: BSEN 15104:2011 (E) ou EN 15104:2011 ou CEN/TS 15104:2005

Procedimento 5: Recolha das amostras para Determinação do Conteúdo de C,N,H.

Norma CEN/TS 14778: Norma para amostragem de Biocombustíveis sólidos

- Cápsula-de-amendoim
- Pé-de-feijoeiro
- Carço-de-milho
-

Procedimento 5.1: Preparação das amostras para análise

Norma FprEN: 14780: Norma para preparação de amostras de Biocombustíveis sólidos

Procedimento 4.2: Determinação do Teor de CNH

Norma CEN/TS 14588

a) *Determinação do Nitrogénio – Método de Kjeldahl* (possibilita determinação abaixo de 0.1% de concentração deste na amostra.

b) *Determinação do Carbono total (orgânico) (Método e Walkely-Black- método indirecto)*

- Passo 1: Preparação e padronização das soluções
- Prepara-se 20.00mL de solução de Sulfato Ferrosos amoniacal $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.25N,
- Prepara-se 20.0mL de solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ a 1N
- Prepara-se o indicador e H_2SO_4 concentrado

Padronização de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

- Titula-se a mistura de: 10.0mL de H_2SO_4 + 5.00mL $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ + indicador com $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.25N, até mudar o indicador.
- Calcular a normalidade exacta (t): $t = (5 \cdot 1000 / T)$ onde: T – volume do titulante gasto na padronização

Passo 2: Titulação das amostras

- Prepara-se 100mL cada uma solução da amostra dissolvendo-se em água destilada cerca de 0.100 e 0.500 g em um copo de Backer
- Transfira para o Balão de Erlenmayer cerca de 20.00mL Da solução preparada
- Adicione ao balão 10mL de $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{Conc})}$ e agite muito bem por 1min
- Adicione o Indicador, 2 gotas
- Deixe a solução descansar por 30min
- Titule a solução com a solução padrão de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.25N, (Nota: Volume mínimo a ser gasto do titulante deve ser 5.00mL, caso não deve repetir o ensaio).

O carbono total e determinado pela fórmula:

$$C_{\text{total}}(\%) = 0.4 * t(B - A) * \left(\frac{f}{m}\right)$$

Os procedimentos e recomendações para análise são fixados pela entidade especializada.

Cálculos:

$$Cd = Cad * \frac{100}{100 - Mad}$$

$$Nd = Nad * \frac{100}{100 - Mad}$$

$$Hd = Had - \frac{Mad}{8,9837} * \frac{100}{100 - Mad}$$

Onde: *d*- massa da base seca, *ad* – conforme determinado

Pela Equação de Dulong-Petit, método empírico de Olaide & Dias 2019:

$$\text{Conteúdo do elemento (kg)} = \frac{[\text{Massa seca} * \text{valor padrão do elemento (C, H, O, N, S)}]}{100}$$

Método de Boane&Amisse 2021- (Método do forno seco /termo gravimetria)

Passo 1: Determinação da Humidade (Proc. 3.1), usando agora partículas com 0.25mm (250µm)

Cálculo:

$$\text{Carbono fixo(\%)} = 100 - (\%Cz - \%Md)$$

D. ANALISE QUÍMICA/ ELEMENTAR

- Prepare o material para análise: pós de Cápsula-de-amendoim, Pé-de-feijoeiro, Carço-de-milho
- Faça análise em SEM/EDS

E. ANALISE CALORIMETRICA

- Prepare diferentes pós dos plásticos: PP, PS, PET, PEAD e PEBD, $d \leq 200\mu\text{m}$
- Prepare a prensa para produção da pastilha

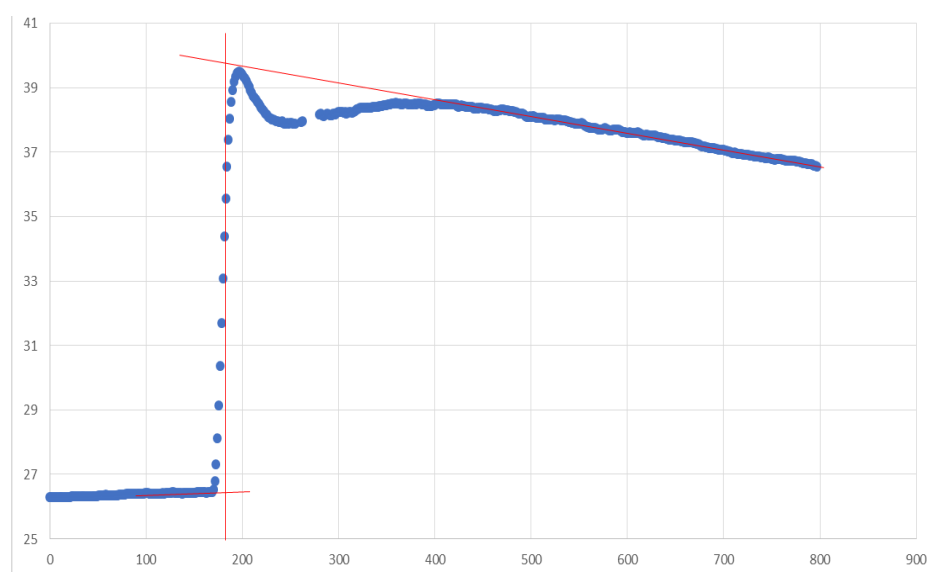
1. Calibração Do Calorímetro

- O calorímetro e calibrado com Acido Benzóico **p.a.**
- Pese cerca de 0.5g de Acido Benzóico
- Faça a pastilha
- Regista a temperatura do laboratório (T_{amb})
- Submeta a queima e registe a ΔT registava (use o método do pico e a extrapolação)
- Repita este procedimento no início de cada dia de análise
- Calibre sempre em triplicata

2. Análise das amostras

- Produza pastilhas de cada tipo de plástico
- Submeta a análise
- Retire o ΔT
- Repita o procedimento 4 vezes

Determinação experimental do ΔT : Métodos da extrapolação e do pico.



Apêndice 03: Resultados da análise proximal de RSA - Maputo



FACULDADE DE CIÊNCIAS NATURAIS E MATEMÁTICA



MILHO									
Nº de Ensaios	Humidade (g) 2:30 a 105°C (caixa de petri)			Cinzas (g) 2h a 550°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 7 min a 900°C (cadinhos com tampa)		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	53.1493	1.0002	54.0496	17.0414	1	17.0942	14.6705	1.0004	14.9043
2	45.2453	1.0002	46.1458	14.7082	0.9999	14.7853	14.6689	0.9998	14.9751
Obs: Folha para análise proximal em Mufla									
RESULTADOS DA ANALISE PROXIMAL DOS RR									
AMENODIM									
Nº de Ensaios	Humidade (g) 2:30 a 105°C (caixa de petri)			Cinzas (g) 2h a 550°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 7 min a 900°C (cadinhos com tampa)		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	38.7648	0.9999	39.665	11.8207	1.0001	11.8634	14.5368	1	14.8065
2	33.299	0.9999	34.2019	14.6391	10000	14.6732	14.6601	1.0002	14.9231
Obs: Folha para análise proximal em Mufla									
RESULTADOS DA ANALISE PROXIMAL DOS RR									
FEIJOEIRO									

Nº de Ensaio	Humidade (g) 2:30 a 105°C (caixa de petri)			Cinzas (g) 2h a 550°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 7 min a 900°C (cadinhos com tampa)		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	50.6166	1.0002	51.5775	12.8267	1.0002	13.4772	14.6315	1	15.253
2	58.2838	1.0002	59.2359	13.9086	1.0001	14.4986	14.5472	1.0004	15.2765
Obs: Folha para análise proximal em Mufla									

Apêndice 04: Resultados da Análise proximal de resíduos plásticos de Maputo

PP									
Nº de Ensaio	Humidade (g) 1h a 105°C (caixa de petri)			Cinzas (g) 1h a 815°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 7 min a 900°C (cadinhos com tampa)		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	52.6701	1.0002	53.6683	14.6388	0.9999	14.6579	14.6555	1.0002	14.6754
2	50.8617	1	51.8596	17.3287	1	17.3482	14.565	1	14.5855

olha para analise proximal

em Mufla

RESULTADOS DA ANALISE PROXIMAL DOS RSU

PET									
Nº de Ensaio	Humidade (g) 1h a 105°C (caixa de petri)			Cinzas (g) 1h a 815°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 7 min a 900°C (cadinhos com tampa)		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	50.6206	1	51.6136	12.8243	1.0001	12.8335	14.7486	0.9999	14.8192
2	53.1505	1.0001	54.1439	11.8167	1.0002	11.8263	14.5297	1	14.5836

olha para analise proximal

em Mufla

PEBD									
Nº de Ensaio	Humidade (g) 1h a 105°C (caixa de petri)			Cinzas (g) 1h a 815°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 7 min a 900°C (cadinhos com tampa)		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	54.6198	1	55.6105	17.0381	1.0002	17.1087	14.6262	1.0002	14.7211
2	52.0603	1.0002	53.0511	16.5823	1.0002	16.6712	14.7631	1.0001	14.8649

olha para análise proximal

em Mufla

RESULTADOS DA ANALISE PROXIMAL DOS RSU

PEAD									
Nº de Ensaio	Humidade (g) 1h a 105°C (caixa de petri)			Cinzas (g) 1h a 815°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 7 min a 900°C (cadinhos com tampa)		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	24.5912	1	25.5908	13.9064	0.9999	13.9143	14.5328	1.0002	14.5389
2	16.3197	1	17.3193	12.9945	1	13.0025	14.5536	1	14.5595

