

Alice Da Lucerna Custódio Nhampossa

**Avaliação do Potencial Energético de Resíduos Sólidos Hospitalares: Uma Contribuição para a Valorização Energética e Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Gerados no Centro de Saúde José Macamo**

Licenciatura em Ensino de Química com Habilitações em Ensino de Biologia

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2025

Alice Da Lucerna Custódio Nhampossa

**Avaliação do Potencial Energético de Resíduos Sólidos Hospitalares: Uma Contribuição para a Valorização Energética e Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Gerados no Centro de Saúde José Macamo**

Monografia científica a ser apresentada ao Departamento para Estudos de Tecnologias Ambientais, Faculdade de Ciências Naturais e Matemática, para obtenção do grau académico de Licenciatura em Ensino de Química.

**Supervisor:** Mestre Alberto A. Boane

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2025

**ÍNDICE**

LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABELAS .....	VIII
LISTA DE GRÁFICOS.....	IX
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....	X
DECLARAÇÃO SOB COMPROMISSO DE HONRA .....	XIII
DEDICATÓRIA.....	XIV
AGRADECIMENTOS .....	XV
RESUMO .....	XVII
CAPÍTULO I.....	19
1.INTRODUÇÃO.....	19
1.1.Problematização.....	20
1.2. Justificativa da pesquisa .....	22
1.3. Relevância da pesquisa.....	23
1.4. Objectivos.....	25
1.4.1. Objectivo geral .....	25
1.4.2. Objectivos específicos .....	25
1.5. Questões de pesquisa.....	25
1.6. Hipóteses .....	25
1.7. Delimitação do tema.....	27
1.8. Questões éticas da pesquisa.....	27
CAPÍTULO II.....	28
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	28
2.1. Resíduos sólidos- definição e classificação.....	28
2.1.1. Resíduos hospitalares .....	28
2.1.1.1. Classificação Dos Resíduos Hospitalares.....	29

2.1.1.2. Gestão de resíduos hospitalares .....	32
2.1.1.3. Características dos Resíduos Hospitalares .....	39
2.2. Tecnologias Waste-To-Energy .....	44
2.2.1. Tipos de Tecnologias Waste-To-Energy .....	45
2.2.1.1. Incineração.....	45
2.2.1.2. Coprocessamento.....	46
2.2.1.3. Pirólise .....	46
2.2.1.4. Gaseificação.....	47
2.2.1.5. Digestão anaeróbica (DA) .....	47
2.2.1.6. Captura de gás de aterro .....	48
2.2.2. Resumo das principais tecnologias WTE .....	48
CAPÍTULO III .....	49
3.METODOLOGIA.....	49
3.1. Descrição do local de realização da pesquisa .....	49
3.2. Caracterização da pesquisa.....	50
3.3. Técnicas e instrumentos de pesquisa .....	52
3.4. Amostragem .....	53
3.5. Etapas da pesquisa .....	53
3.6. Desenho experimental .....	54
3.6.2. Caracterização Energética dos Resíduos .....	54
3.6.2.1. Descrição do trabalho experimental .....	57
CAPÍTULO IV .....	69
4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	69
4.1. Resultados das Entrevistas aos funcionários do Centro de Saúde de José Macamo	69
4.2. Resultados da caracterização energética dos resíduos.....	72
4.3.Análise das características físico-químicas e energéticas dos resíduos.....	72