olha para análise proximal

em Mufla

olha para análise proximal


em Mufla

Apêndice 05: Resultados da Análise proximal - RSA - PORTO



RESULTADOS DA ANÁLISE PROXIMAL DOS RR									
MILHO									
Nº de Ensaios	Humidade (g) a 105°C (caixa de petri) 2:30			Cinzas (g) 2h a 550°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 900°C (cadinhos com tampa) 7 min a		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	34.8244	1.0057	35.7456	14.6436	1.5002	14.6712	15.5152	1.0092	14.6918
2	20.5691	1.0036	21.4897	18.3904	1.5015	18.4189	14.7348	1.0008	14.9112
olha para análise proximal em Mufla									
RESULTADOS DA ANÁLISE PROXIMAL DOS RR									
AMENODIM									
Nº de Ensaios	Humidade (g) a 105°C (caixa de petri) 2:30			Cinzas (g) 2h a 550°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 900°C (cadinhos com tampa) 7 min a		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	56.0606	1	56.9891	12.8279	1	12.8612	14.7687	1.0002	15.0046
2	56.6552	0.9999	57.5826	17.042	0.9999	17.0743	14.5467	1	14.7645
olha para análise proximal em Mufla									
RESULTADOS DA ANÁLISE PROXIMAL DOS RR									
FEIJOEIRO									
Nº de Ensaios	Humidade (g) a 105°C (caixa de petri) 2:30			Cinzas (g) 2h a 550°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 900°C (cadinhos com tampa) 7 min a		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	49.7588	1.0001	50.665	18.3729	1.0002	18.457	14.5679	1	14.835
2	50.6186	1	51.5241	16.5971	1.0002	16.6771	14.6366	0.9999	14.8987
olha para análise proximal em Mufla									

Apêndice 06: Resultados da Análise proximal resíduos de plásticos – PORTO

 FACULDADE DE CIÊNCIAS NATURAIS E MATEMÁTICA									
PP									
Nº de Ensaios	Humidade (g) 105°C (caixa de petri) 1h a			Cinzas (g) 1h a 815°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 900°C (cadinhos com tampa) 7 min a		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	48.6338	1	49.6329	17.3328	1	17.3467	14.6162	1.0001	14.6452
2	52.0583	1	53.0556	11.585	1	11.5933	14.4438	1	14.4621
Alha para análise proximal		em Mufla							
RESULTADOS DA ANÁLISE PROXIMAL DOS RSU									
PET									
Nº de Ensaios	Humidade (g) 105°C (caixa de petri) 1h a			Cinzas (g) 1h a 815°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 900°C (cadinhos com tampa) 7 min a		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	49.7592	1	50.7546	14.7075	1.0001	14.7168	14.7697	1.0002	14.85
2	56.8447	1	57.8394	11.3492	0.9999	11.3583	14.4626	1.0001	14.5486
Alha para análise proximal		em Mufla							
RESULTADOS DA ANÁLISE PROXIMAL DOS RSU									
PS									
Nº de Ensaios	Humidade (g) 105°C (caixa de petri) 1h a			Cinzas (g) 1h a 815°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 900°C (cadinhos com tampa) 7 min a		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	48.7256	1	49.7245	13.9082	1	13.9242	14.7454	1.0002	14.7657
2	24.5914	1	25.5905	11.82	0.9998	11.8357	14.6304	1	14.6514
Alha para análise proximal		em Mufla							
Alha para análise proximal		em Mufla							
RESULTADOS DA ANÁLISE PROXIMAL DOS RSU									
PEBD									
Nº de Ensaios	Humidade (g) 105°C (caixa de petri) 1h a			Cinzas (g) 1h a 815°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 900°C (cadinhos com tampa) 7 min a		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1				10.2532	1	10.3178	14.6233	0.9998	14.6922
2				18.3686	1	18.434	14.545	1.0001	14.6147
Alha para análise proximal		em Mufla							
RESULTADOS DA ANÁLISE PROXIMAL DOS RSU									
PEAD									
Nº de Ensaios	Humidade (g) 105°C (caixa de petri) 1h a			Cinzas (g) 1h a 815°C (cadinhos sem tampa)			Matéria Volátil (g) 900°C (cadinhos com tampa) 7 min a		
	Caixa Petri	Amostra	Amostra + caixa (depois do ensaio)	Cadinho	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)	Cadinho c/ tampa	Amostra	Amostra + cadinho (depois do ensaio)
1	16.2189	0.9999	17.2181	13.002	1	13.0114	14.5582	1	14.5696
2	25.1663	1	26.1647	18.0275	1.0001	18.0366	14.5549	1	14.566
Alha para análise proximal		em Mufla							
Alha para análise proximal		em Mufla							
Alha para análise proximal		em Mufla		PP	PEBD	PEAD	PS	PET	
				0.05	0.1	0.25	0.25	0.35	

Apêndice 07: Resultados da Análise Energética de RSA – PORTO

T DE 12.7- 24.0oC

ANALISE DE AMOSTRAS ORGANICAS - CALIBRACAO (Acido Benzoico)							
	Exp1 (11.7).22	Eper2(11.7.22)	Exp3(12.7.22)	Exp4(13.7)	Exp5	Exp6 (20.7)	
M.Cad	7.8672	7.6537	7.803	7.51	7.8631	7.5034	
Mcad+Amostra	8.3778	8.1609	8.3627	8.0673	8.363	7.9456	
M.amostra	0.5106	0.5072	0.5597	0.5573	0.4999	0.4422	
Mcad+residuo(apos queima)				7.51	7.873	7.5035	
M.residuo				0	0.0099	1E-04	
ΔT peak method (K)	16.19	16.34	17.38	17.85	14.82	14.52	
ΔT LabTermo (K)	18.26	18.91	18.97	18.59		14.7	
EqE (J/K)	834.3	821.1	851.9	825.9	874.7	805.5	
EqE (J/K) / LabTermo	739.7	709.5	780.5	793.1		795.8	

	Peak	Labtermo	Exp05 tmq file corrompida
EqE	835.6	763.7	
stdev	24.5	37.7	
t fator	20.0	33.7	
%error	2.4	4.4	

Dcu(AB)/ J/g -26454

ANALISE DE AMOSTRAS ORGANICAS - Casca de Amendoim										
	Origem: Porto					Origem: Maputo				
	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4	Exp5	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4	Exp5
M.Cad	7.9674	7.5154	7.6813	7.7236	8.0454	7.8653	7.7171	7.9628	7.7973	
M+Amostra	8.5534	8.0127	8.179	8.2392	8.5437	8.3589	8.2113	8.4526	8.2882	
M.amostra	0.586	0.4973	0.4977	0.5156	0.4983	0.4936	0.4942	0.4898	0.4909	
Mcad+residuo	7.9852	7.5306	7.6969	7.7391	8.0599	7.9027	7.7482	8.0041	7.8336	
M.residuo	0.0178	0.0152	0.0156	0.0155	0.0145	0.0374	0.0311	0.0413	0.0363	
%residuo	3.0	3.1	3.1	3.0	2.9	7.6	6.3	8.4	7.4	
ΔT peak method (K)	15.55	11.55	13.21	13.28	12.99	11.54	11.58	11.1	11.35	
ΔT LabTermo (K)	16.27	14.85	13.57	14.02	12.68	11.369	11.549	11.295	11.743	
Δ ucomb(J/g)	-22173		-22178	-21521	-21782	-19535	-19579	-18936	-19319	
Δucomb(J/g) / LabTermo	-21204	-22806	-20823	-20767	-19434	-17591	-17847	-17612	-18269	

	Peak	Labtermo
<Dcu>	-21913	-21007
stdev	320	1208
t fator	320	1081
%error	1.5	5.1

	Peak	Labtermo
<Dcu>	-19342	-17830
stdev	294	315
t fator	294	315
%error	1.5	1.8

ANALISE DE AMOSTRAS ORGANICAS - Pe de Feijoeiro										
	Origem: Porto				Origem: Maputo					
	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4	Exp1	Exp2	Exp3	Exp4	Exp5	
M.Cad	7.6791	7.966	7.7999	7.5128	7.6778	7.5102	7.9639	7.7197	8.0402	
M+Amostra	8.1734	8.4578	8.2937	8.0069	8.1623	8.0009	8.457	8.2126	8.5349	
M.amostra	0.4943	0.4918	0.4938	0.4941	0.4845	0.4907	0.4931	0.4929	0.4947	
Mcad+residuo	7.7501	8.045	7.8699	7.5878	8.0313	7.844	8.2913	8.0834	8.0741	
M.residuo	0.071	0.079	0.07	0.075	0.3535	0.3338	0.3274	0.3637	0.0339	
%residuo	14.4	16.1	14.2	15.2	73.0	68.0	66.4	73.8	6.9	
ΔT peak method (K)	9.33	9.57	9.33	9.09	3.04	3.68	3.76	2.91	2.95	
ΔT LabTermo (K)	9.78	9.58	9.63	9.72	3.27	3.82	4.24	3.44	3.23	
Δ ucomb(J/g)	-15772	-16259	-15787	-15372	-5243	-6266	-6371	-4933	-4983	
Δucomb(J/g) / LabTermo	-15111	-14877	-14894	-15024	-5155	-5945	-6567	-5330	-4987	

	Peak	Labtermo
<Dcu>	-15798	-14976
stdev	363	111
t fator	363	111
%error	2.3	0.7

	Peak	Labtermo
<Dcu>	-5559	-5597
stdev	704	652
t fator	630	583
%error	11.3	10.4

ANALISE DE AMOSTRAS ORGANICAS - Caroco de Milho											
	Origem: Porto					Origem: Mocambique					
	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4		Exp1	Eper2	Exp3	Exp4	Exp5	
M.Cad	7.6504	7.453	7.8664	8.0431		7.6728	7.6492	7.4513	8.0412	7.6715	
M+Amostra	8.1411	7.9434	8.3534	8.5301		8.167	8.1434	7.9455	8.5333	8.1646	
M.amostra	0.4907	0.4904	0.487	0.487		0.4942	0.4942	0.4942	0.4921	0.4931	
Mcad+residuo	7.6708	7.4748	7.8846	8.0655		7.7251	7.7667	7.5602	8.1498	7.6718	
M.residuo	0.0204	0.0218	0.0182	0.0224		0.0523	0.1175	0.1089	0.1086	0.0003	
%residuo	4.2	4.4	3.7	4.6		10.6	23.8	22.0	22.1	0.1	
ΔT peak method (K)	11.05	10.6	10.7	10.9		7.56	8.749	8.62	8.95	8.82	
ΔT LabTermo (K)	11.327	10.49	10.67	10.72		8.45	9.11	8.94	8.85	9.11	
Δ ucomb(J/g)	-18816	-18061	-18359	-18702		-12782	-14792	-14574	-15197	-14946	
Δucomb(J/g) / LabTermo	-17629	-16337	-16733	-16811		-13058	-14078	-13816	-13735	-14110	

	Peak	Labtermo		Peak	Labtermo	
<Dcu>	-18484	-16878		<Dcu>	-14877	-13759
stdev	343	543		stdev	262	424
t fator	343	543		t fator	262	379
%error	1.9	3.2		%error	1.8	2.8

Apêndice 08: Resultados da Análise Energética de Resíduos de plásticos

ANALISE DE AMOSTRAS PLASTICAS: PS										
	Origem: Porto					Origem: Maputo				
	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4	Exp5	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4	
M.Cad	8.0389	7.9622	7.6702	7.5085	7.7965	7.71	7.7991	7.6658	7.5041	
M+Amostra	8.3862	8.4068	8.1159	7.952	8.2472	8.1615	8.2445	8.1123	7.9515	
M.amostra	0.3473	0.4446	0.4457	0.4435	0.4507	0.4515	0.4454	0.4465	0.4474	
Mcad+residuo	8.0415	7.9721	7.696	7.5166	7.8061	7.7118	7.7948	7.6662	7.5059	
M.residuo	0.0026	0.0099	0.0258	0.0081	0.0096	0.0018	-0.0043	0.0004	0.0018	
%residuo	0.7	2.2	5.8	1.8	2.1	0.4	0.0	0.1	0.4	
ΔT peak method (K)	10.49	21.55	20.89	21.82	20.52	22.55	21.57	21.45	22.82	
ΔT LabTermo (K)	12.1	22.99	23.5	23.45	22.88	23.89		23.82	24.2	
Δucomb(J/g)	-25238	-40500	-39163	-41110	-38043	-41732	-40465	-40141	-42619	
Δucomb(J/g) / LabTermo	-26608	-39492	-40268	-40382	-38771	-40410		-40743	-41310	

	Peak	Labtermo		Peak	Labtermo
<Dcu>	-39704	-37104	<Dcu>	-41239	-40821
stdev	1374	5903	stdev	1148	455
t fator	1374	5280	t fator	1148	525
%error	3.5	14.2	%error	2.8	1.3

PS2Mz tmq file corrompida

ANALISE DE AMOSTRAS PLASTICAS: PEAD										
	Origem: Porto				Origem: Maputo					
	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4		
M.Cad	7.9601	7.449	7.7414	7.6484	8.0335	7.5557	7.6657	7.9502		
M+Amostra	8.402	7.895	8.1576	8.0921	8.4796	8.0055	8.1107	8.4031		
M.amostra	0.4419	0.446	0.4162	0.4437	0.4461	0.4498	0.445	0.4529		
Mcad+residuo	7.9785	7.4663	7.7518	7.667	8.0371	7.5524	7.6691	7.9617		
M.residuo	0.0184	0.0173	0.0104	0.0186	0.0036	-0.0033	0.0034	0.0115		
%residuo	4.2	3.9	2.5	4.2	0.8	-0.7	0.8	2.5		
ΔT peak method (K)	25.47	24.48	23.57	24.78	24.8	25.44	26	25.64		
ΔT LabTermo (K)	27.18	25.63	25.93	25.72	26.37	26.4	26.79	26.7		
Δucomb(J/g)	-48160	-45863	-47319	-46665	-46452	-47259	-48820	-47304		
Δucomb(J/g) / LabTermo	-46974	-43888	-47581	-44271	-45145	-44825	-45978	-45024		

	Peak	Labtermo		Peak	Labtermo
<Dcu>	47000	45000	<Dcu>	47100	45000

ANALISE DE AMOSTRAS PLASTICAS: PEBD										
	Origem: Porto					Origem: Maputo				
	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4	Exp5	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4	
M.Cad	8.0332	7.644	7.4433	7.862	7.8595	7.7944	7.4454	7.8615	7.6432	
M+Amostra	8.4575	8.0789	7.8936	8.3127	8.296	8.2355	7.8675	8.2838	8.0914	
M.amostra	0.4243	0.4349	0.4503	0.4507	0.4365	0.4411	0.4221	0.4223	0.4482	
Mcad+residuo	8.0882	7.6981	7.4981	7.9171	7.9151	7.8308	7.4583	7.8941	7.683	
M.residuo	0.055	0.0541	0.0548	0.0551	0.0556	0.0364	0.0129	0.0326	0.0398	
%residuo	13.0	12.4	12.2	12.2	12.7	8.3	3.1	7.7	8.9	
ΔT peak method (K)	18.76	19.41	19.32	18.91	19.05	20.97	20.43	20.34	21.88	
ΔT LabTermo (K)	20.26	20.95	21.12	23.3	20.84	23.15	21.85	22.21	23.48	
Δucomb(J/g)	-36944	-37292	-35850	-35058	-36466	-39723	-40442	-40245	-40790	
Δucomb(J/g) / LabTermo	-36467	-36790	-35820	-39482	-36463	-40082	-39534	-40166	-40009	

	Peak	Labtermo		Peak	Labtermo
<Dcu>	-36322	-37005	<Dcu>	-40300	-39948

ANALISE DE AMOSTRAS PLASTICAS: PP										
	Origem: Porto				Origem: Mocambique					
	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4		
M.Cad	7.8624	7.5065	8.038	7.669	8.03315	7.9558	7.642	7.7932		
M+Amostra	8.3049	7.9518	8.4951	8.0992	8.474	8.3981	8.0845	8.2361		
M.amostra	0.4425	0.4453	0.4571	0.4302	0.44085	0.4423	0.4425	0.4429		
Mcad+residuo	7.8779	7.52	8.0572	7.6831	8.048	7.9718	7.6541	7.8086		
M.residuo	0.0155	0.0135	0.0192	0.0141	0.01485	0.016	0.0121	0.0154		
%residuo	3.5	3.0	4.2	3.3	3.4	3.6	2.7	3.5		
ΔT peak method (K)	23.48	25.1	25.43	23.65	24.03	24.25	23.62	23.93		
ΔT LabTermo (K)	24.67	26.43	26.68	25.05	26.53	26.62	25.44	24.79		
Δucomb(J/g)	-44337	-47098	-46486	-45935	-45545	-45812	-44601	-45146		
Δucomb(J/g) / LabTermo	-42579	-45329	-44577	-44471	-45960	-45965	-43908	-42747		

	Peak	Labtermo		Peak	Labtermo
<Dcu>	-45964	-44239	<Dcu>	-45276	-44645

ANALISE DE AMOSTRAS PLASTICAS: PET									
	Origem: Porto					Origem: Maputo			
	Exp1	Eper2	Exp3	Exp4		Exp1	Eper2	Exp3	Exp4
M.Cad	7.6462	7.7137	7.9582	7.4465		8.0335	7.6666	7.6454	7.7107
M+Amostra	8.0846	8.1579	8.4052	7.8941		8.4783	8.113	8.092	8.1521
M.amostra	0.4384	0.4442	0.447	0.4476		0.4448	0.4464	0.4466	0.4414
Mcad+residuo	7.6623	7.7353	7.9809	7.4735		8.0392	7.6718	7.6505	7.7146
M.residuo	0.0161	0.0216	0.0227	0.027		0.0057	0.0052	0.0051	0.0039
%residuo	3.7	4.9	5.1	6.0		1.3	1.2	1.1	0.9
ΔT peak method (K)	12.75	12.54	12.48	12.35		13.06	12.65	13.22	12.45
ΔT LabTermo (K)	13.31	12.7	14.36	13.3		13.63	13.6	13.63	13.11
Δu_{comb} (J/g)	-24301	-23589	-23329	-23055		-24534	-23678	-24734	-23568
Δu_{comb}(J/g) / LabTermo	-23187	-21835	-24535	-22693		-23403	-23268	-23308	-22683

	Peak	Labtermo		Peak	Labtermo	
<Dcu>	-23568	-23063		<Dcu>	-24128	-23165
stdev	535	1129		stdev	591	326
t fator	535	1129		t fator	591	326
%error	2.3	4.9		%error	2.4	1.4