4.3.1. Análise do Teor de Humidade (TH ou $W_M$ ).....	73
4.3.2. Análise do Teor de Sólidos Voláteis (SV ou V).....	75
4.3.3. Análise do Teor de Cinzas (TC ou A).....	76
4.3.4. Análise do Teor de Carbono Fixo (CF).....	77
4.3.5. Análise do Poder Calorífico Superior (PCS).....	78
4.3.6. Análise do Poder Calorífico Inferior (PCI).....	79
4.4. Análise do Potencial Energético.....	81
4.5. Sustentabilidade e viabilidade da geração de energia a partir de resíduos hospitalares .....	82
CAPÍTULO V .....	85
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	85
5.1. Conclusão .....	85
5.2. Recomendações .....	86
6. Referências bibliográfica.....	86
APÊNDICES .....	95
Apêndice 1: Guião das actividades laboratoriais.....	95
Apêndice 2: Roteiro de entrevista semi-estruturada dirigida aos funcionários do Centro de saúde de José Macamo.....	103
Apêndice 3: Requerimento dirigido à directora do Serviço de Saúde da Cidade de Maputo pedindo autorização para o desenvolvimento da pesquisa no Centro de saúde de José Macamo .....	106
ANEXOS .....	107
Anexo I: Credencial.....	109
Anexo II: Termo de recepção do requerimento pelo Serviço de Saúde da Cidade de Maputo.....	110
Anexo III: Resposta ao pedido de autorização para a realização da pesquisa no Hospital Geral José Macamo pelo Serviço de Saúde da Cidade de Maputo .....	111

Anexo IV: Autorização da realização da pesquisa pela Direcção do Hospital Geral José Macamo .....	112
---	-----

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Etapas da gestão de resíduos hospitalares. ....	33
Figura 2: Simbologia usada na identificação e segregação de resíduos hospitalares. ....	35
Figura 3: Resumo das Tecnologias WTE para o tratamento de resíduos sólidos. ....	49
Figura 4: Localização Geográfica do Hospital Geral José Macamo. ....	50
Figura 5: Fluxograma das etapas da pesquisa. ....	53
Figura 6: Fluxograma do trabalho experimental. ....	54
Figura 7: Processo de separação dos resíduos no laboratório. ....	55
Figura 8: Preparação das amostras-Remoção de etiquetas de papel dos resíduos plásticos. .....	55
Figura 9: Preparação das amostras. ....	56
Figura 10: Amostras de plástico. ....	57
Figura 11: Processo de determinação do teor de humidade nas amostras de papel, papelão e algodão. ....	58
Figura 12: Processo de determinação do teor de sólidos totais nas amostras de papel, papelão e algodão. ....	59
Figura 13: Processo de determinação do teor de sólidos fixos nas amostras de papel, papelão e algodão. ....	60
Figura 14: Processo de determinação do teor de cinzas nas amostras de papel, papelão e algodão. ....	61
Figura 15: Processo de determinação do teor de humidade em amostras de plástico. ....	64
Figura 16: Processo de determinação do teor de matéria volátil em amostras de plástico. .....	65
Figura 17: Processo de determinação do teor de cinzas nas amostras de plástico. ....	66

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Resumo de Poderes caloríficos dos combustíveis de referência .....	43
Tabela 2: Sector de produção de resíduos do centro de saúde e as respectivas categorias de resíduos .....	70
Tabela 3: Resultados da caracterização energética dos resíduos sólidos .....	72

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Comparação do teor de humidade entre as amostras. ....	73
Gráfico 2: Comparação do teor de sólidos voláteis entre as amostras. ....	75
Gráfico 3: Comparação do teor de cinzas entre as amostras. ....	76
Gráfico 4: Comparação do teor de carbono fixo entre as amostras. ....	77
Gráfico 5: Comparação do poder calorífico superior entre as amostras. ....	78
Gráfico 6: Comparação do poder calorífico inferior entre as amostras. ....	79
Gráfico 7: Comparação do potencial energético entre as amostras. ....	81

**LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

% - Percentagem

° C – Graus célcus

A – Teor de Cinzas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

bs – Base seca

bu – Base húmida

C – Carbono

CF – Carbono Fixo

CDR – Combustíveis Derivados de Rejeitos

CH<sub>4</sub> – Metano

CO – Monóxido de carbono

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DA – Digestão Anaeróbica

Dr.<sup>a</sup> – Doutora

FCNM – Faculdade de Ciências Naturais e Matemática

g – Grama

GEE – Gases do Efeito Estufa

H – Hidrogénio

HCl – Cloreto de hidrogénio

HF – Fluoreto de hidrogénio

ISO – Organização Internacional de Normalização

kcal/kg – Quilocaloria por quilograma

L – Litro

Lol – Loss- of- ignition

m – Massa

m<sup>3</sup> – Metro cúbico

mg – Milgrama

MJ/kg – Megajoule por quilograma

N – Nitrogénio

NBR – Norma Brasileira

NO – Monóxido de nitrogénio

ODS – Objectivo de Desenvolvimento Sustentável

PAV – Programa Alargado de Vacinação

PEAD – Polietileno de alta densidade

PEBD – Polietileno de baixa densidade

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

pH – Potencial hidrogeniónico

PNCT – Plano Nacional Contra Tuberculose

PS – Poliestireno

RDC – Resolução da Directoria Colegiada

RH – Resíduos Hospitalares

RS – Resíduos Sólidos

RSS – Resíduos de Serviços de Saúde

SAAJ – Serviço de Adolescentes Amigos e Jovens

SF – Sólidos Fixos

SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre

ST – Sólidos Totais

SV – Sólidos Voláteis

TC – Teor de Cinzas

TH – Teor de Humidade

UPCS – Unidade de Prestação de Cuidados de Saúde

USEPA – United States Environmental Protection Agency

V – Matéria Volátil

$W_M$  – Teor de Humidade

**DECLARAÇÃO SOB COMPROMISSO DE HONRA**

Declaro por minha honra que, esta Monografia é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu Supervisor. O conteúdo desta monografia é autêntico e todas as fontes usadas para consulta, estão devidamente referenciadas no texto e na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho, nunca foi apresentado ou publicado na Universidade Pedagógica de Maputo, nem em nenhuma outra instituição para obtenção de qualquer grau académico.

Maputo, Maio de 2025

---

(Alice da Lucerna Custódio Nhampossa)

**DEDICATÓRIA**

Porque dele, e por meio dele, e para ele são todas as coisas... (Romanos 11:36), dedico esta monografia ao grande Eu Sou, o meu Deus todo Poderoso.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho, resulta de uma grande trajectória trilhada, tal que contou com o apoio de várias pessoas, pelo que, dedico este espaço a agradecer todos os que directa e indirectamente contribuíram para a realização do mesmo.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus porque até aqui tem me guardado e ajudado e sem Ele a trajectória da minha formação teria sido impossível. O Senhor sustentou e abençoou a minha trajectória, nos dias bons e maus Ele foi comigo: Na minha angústia, invoquei o SENHOR, gritei por socorro ao meu Deus. Ele do seu templo ouviu a minha voz, e o meu clamor lhe penetrou os ouvidos (Salmos 18:6).

A minha imensa gratidão, ao meu supervisor, o Mestre Alberto Arnaldo Boane, que muito contribuiu para a realização deste trabalho, desde o início do projecto até aos últimos detalhes, com sabedoria e paciência, orientando-me e dando-me críticas construtivas para a realização do trabalho.

Agradeço aos meus pais Custódio Justino Nhampossa e Beatriz Joaquim Nhaguilunguane e, minhas irmãs Hortência da Tânia Custódio Nhampossa e Erca Custódio Nhampossa pela fé que depositaram em mim desde o princípio, pelo apoio incondicional prestado, por estarem à disposição sempre que eu precisava e por me escutarem. Quando eu pensava em desistir, vocês foram a minha força, muito obrigada.

O meu profundo agradecimento aos meus tios Morgado e Almina pela confiança depositada e por todo o apoio prestado aquando da minha formação. Digo muito obrigada ao meu primo Etivaldo pelo apoio e incentivo.