Apêndice 9: Resultados das Campanhas e Triagem de RSU em Maputo

CAMPANHAS de RSU - MANHICA

Resíduos plásticos dos contentores (massa em kg)							Resíduos plásticos das lixeiras (massa em kg)						
PET	PEAD	PVC	PEBD	PP	PS	Outros	PET	PEAD	PVC	PEBD	PP	PS	Outros
0.28	0.24	0	0.08	0.05	0.015	0.05	0.19	0.21	0	0.14	0.07	0	0
0.155	0.035	0	0.135	0.07	0	0.06	0.58	0.12	0	0.05	0.1	0	0
0.09	0.03	0	0.1	0.06	0	0	0.11	0.24	0	0.15	0.07	0.09	0.07
0.31	0.075	0	0.08	0.175	0	0.085	0.285	0.135	0.245	0.3	1	0.045	0.035
0.235	0.08	0	0.075	0.255	0	0	0.365	0.14	0.02	0.145	0.03	0.025	0.02
0.19	0.045	0.02	0	0.065	0.02	0	0.13	0.14	0.2	0.17	0.04	0	0.14
0.19	0.03	0	0.09	0.09	0.07	0	0.38	0.19	0.14	0.21	0.08	0.09	0.08
0.1	0.04	0	0.145	0.01	0.1	0.05	0.83	0.1	0.15	0.13	0.12	0.14	0.39
0.0205	0.105	0	0.08	0.075	0.04	0.08	0.26	0.12	0.12	0.19	0.06	0.04	0.09
0.29	0.085	0	0.03	0	0.01	0.08	0.565	0.195	0.13	0.09	0.32	0.04	0.06
0.185	0.13	0.03	0.065	0.565	0.025	0.05	0.26	0.21	0.13	0.19	0.065	0.05	0.09
0.095	0.05	0	0.08	0.055	0.025	0.055	0.775	0.195	0.21	0.245	0.31	0.04	0.07
0.06	0.115	0.115	0.05	0.06	0.115	0.105	0.35	0.201	0.14	0.305	0.22	0.03	0
0.23	0.06	0.08	0.0225	0.055	0.015	0.025	0.75	0.14	0.12	0.13	0.302	0	0.05
0.07	0.145	0	0.05	0.03	0.015	0.05	0.45	0.19	0	0.155	0.098	0.013	0.09
0.225	0.06	0.065	0.075	0.03	0.065	0.02							
0.085	0.115	0.015	0.19	0.45	0.09	0.2							
0.1	0.09	0	0.065	0.04	0.055	0.06							
0.09	0.165	0	0.28	0.04	0	0.03							
0.23	0.077	0.08	0.335	0.065	0.015	0.025							
3.2305	1.772	0.405	2.0275	2.24	0.675	1.025	6.28	2.526	1.605	2.6	2.885	0.603	1.185
0.161525	0.0886	0.02025	0.101375	0.112	0.03375	0.05125	0.418667	0.1684	0.107	0.173333	0.192333	0.0402	0.079

Resíduos Caseiros (massa em kg)							Resíduos do Mercado (massa em kg)						
Plástico	Orgânicos	Têxteis	Papel	Metal	Vidro	Outros	Plástico	Orgânicos	Têxteis	Papel	Metal	Vidro	Outros
0.145	4.64	0.13	0.11	0	0	0	0.415	3.09	0.065	0.53	0.185	0.34	0.28
0.17	4.065	0	0.3	0.35	0	0.115	0.59	2.265	0.38	0.305	0.17	1.28	0.47
0.255	4.12	0.06	0.3	0	0.035	0.115	0.515	4.24	0	0.17	0	0	0.345
0.165	4.57	0	0.05	0.02	0.505	0.055	0.45	4.065	0.56	0.21	0.09	0.29	0.29
0.085	3.355	0	0	0.53	0.725	0.545	0.64	4.12	0.31	0.23	0.11	0.31	0.26
0.145	4.395	0.08	0.66	0.105	0	0.23	0.53	3.605	0.035	0.085	0	0.75	0.24
0.375	4.395	0	0.05	0.01	0	0.43	0.3	3.525	0.37	0.315	0.195	0.21	0
0.5	3.6	0.005	0.35	0.075	0.595	0	0.55	3.715	0.25	0.135	0	0.505	0.31
0.85	3.89	0.02	0.11	0.01	0.375	0.09	0.61	4.055	0.465	0.425	0.09	0.55	0.11
0.205	3.575	0.085	0.035	0.12	0.565	0.245							
0.105	4.135	0.03	0.02	0.045	0	0.345							
0.29	4.165	0.09	0.04	0.045	0	0.1							
0.2	3.64	0.035	0.055	0.085	0.525	0.065							
0.205	3.535	0.275	0.13	0.04	0.775	0.245							
0.215	3.165	0.21	0.115	0.065	0.655	0.355							
0.14	4.65	0.09	0.1	0.08	0	0.16							
0.105	4.55	0	0.055	0.125	0.2	0							
0.12	4.295	0.12	0.055	0	0.03	0.5							
0.11	4.23	0.195	0.045	0.07	0.165	0.21							
0.495	3.225	0.21	0.09	0.12	0.095	0.07							
4.88	80.195	1.635	2.67	1.895	5.245	3.875	4.6	32.68	2.435	2.405	0.84	4.235	2.305
0.244	4.00975	0.08175	0.1335	0.09475	0.26225	0.19375	0.511111	3.631111	0.270556	0.267222	0.093333	0.470556	0.256111

Dias	Resíduos plásticos caseiros (massa em kg)							Resíduos plásticos dos mercados (massa em kg)						
	PET	PEAD	PVC	PEBD	PP	PS	Outros	PET	PEAD	PVC	PEBD	PP	PS	Outros
1	0	0.1	0	0.02	0.025	0	0	0.18	0.04	0	0.055	0.07	0	0.12
2	0	0.09	0	0.05	0.03	0	0	0.275	0.04	0	0.192	0.035	0.025	0.05
3	0	0.04	0	0	0.215	0	0	0.085	0.165	0	0.29	0.03	0	0
4	0	0.055	0	0.025	0.07	0	0.045	0.105	0.08	0	0.065	0.035	0.03	0.05
5	0.025	0.035	0	0.035	0	0	0.065	0.095	0.12	0	0.19	0.45	0.09	0.21
6	0.075	0.065	0	0.02	0.02	0	0	0.22	0.065	0.065	0.07	0.02	0.07	0
7	0	0.09	0	0.03	0.22	0	0	0.155	0.035	0.035	0.075	0.13	0	0.05
8	0.37	0.09	0	0.02	0	0.06	0	0.205	0.11	0.01	0.13	0.055	0.06	0
9	0.155	0.41	0.18	0.025	0.045	0	0.045	0.27	0.09	0.04	0.06	0.03	0.115	0.035
10	0.14	0.035	0.03	0	0.045	0	0							
11	0.015	0.025	0.09	0.01	0.02	0	0							
12	0.045	0.025	0.045	0.215	0.025	0	0.045							
13	0.085	0.065	0	0.02	0.045	0	0.04							
14	0.02	0.02	0.035	0.04	0.145	0.01	0							
15	0.12	0.045	0.02	0.06	0.13	0.09	0.035							
16	0	0.085	0	0	0.075	0.02	0							
17	0.025	0.035	0.03	0.02	0.015	0	0							
18	0.055	0.06	0.015	0	0.025	0	0							
19	0.09	0.025	0	0.01	0.02	0.015	0							
20	0.085	0.06	0.025	0.035	0.025	0.03	0.045							
Totais	1.305	1.455	0.47	0.635	1.195	0.225	0.32	1.59	0.745	0.15	1.127	0.855	0.39	0.515
Médias	0.06525	0.07275	0.0235	0.03175	0.05975	0.01125	0.016	0.176667	0.082778	0.016667	0.125222	0.095	0.043333	0.057222

Dias	Resíduos dos Contentores (massa em kg)							Resíduos das Lixeiras (massa em kg)						
	Plástico	Orgânicos	Têxteis	Papel	Metal	Vidro	Outros	Plástico	Orgânicos	Têxteis	Papel	Metal	Vidro	Outros
1	0.13	3.105	0.23	0.285	0.095	0.555	0.48	1.06	1.7	0.23	1.1	1.53	3.64	0.795
2	0.5	3.1	0.5	0.2	0.02	0.855	0.405	1.058	6.05	0.22	0.55	0.045	2.05	0.117
3	0.255	4.145	0.01	0.1	0.05	0.525	0.135	1.05	5.65	0.41	0.65	0.27	3.63	0.45
4	0.71	4.125	0.115	0.645	0.05	0.995	0	2.035	3.26	0.525	0.37	0.15	2.06	0.96
5	0.7	3.12	0.2	0.635	0	0.5	0.07	0.875	3.95	0.355	0.125	0.225	1.175	0.345
6	0.23	4.085	0	0.5	0.055	1.195	0.115	0.54	6.12	0.42	0.1	0.14	1.17	0.4
7	0.395	3.33	0.14	0.055	0.175	1.2	0.305	0.52	6.54	0.38	0.62	0.54	1.42	0.34
8	0.525	2.86	0	0.195	0	2.31	0	1.51	5.72	0.3	0.43	0.14	1.16	0.09
9	0.755	3.565	0.335	0.065	0	0.28	0.105	0.65	6.04	0.46	0.18	0.18	1.44	0.62
10	0.565	4.16	0.09	0.39	0.16	0.335	0.325	1.96	6.18	0.39	0.14	0.42	0.63	0.2
11	0.93	3.435	0.09	0	0.31	0.53	0	1.805	6.05	0.17	0.18	0.4	1.37	0.61
12	0.24	3.575	0.21	0.14	0.095	0.865	0	1.75	6.185	0.465	0.21	0.35	1.16	0.35
13	0.635	2.24	0.23	0.115	0.37	0.92	0.345	0.75	5.35	0.502	0.22	1.6	2.055	0.406
14	0.74	2.375	0.03	0.265	0.295	1.245	0.375	1.065	3.95	0.37	1.12	0.55	1.25	0.705
15	0.615	4.23	0.06	0.17	0	0.23	0.145	0.95	6.08	0.535	0.602	0.55	1.33	0.25
16	0.31	3.64	0.075	0.195	0.19	0.725	0.035							
17	0.53	3.605	0.04	0.09	0.05	0.8	0.24							
18	0.56	4.22	0.31	0.23	0.12	0.41	0.16							
19	0.565	4.03	0.65	0.11	0.08	0.29	0.26							
20	0.75	3.065	0.215	0.095	0.13	0.44	0.325							
Totais	10.64	70.01	3.53	4.48	2.245	13.96	3.825	17.578	78.825	5.732	6.597	7.09	25.54	6.638
Médias	0.532	3.5005	0.1765	0.224	0.11225	0.734737	0.19125	1.171867	5.255	0.382133	0.4398	0.472667	1.702667	0.442533

Apêndice 10: Campanhas de triagem de resíduos de plásticos em Maputo

Dias	CAMPANHAS DE CARACTERIZACAO FISICA - (Massa em Kg)																	
	Caseiros						Contentor						Lixeira					
	Plásticos	Alimentos	Têxteis	Papel	Metal	Vidro	Plásticos	Alimentos	Têxteis	Papel	Metal	Vidro	Plástico	Alimentos	Têxteis	Papel	Metal	Vidro
1	1.495	4.038	1.607	2	0.03	1.37	1.098	1	2	4	0	1.902	1.085	5.225	0.365	0	0.563	2.762
2	2.534	2.225	0.185	3	0	2.056	2.854	1.012	1.097	1.003	0	4.034	0.825	3.09	0.045	1.089	1	3.951
3	1.095	0.5	0.101	0.054	0	7.205	0.913	1	0.395	0.096	0.01	7.586	1.115	1.008	0.2	0.597	0	7.08
4	0.86	1.907	0	0.215	0	7.018	0.96	0.9	0.555	0	0.265	7.32	0.845	0.976	0	0.939	0	7.186
5	0.07	2	0	0.607	0.785	6.475	1	1	1.009	1.032	0.721	5.238	0.564	1.001	1	1	0.87	5.565
6	1	1.678	0	0	0	7.322												
7	2	2.225	0.955	1	1.342	2.478												
8	0.199	2	1.004	1.98	0.98	3.873												
9	1	1.505	0.905	0	0	5.59												
10	0.825	0.431	1.004	0.0453	0	5.287												
Totais	11.078	18.509	5.761	8.9013		48.674	6.825	4.912	5.056	6.131	0.996	26.08	4.434	11.3	1.61	3.625	2.433	26.544
Médias	1.1078	1.8509	0.5761	0.89013	0.3137	4.8674	1.365	0.9824	1.0112	1.2262	0.1992	5.216	0.8868	2.26	0.322	0.725	0.563	5.3088

Dias	RESIDUOS DA CASA 1						RESIDUOS DA CASA 2						RESIDUOS NO CONTENTOR					
	PP	PEAD	PCBD	PET	EPS	PVC	PP	PEAD	PEBD	PET	EPS	PVC	PP	PEAD	PCBD	PET	EPS	PVC
1	0.041	0.11	0.089	0.055	0	0.9	0.415	0	0.047	0.1	0.078	0	0.043	0.092	0.36	0.556	0	0.09
2	0.022	0.14	0.045	0.41	0	0.056	0.2	0	0.078	0.21	0.056	0	0	0.55	0.11	0.72	0	1.081
3	0	0	0.095	0	0.078	0	0	0.96	0.035	0	0.21	0	0.5	0.037	0.4	0.954	0	0
4	0.047	0.09	0.05	0.11	0.65	0	0.01	0	0.62	0.58	0	0.71	0	0.034	0	0.423	0.67	0.59
5	0.015	0	0	0.57	0.79	0	0.055	0.22	0	0.9	0	0	0.068	0.456	0.281	0.086	0.462	1.147
6	0.031	0	0	0.065	0.515	0	0	0.84	0.031	0	0.412	0	0.072	0.087	0	0.36	0	1.02
7	0	0.165	0	0	0	0.54	0.068	0	0.117	0	0	0	0.009	0	0.097	0.67	0.52	0.186
8	0.015	0	0	0.084	0.95	0	0.07	0	0.021	0.41	0	0.99	0.02	0	0.071	0.225	0	2.383
9	0	0	0.031	0	0	0	0.106	0.065	0	0.92	0	0	0.059	0.35	0	0.23	0.88	0.74
10	0.032	0.07	0	0.585	0	0	0.037	0	0.019	0	0.317	0	0.098	0.087	0.12	0.079	0	0
TOTALS	0.162	0.465	0.221	1.824		0.596	0.546	2.085	0.921	3.02		1.7	0.826	1.601	1.079	3.747		7.147
MEDIAS (X)	0.0162	0.0465	0.0221	0.1824		0.0596	0.0546	0.2085	0.0921	0.302		0.17	0.0826	0.1601	0.1079	0.3747		0.7147

Apêndice 11: Distribuição de cenários de misturas de Resíduos de plásticos

Cenários	CENARIOS DE MISTURAS DE PLASTICOS				
	Proporcao de entrada por tipo (kg)				
	PP	PS	PEAD	PEBD	PET
1	0.3	0.6	1	1	2
2	2	1	1	0.3	0.6
3	0.3	2	0.6	2	1
4	1	2	1	0.6	0.3
5	0.3	0.6	1	2	2
6	0.6	2	0.3	1	0.3
7	2	1	0.3	1	0.6
8	0.3	2	1	0.6	0.6
9	2	2	1	0.6	0.3
10	0.3	0.6	2	1	1
11	0.6	2	2	1	0.3
12	2	0.3	0.3	0.6	1
13	0.6	1	1	0.3	2
14	2	1	0.3	0.6	2
15	0.6	1	0.6	2	0.3
16	1	0.6	2	0.3	0.6
17	0.3	1	0.6	2	1
18	0.6	0.3	2	2	1
19	1	2	2	0.3	0.6
20	0.3	2	0.6	1	0.3

Cenários	CENARIOS DE MISTURAS DE PLASTICOS				
	Proporcao de entrada por tipo (kg)				
	PP	PS	PEAD	PEBD	PET
21	0.6	1	1	2	0.3
22	2	0.6	0.3	2	1
23	0.3	1	0.3	2	0.6
24	0.6	0.3	2	1	2
25	2	2	0.6	1	0.3
26	0.3	2	1	0.3	1
27	0.6	1	0.3	2	1
28	2	1	0.6	0.3	0.6
29	0.3	0.6	1	2	2
30	1	0.6	2	0.3	2
31	2	0.6	1	1	0.3
32	0.6	2	1	0.3	1
33	1	0.6	2	2	0.3
34	2	1	0.3	1	0.6
35	1	2	0.3	2	0.6
36	0.6	0.3	2	1	0.6
37	1	1	0.3	0.6	2
38	2	0.6	2	0.6	1
39	0.3	1	2	1	0.6
40	0.3	1	0.6	2	0.3

Cenários	CENARIOS DE MISTURAS DE PLASTICOS				
	Proporcao de entrada por tipo (kg)				
	PP	PS	PEAD	PEBD	PET
41	1	1	2	0.3	0.6
42	1	2	0.3	2	0.6
43	1	1	0.3	0.6	1
44	2	2	0.6	1	0.3
45	0.6	0.6	0.3	2	1
46	1	0.6	0.6	0.3	2
47	0.3	1	2	0.3	0.6
48	2	1	0.3	0.6	1
49	0.3	2	0.3	0.6	1
50	0.3	1	2	0.6	2
52	1	2	1	0.3	0.6
52	2	1	0.3	2	0.6
53	1	0.6	1	2	0.3
54	0.3	0.6	2	1	1
55	0.3	2	1	0.6	0.3
56	2	0.3	1	2	0.6
57	0.6	1	0.6	2	1
58	0.3	0.6	2	0.3	1
59	0.3	2	1	1	0.6
60	1	0.6	0.3	2	1

CENARIOS DE MISTURAS DE PLASTICOS				
Proporcao de entrada por tipo (kg)				
PP	PS	PEAD	PEBD	PET
2	1	1	0.3	0.6
0.3	0.6	2	0.6	1
2	1	0.3	0.3	2
1	2	2	0.3	0.3
0.6	0.3	0.3	1	2
0.3	2	2	1	0.6
0.6	0.3	2	0.6	1
2	0.3	1	0.3	0.6
1	0.3	0.6	2	1
0.6	0.3	1	0.3	1
0.3	0.6	1	2	1
1	0.6	2	0.3	0.6
1	0.3	0.6	2	2
0.6	1	2	1	0.6
2	0.3	0.3	0.6	1
0.3	1	0.6	2	1
1	0.6	1	0.3	2
0.6	1	0.3	2	2
2	0.3	0.6	0.3	0
0.3	2	2	1	0.6

Cenarios	CENARIOS DE MISTURAS DE PLASTICOS				
	Proporcao de entrada por tipo (kg)				
	PP	PS	PEAD	PEBD	PET
81	2	1	1	0.6	0.3
82	1	0.3	1	2	0.3
83	0.6	2	0.3	2	1
84	2	1	0.6	0.3	2
85	0.6	1	0.6	2	0.3
86	2	1	1	0.6	2
87	0.6	0.3	1	1	2
88	0.3	1	2	2	0.3
89	0.6	0.3	1	2	0.6
90	0.3	1	0.6	0.6	2
91	2	0.3	0.6	1	1
92	1	0.3	0.3	2	1
93	2	2	1	0.3	2
94	2	1	2	0.3	0.6
95	1	1	2	0.6	0.3
96	1	0.6	0.3	2	2
97	1	0.3	0.6	1	2
98	0.6	1	2	1	0.3
99	0.3	2	1	1	0.6
100	1	0.6	0.6	2	1

Cenarios	CENARIOS DE MISTURAS DE PLASTICOS				
	Proporcao de entrada por tipo (kg)				
	PP	PS	PEAD	PEBD	PET
101	1	2	1	0.6	0.3
102	2	0.3	2	1	0.6
103	1	1	0.6	0.3	2
104	0.3	0.3	2	1	0.6
105	2	2	0.3	2	0.6
106	1	0.3	0.6	0.3	2
107	0.3	0.6	0.3	2	1
108	0.6	2	0.3	1	0.6
109	2	0.6	2	1	0.3
110	1	0.3	2	1	0.6
111	0.6	0.6	0.3	1	2
112	2	1	0.6	0.3	2
113	2	0.6	2	1	1
114	1	0.3	2	2	0.6
115	2	0.6	1	1	0.3
116	0.3	1	0.3	2	0.6
117	0.6	0.3	2	0.3	1
118	2	0.6	0.3	2	1
119	1	2	2	0.6	0.3
120	1	0.3	2	2	0.6
121	0.6	1	1	0.3	2
122	2	0.6	0.6	1	0.3
123	1	2	0.3	0.3	0.6
124	0.3	1	0.6	1	2
125	1	0.6	2	0.3	2