Sou muito grata aos meus tios Ricardina e Julião e, meus primos por me terem recebido com muito amor e por me incetivarem durante os estudos e durante a realização do trabalho. Estendo a minha gratidão aos meus avós Hortência e Afonso pelo apoio e pelos conselhos dados.

Não poderia deixar de agradecer às minhas amigas Florinda e Gizela que, mais do que amigas, tornaram-se irmãs, por estarem sempre do meu lado, pelo companherismo, pela confiança, pelo apoio, pela força e conselhos dados, não me esquecerei da frase de ordem: “Seja focada, mulher!”. Estendo os meus agradecimentos à turma de Química de 2020 por ter se tornado uma família e em especial à Amélia Jorge Zita por todo apoio e conselhos.

Faço-me deste ensejo para expressar a minha eterna gratidão ao grupo New Gospel pelas orações e por me ter suportado e dado força nos momentos difíceis, muito obrigada e que Deus vos abençoe sempre.

Agradeço à Direcção do Hospital Geral José Macamo por ter autorizado a realização do estudo neste lugar, a todos funcionários do Centro de saúde por me terem recebido e pelos dados fornecidos, em especial à Dr<sup>a</sup>. Anastácia, pelo acompanhamento durante a colecta de dados.

Por último e não menos importante, agradeço aos Docentes do departamento de Química e Biologia, que tanto fizeram para garantir que pudesse aprender, estimo-os bastante. Aos Técnicos de Laboratório o meu muito obrigada, em especial o Técnico Simbine por todo apoio prestado durante a realização das experiências e pela sua paciência.

## RESUMO

A gestão de resíduos sólidos representa um desafio crescente nas grandes cidades, especialmente no ambiente hospitalar, devido à natureza específica desses resíduos que exige tratamento especializado. Por outro lado, a crescente demanda por energia em países em via de desenvolvimento, como Moçambique, tem impulsionado a busca por soluções sustentáveis para geração de energia. Neste contexto, a conversão de resíduos hospitalares em energia, através de tecnologias WTE (Waste to Energy), surge como uma alternativa viável, promissora e alinhada aos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável 6, 7 e 13. Esta pesquisa visa avaliar o potencial energético dos resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo, com a intenção de propor seu aproveitamento como fonte alternativa de energia e, assim, um destino mais eficiente e sustentável dos resíduos. Para isso, foi adoptada uma abordagem metodológica mista (quali e quantitativa), utilizando o método experimental para a determinação de parâmetros físico-químicos como teor de humidade, sólidos totais, sólidos fixos, matéria volátil, teor de cinzas, teor de carbono fixo e poder calorífico superior e inferior. As amostras foram compostas por papel, papelão, algodão e plástico (mistura de PEAD, PEBD e PS em três proporções diferentes), colectadas por amostragem probabilística aleatória simples no Centro de Saúde José Macamo. Os resultados demonstraram que os resíduos apresentam baixos teores de humidade, variando entre 0,2482% e 5%; alta concentração de matéria volátil nos plásticos, variando de 92.15% a 94.72%; elevado teor de carbono fixo no algodão (99.40%), papel (84.20%) e papelão (76.20%); além de valores significativos de poder calorífico, com destaque para o algodão (8399,2152 kcal/kg), papel (7094,1461 kcal/kg) e plásticos (valores superiores a 6900 kcal/kg). Conclui-se com base nos resultados obtidos, que os resíduos analisados possuem alto potencial energético, sendo viável sua utilização em processos de conversão energética, o que contribui para uma gestão mais sustentável dos resíduos sólidos hospitalares e para a produção de energia limpa e acessível.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos hospitalares, Potencial energético, Recuperação energética, WTE.

**ABSTRACT**

The management of solid waste represents a growing challenge in large cities, particularly in hospital environments, due to the specific nature of this waste, which requires specialised treatment. On the other hand, the increasing demand for energy in developing countries, such as Mozambique, has driven the search for sustainable solutions for energy generation. In this context, the conversion of hospital waste into energy through Waste to Energy (WTE) technologies emerges as a viable and promising alternative, aligned with Sustainable Development Goals 6, 7, and 13. This research aims to assess the energy potential of hospital waste generated at the José Macamo Health Centre, with the intention of proposing its use as an alternative energy source, and thereby providing a more efficient and sustainable destination for the waste. To achieve this, a mixed methodological approach (qualitative and quantitative) was adopted, using the experimental method to determine physico-chemical parameters such as moisture content, total solids, fixed solids, volatile matter, ash content, fixed carbon content, and higher and lower calorific values. The samples consisted of paper, cardboard, cotton, and plastic (a mixture of HDPE, LDPE, and PS in three different proportions), collected by simple random probabilistic sampling at the José Macamo Health Centre. The results demonstrated that the waste samples showed low moisture content, ranging from 0.2482% to 5%; high volatile matter concentration in plastics, ranging from 92.15% to 94.72%; high fixed carbon content in cotton (99.40%), paper (84.20%), and cardboard (76.20%); as well as significant calorific values, with highlights including cotton (8399.2152 kcal/kg), paper (7094.1461 kcal/kg), and plastics (values above 6900 kcal/kg). Based on the results obtained, it is concluded that the analysed waste possesses high energy potential, making its use in energy conversion processes feasible, which contributes to a more sustainable management of hospital solid waste and to the production of clean and accessible energy.

**Keywords:** Hospital solid waste, Energy potential, Energy recovery, WTE.

## CAPÍTULO I

### 1.INTRODUÇÃO

Mota *et al.* (2009) afirmam que resíduos sólidos são os restos originados das actividades humanas, sejam elas domésticas ou industriais.

Por outro lado, de acordo com Silva & Cleber (2020), os resíduos sólidos são definidos como todo material, substância, objecto ou bem descartado, resultante de acções humanas na sociedade.

De acordo com Sísino & Oliveira (2006), o consumo é uma das palavras-chave da maioria das sociedades contemporâneas. Como reflexo, a humanidade tem produzido quantidades cada vez maiores de resíduos. Os problemas relacionados com a gestão de resíduos sólidos, portanto, têm se tornado cada vez mais complexos, devido à quantidade e diversidade dos resíduos gerados diariamente.

O crescimento desordenado das áreas urbanas, aliado ao aumento do consumo de bens descartáveis e à limitada capacidade de financiamento para serviços de limpeza urbana, juntamente com a baixa capacidade técnica para a operação desses serviços, exigem que os governos locais intervenham com urgência para minimizar os impactos na saúde pública e na degradação ambiental (LIMA *et al.*, 2018).

Neste contexto, a gestão municipal de resíduos sólidos é um grande desafio enfrentado por muitas das grandes cidades ao redor do mundo. Diante disso, torna-se urgente a implementação de estratégias eficazes de gestão de resíduos, a fim de combater os desafios do desenvolvimento sustentável (WCED, 1987 *apud* ADEROJU, 2019).

Monteiro (2001) destaca que os resíduos biomédicos representam uma fonte significativa de riscos à saúde e ao meio ambiente, principalmente devido à ausência de procedimentos técnicos adequados no manejo das diferentes fracções sólidas e líquidas, como materiais biológicos contaminados, objectos perfurocortantes, peças anatómicas, substâncias tóxicas, inflamáveis e radioactivas.

Bambo (2020:2) observa que os hospitais são estruturas complexas dedicadas à recuperação da saúde dos pacientes, o que demanda uma utilização intensiva de recursos humanos, financeiros, tecnológicos, energéticos e materiais. Esse aumento no consumo de recursos tem levado a um crescimento nos custos com cuidados de saúde e, conseqüentemente, a um aumento na produção de resíduos hospitalares. Além do crescimento relacionado ao maior número de pacientes atendidos diariamente, a produção

de resíduos também está relacionada ao aumento dos Recursos Humanos (RH), à diversidade de especialidades, aos tipos de cuidados prestados, à quantidade de material reutilizado e aos métodos de gestão de resíduos adotados. Diante disso, é evidente a necessidade de implementar um sistema eficaz de gestão de resíduos hospitalares.