Estudo realizado em Matola e Cidaade de Maputo, em residencias, contentores , mercados e lixeiras Maio de 2022 a Fevereiro de 2023

Apêndice 12: Folha de cálculo para análise proximal - Maputo

Humidade para análise (base seco ao ar) Norma ISO

	1º Ensaio (x ₁)	2º Ensaio (x ₂)	Média (X) (x ₁ +x ₂)/2	Repetibilidade (r) para %mm < 5% → 0.3ra %mm ≥ 5% → 0.15
Peso do cadinho (C)	50.6166	58.2838		
Peso do cadinho com amostra (A)	51.6168	59.2840		
Peso do cadinho com amostra incinerada (B)	51.5775	59.2359		
Humidade = ((A-B)/(A-C))*100	3.93	4.81	4.37	-0.88

Amostra A	1.0002
Amostra B	1.0002

Matérias voláteis (base seco ao ar) Norma ISO

	1º Ensaio	2º Ensaio	Média, X (x ₁ + x ₂)/2	Repetibilidade <10% r=0.3% do valor absoluto >10%, r=0.03X	3º Ensaio	4º Ensaio	Média, X (x ₁ +x ₂ +x ₃ +x ₄)/4	Reprodutibilidade R=0.05X
Peso do cadinho (C)	14.6315	14.5472						
Peso do cadinho com amostra (A)	15.6315	15.5472						
Peso do cadinho com amostra incinerada (B)	15.253	15.2765						
% Voláteis ISO = ((A-B)/(A-C))*100-Hpa	33.92	22.26	28.09		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
% Voláteis ISO(Seco)	35.31	23.39	29.347	0.88	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
			Dif	-11.92				

Amostra A	1
Amostra B	1

Cinzas (base seco ao ar) Norma ISO

	1º Ensaio	2º Ensaio	Média, X (x ₁ + x ₂)/2	Repetibilidade <10% r=0,2 do valor absoluto >10% r=2% do valor médio	3º Ensaio	4º Ensaio	Média, X (x ₁ +x ₂ +x ₃ +x ₄)/4	Reprodutibilidade <10% r=0.03 do valor absoluto >10% r=3% do valor médio
Peso do cadinho (C)	12.8267	13.9086						
Peso do cadinho com amostra (A)	13.8269	14.9088						
Peso do cadinho com amostra incinerada (B)	13.4772	14.4986						
% Cinzas = ((B-C)/(A-C))*100	65.04	58.99	62.01		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
%Cinzas (Seco)	67.70	61.97	64.8326	-5.729	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	

Amostra A	1.0002
Amostra B	1.0002

1.296652314

FC 8.8256

FC1 3.0051

FC2 14.6461

Apêndice 13: Folha de cálculo para análise proximal - Porto

Humidade para análise (base seco ao ar) Norma ISO

	1º Ensaio (x ₁)	2º Ensaio (x ₂)	Média (X) (x ₁ +x ₂)/2	Repetibilidade (r) Para %mm < 5%→0. Para %mm ≥ 5%→0.15
Peso do cadinho (C)	24.5912	16.3197		
Peso do cadinho com amostra (A)	25.5912	17.3197		
Peso do cadinho com amostra incinerada (B)	25.5908	17.3193		
% Humidade = ((A-B)/(A-C))*100	0.04	0.04	0.04	0.00

Amostra A	1
Amostra B	1

Matérias voláteis (base seco ao ar) Norma ISO

	1º Ensaio	2º Ensaio	Média, X (x ₁ + x ₂)/2	Repetibilidade <10% 0.3% do valor absoluto >10%, r=0.03X	3º Ensaio	4º Ensaio	Média, X (x ₁ +x ₂ +x ₃ +x ₄)/4	Reprodutibilidade R=0.05X
Peso do cadinho (C)	14.5328	14.5536						
Peso do cadinho com amostra (A)	15.533	15.5536						
Peso do cadinho com amostra incinerada (B)	14.5389	14.5595						
% Voláteis ISO = ((A-B)/(A-C))-Hpa	99.35	99.37	99.36		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
% Voláteis ISO(Seco)	99.39	99.41	99.40	2.98	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
			Dif	0.02				

Amostra A	1.0002
Amostra B	1

Cinzas (base seco ao ar) Norma ISO

	1º Ensaio	2º Ensaio	Média, X (x ₁ + x ₂)/2	Repetibilidade <10% r=0,2 do valor absoluto >10% r=2% do valor médio	3º Ensaio	4º Ensaio	Média, X (x ₁ +x ₂ +x ₃ +x ₄)/4	Reprodutibilidade <10% r=0.03 do valor absoluto >10% r=3% do valor médio
Peso do cadinho (C)	13.9064	12.9945						
Peso do cadinho com amostra (A)	14.9063	13.9945						
Peso do cadinho com amostra incinerada (B)	13.9143	13.0025						
% Cinzas = ((B-C)/(A-C))*100	0.79	0.80	0.80		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
%Cinzas (Seco)	0.79	0.80	0.7954	0.010	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	

Amostra A	0.9999
Amostra B	1

0.015907153

FC 0.1982

FC1 0.1883

FC2 0.2101

Apêndice 14: Potencial de geração de energia por resíduos plásticos 2025-2050

Período	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	RSU	R plástico	R plástico	Maputo	Taxa de crescimento da População	Maputo	Potencial de Geração Eléctrica (PGE)		
	kg/(hab.dia)	kg/(hab.dia)	kg/(hab.ano)	População		R plástico kg/ano	16% MWh	50% MWh	100% MWh
2025	0.49	0.064	23.25	3801510		88387008.26	8485.2	26516.1	53032.2
2026	0.50	0.068	24.67	3897799	2.53	96144885.39	9229.9	28843.5	57686.9
2027	0.52	0.070	25.41	3995409	2.50	101509155.45	9744.9	30452.7	60905.5
2028	0.54	0.072	26.17	4094311	2.48	107142561.20	10285.7	32142.8	64285.5
2029	0.55	0.074	26.95	4194435	2.45	113055550.48	10853.3	33916.7	67833.3
2030	0.57	0.076	27.76	4295631	2.41	119256652.01	11448.6	35777.0	71554.0
2031	0.59	0.078	28.60	4397648	2.37	125751546.29	12072.1	37725.5	75450.9
2032	0.60	0.081	29.45	4500073	2.33	132540820.07	12723.9	39762.2	79524.5
2033	0.62	0.083	30.34	4603037	2.29	139640625.33	13405.5	41892.2	83784.4
2034	0.64	0.086	31.25	4706874	2.26	147074410.56	14119.1	44122.3	88244.6
2035	0.66	0.088	32.18	4811462	2.22	154852716.63	14865.9	46455.8	92911.6
2036	0.68	0.091	33.15	4916620	2.19	162984249.39	15646.5	48895.3	97790.5
2037	0.70	0.094	34.14	5022037	2.14	171473150.00	16461.4	51441.9	102883.9
2038	0.72	0.096	35.17	5127856	2.11	180338836.56	17312.5	54101.7	108203.3
2039	0.74	0.099	36.22	5234405	2.08	189608581.64	18202.4	56882.6	113765.1
2040	0.76	0.102	37.31	5341669	2.05	199298883.28	19132.7	59789.7	119579.3
2041	0.79	0.105	38.43	5449650	2.02	209427509.28	20105.0	62828.3	125656.5
2042	0.81	0.108	39.58	5558363	1.99	220013458.17	21121.3	66004.0	132008.1
2043	0.83	0.112	40.77	5667723	1.97	231072457.36	22183.0	69321.7	138643.5
2044	0.86	0.115	41.99	5777611	1.94	242619156.68	23291.4	72785.7	145571.5
2045	0.88	0.119	43.25	5888008	1.91	254672708.42	24448.6	76401.8	152803.6
2046	0.91	0.122	44.55	5998911	1.88	267253658.50	25656.4	80176.1	160352.2
2047	0.94	0.126	45.89	6110366	1.86	280385589.71	26917.0	84115.7	168231.4
2048	0.97	0.129	47.26	6222262	1.83	294085751.69	28232.2	88225.7	176451.5
2049	1.00	0.133	48.68	6334439	1.80	308369255.82	29603.4	92510.8	185021.6
2050	1.03	0.137	50.14	6446868	1.77	323257728.77	31032.7	96977.3	193954.6
Descrição de cenário: 16% Cenário pessimista; 50 % Cenário moderado e 100% Cenário optimista									

EQUACOES DAMODELAÇÃO /ESTIMAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA

A = produção diária de resíduos urbanos por habitante - aumenta 3% ao ano

Produção de resíduos por habitante no ano X-

B = (A x 13%) x 3% -> aumenta 3% ao ano

Produção de plástico por habitante por dia no ano X-

C = B x 365

Produção anual de plástico por habitante no ano X -

D = População de Maputo (cidade mais província)

Dados do Censos de Moçambique (poderia ter uma equação)

E = Taxa de crescimento da população

Taxa de crescimento da população (TCP)

F = C x D

Produção anual de plástico em Maputo

G = (((E x 78)/130) x 16%)/1000

Produção energética em cenário pessimista

H = (((E x 78)/130) x 50%)/1000

Produção energética em cenário moderado

I = (((E x 78)/130) x 100%)/1000

Produção enérgica em cenário optimista

$$P_{RSUdia} (\text{ano } X) = P_{RSUdia} (\text{ano } X-1) \times 1,03$$

$$P_{plásticodia} (\text{ano } X) = [P_{RSUdia} (\text{ano } X-1) \times 0,13] \times 1,03$$

$$P_{Plásticoanual} (\text{ano } X) = P_{plástico} (\text{ano } X) \times 365$$

$$TCP = [(pop (\text{ano } X)/pop (\text{ano } X-1)) - 1] \times 100$$

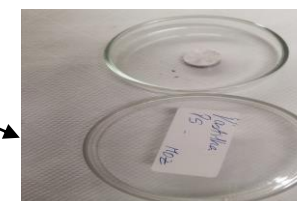
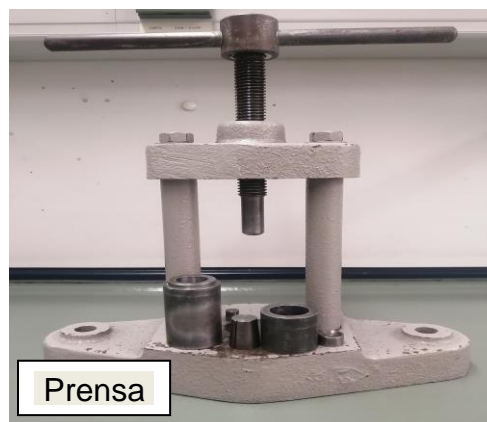
$$P_{plástico/ano \text{ em Maputo}} = P_{plásticoanual} (\text{ano } X) \times População (\text{ano } X)$$

$$PGE = [((P_{plástico/ano \text{ em Maputo}} * 78)/130) * 0,16]/1000$$

$$PGE = [((P_{plástico/ano \text{ em Maputo}} * 78)/130) * 0,50]/1000$$

$$PGE = [((P_{plástico/ano \text{ em Maputo}} * 78)/130) * 1,00]/1000$$

Apêndice 15: Procedimento de preparação de amostras para análise: proximal, elemental e calorimétrico



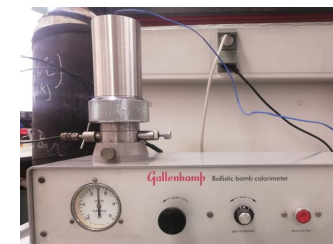
Forno/Mufla

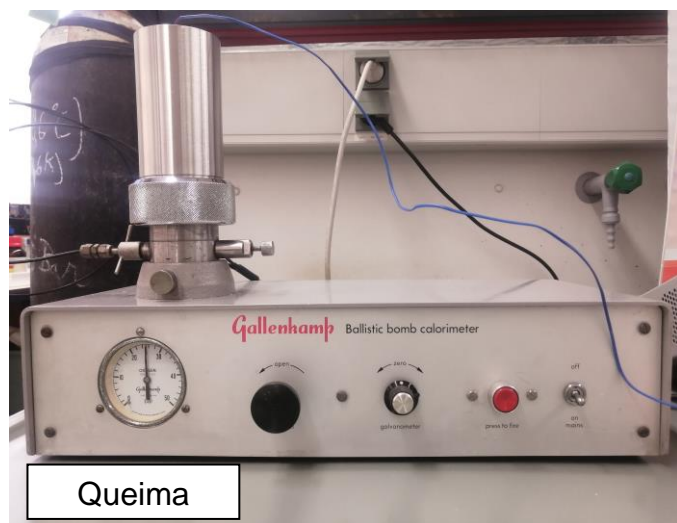


SEM/EDS

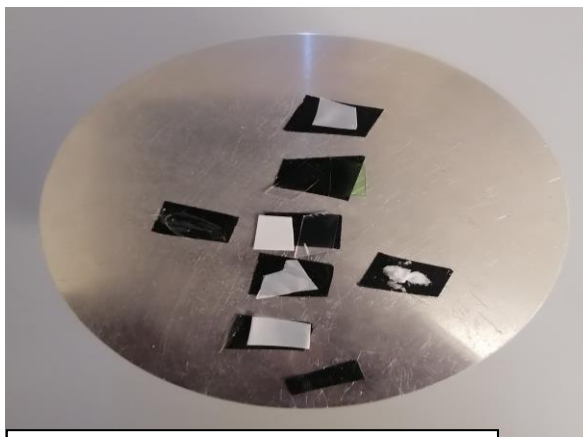


Bomba Calorimétrica



Apêndice 16: Procedimento para análise Calorimétrica

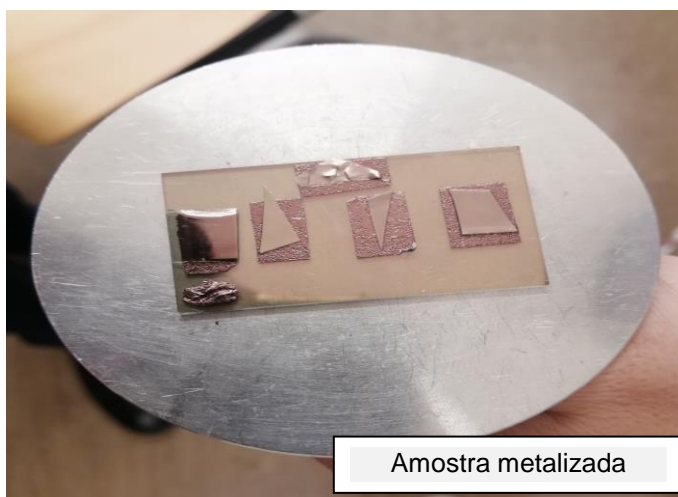
Apêndice 17: Procedimento para a metalização de amostras de resíduos de plásticos



Preparação para metalização da

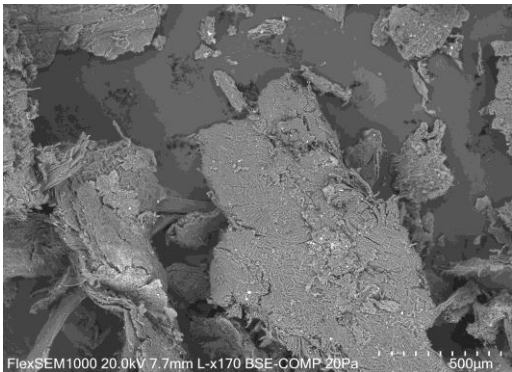
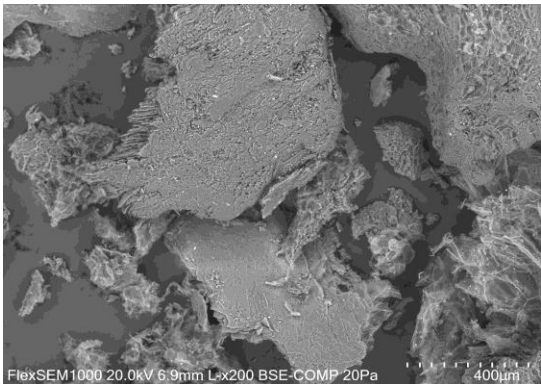
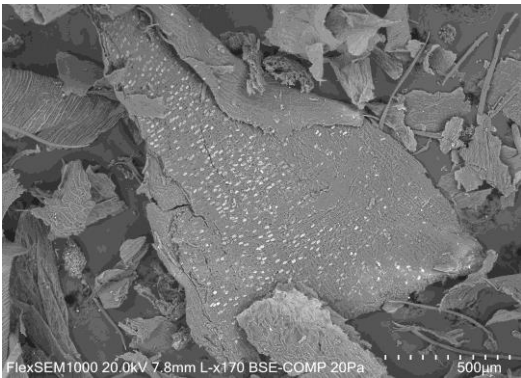
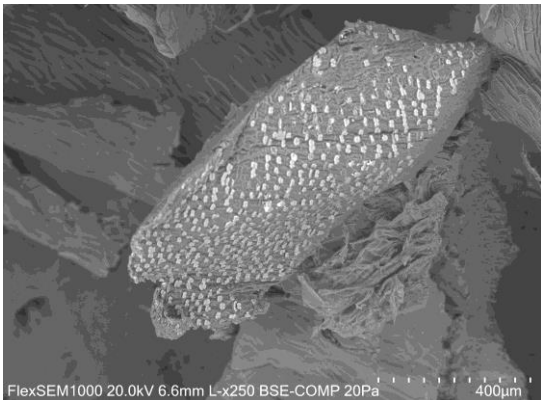
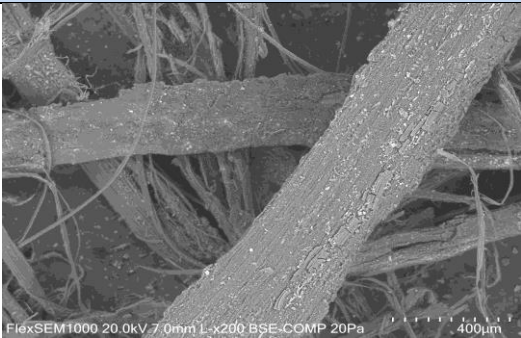
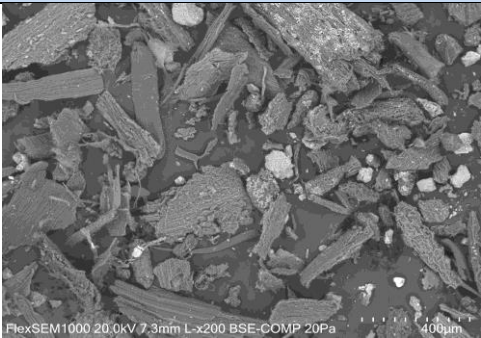


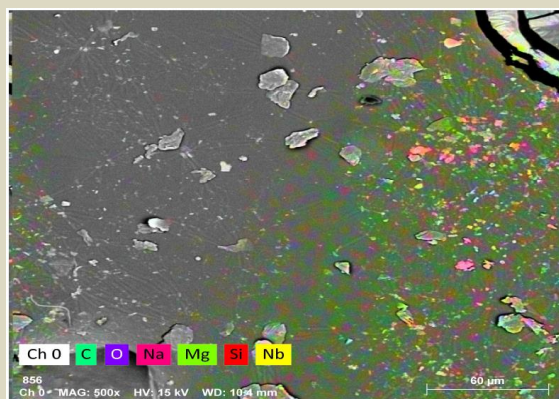
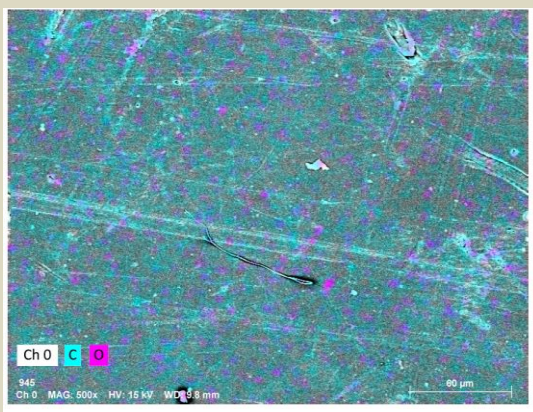
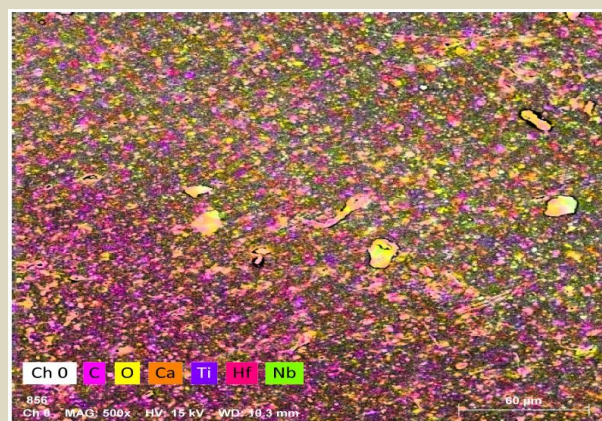
Metalização

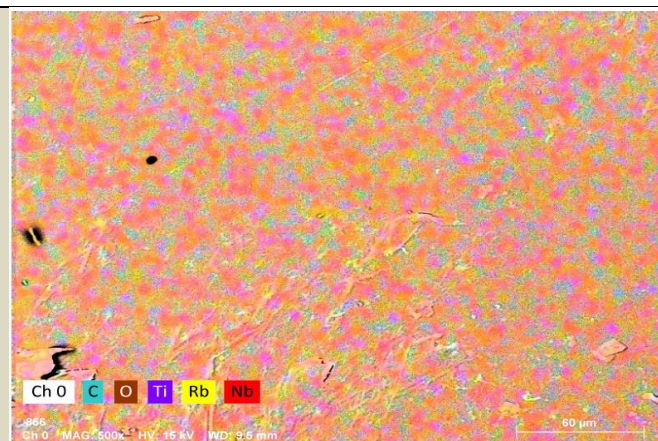
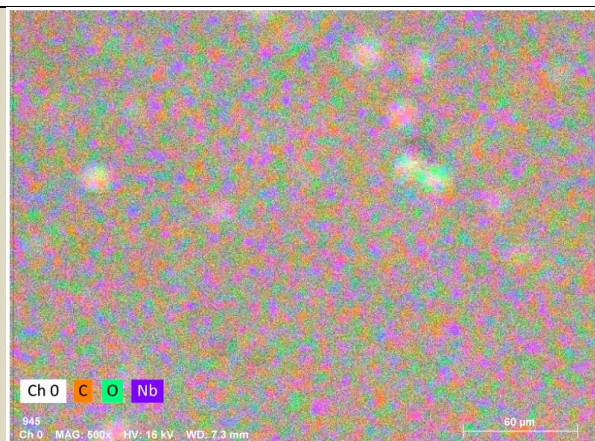


Amostra metalizada

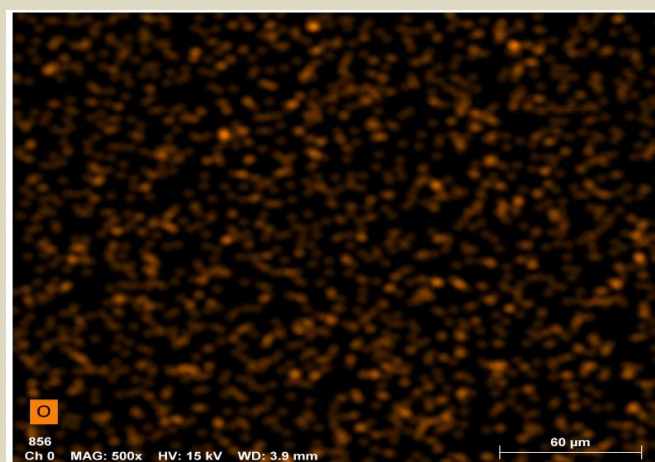
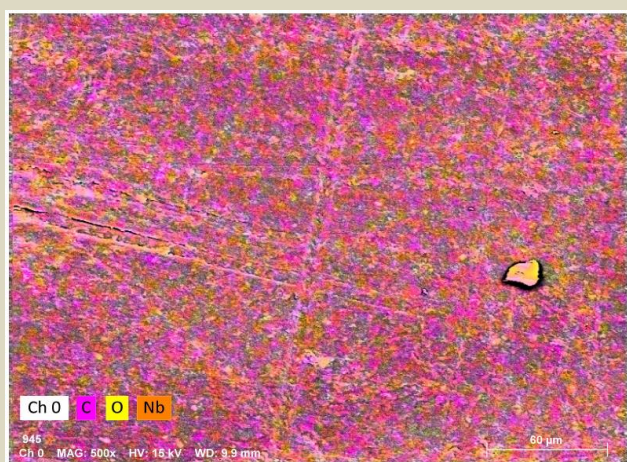
Apêndice 18: Estruturas micrográficas de resíduos sólidos agrícolas e resíduos sólidos urbanos (plásticos)

Resíduos Sólidos Agrícolas	
MAPUTO	PORTO
Amendoim	
 <p>FlexSEM1000 20.0kV 7.7mm L-x170 BSE-COMP 20Pa 600µm</p>	 <p>FlexSEM1000 20.0kV 6.9mm L-x200 BSE-COMP 20Pa 400µm</p>
Milho	
 <p>FlexSEM1000 20.0kV 7.8mm L-x170 BSE-COMP 20Pa 500µm</p>	 <p>FlexSEM1000 20.0kV 6.6mm L-x250 BSE-COMP 20Pa 400µm</p>
Feijão	
 <p>FlexSEM1000 20.0kV 7.0mm L-x200 BSE-COMP 20Pa 400µm</p>	 <p>FlexSEM1000 20.0kV 7.3mm L-x200 BSE-COMP 20Pa 400µm</p>
Imagens da estrutura interna de amostras de resíduos agrícolas	

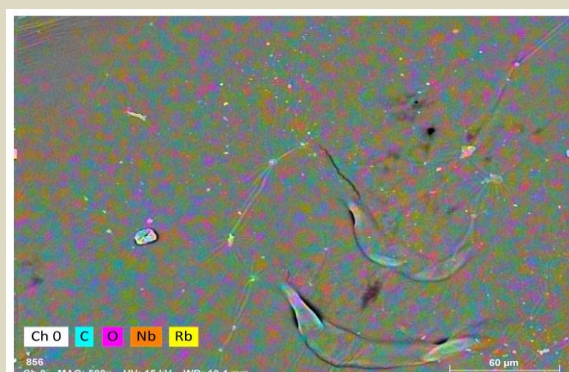
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (MATERIAIS PLÁSTICOS)**Poliétileno de Alta Densidade - PEAD****Poliétileno de Baixa Densidade - PEBD****Poliétileno Tereftalato - PET**



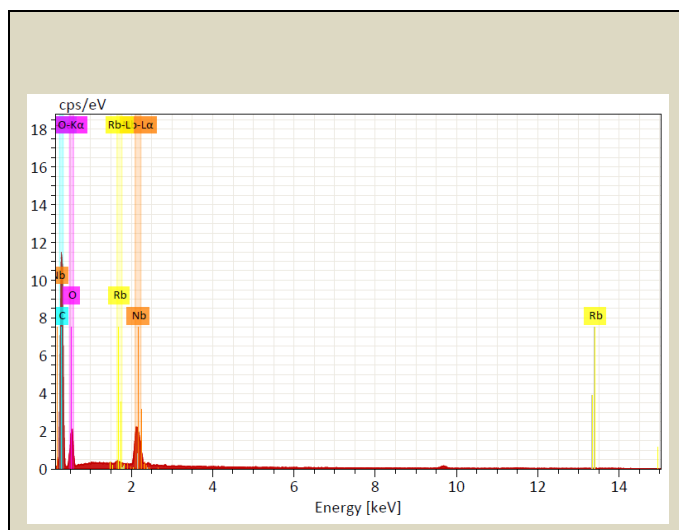
Polipropileno - PP



Poliestireno - PS



Exemplo do Mecanismo de composição elemental



Lab&Service
FCUP/DGAOT

U. PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Map

Element	At. No.	Netto	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)	rel. error [%] (1 sigma)
C	6	25100	47.85	66.90	78.76	6.02	12.58
O	8	4816	15.84	22.14	19.57	2.52	15.92
Nb	41	10123	7.61	10.64	1.62	0.32	4.16
Rb	37	288	0.22	0.31	0.05	0.04	19.74
		Sum	71.52	100.00	100.00		