Aderoju (2019:3) também enfatiza que o fornecimento de energia elétrica tem sido um dos principais motores do desenvolvimento global, contribuindo para o crescimento socioeconômico, a prosperidade industrial e tecnológica de muitas nações. Em diversos países, a crescente demanda por energia elétrica, impulsionada pelo aumento populacional, tem gerado a necessidade urgente de soluções energéticas alternativas.

Nesse contexto, estudos têm revelado que é possível gerar energia a partir de resíduos sólidos, o que representa uma oportunidade não apenas para a gestão mais eficiente desses resíduos, mas também para mitigar a escassez de energia.

Diante deste cenário, o presente trabalho visa propor alternativas mais sustentáveis para o destino dos resíduos hospitalares gerados no Hospital Geral José Macamo, concretamente, no centro de saúde. Ao integrar soluções que aproveitem o potencial energético desses resíduos, é possível não apenas reduzir os impactos ambientais e na saúde pública, mas também contribuir para a mitigação da escassez de energia, promovendo um ciclo mais sustentável e eficiente de gestão de resíduos.

### **1.1.Problematização**

De acordo com Santos (2013), a evolução constante dos serviços de saúde tem se tornado uma prioridade nas sociedades modernas, o que resultou em um aumento significativo no consumo de cuidados de saúde, medicamentos, dispositivos médicos e seus derivados. Nesse contexto, os hospitais são estruturas cada vez mais complexas, dedicadas à recuperação da saúde dos pacientes, cuja prestação de serviços e cuidados de saúde exige uma utilização intensiva de recursos diversos — humanos, financeiros, tecnológicos e materiais — o que, por sua vez, tem provocado um aumento nos custos com a saúde e, conseqüentemente, na produção de resíduos hospitalares (AFONSO, 2015).

Dados de 2006 apontam que a produção diária de resíduos hospitalares é de cerca de sete quilogramas por cama, dos quais aproximadamente um quilo e meio são resíduos contaminados (BRAGA & MORGADO, 2012:34). Segundo Afonso (2015), o tratamento desses resíduos representa uma grande despesa para as instituições de saúde, uma vez que

a gestão dos resíduos hospitalares é de responsabilidade do próprio gerador. Ou seja, cada Unidade de Prestação de Cuidados de Saúde (UPCS) tem a obrigação de gerir os resíduos que produz, conforme estipulado no Artigo 5º do Decreto-Lei nº 178/2006 de setembro (*apud* ADMINISTRAÇÃO REGIONAL DO ALEGRE, IP).

No entanto, o sistema de gestão de resíduos hospitalares nas unidades de saúde moçambicanas é ainda muito precário. Os resíduos hospitalares são muitas vezes amontoados nas áreas externas dos hospitais, enviados para lixeiras municipais ou incinerados a céu aberto, o que tem gerado sérios problemas ambientais e de saúde pública.

O Hospital Geral José Macamo, é um dos maiores e mais prestigiados do país, localizado em Maputo, e por conseguinte, recebe um grande número de pacientes de diversas regiões de Moçambique, com destaque o centro de saúde e o banco de socorro, gerando por isso, grandes quantidades de resíduos hospitalares, que, em sua maioria, são destinados a aterros sanitários, lixeiras municipais ou incineração. Esta forma de gestão é prejudicial ao meio ambiente e à saúde pública, pois os resíduos misturados podem desencadear reacções químicas, gerando substâncias nocivas ao ambiente e, especialmente, à saúde humana. Além disso, muitos desses resíduos são de difícil decomposição, permanecendo no ambiente por longos períodos, o que causa o acúmulo e, conseqüentemente, diversos problemas ambientais. A incineração, por sua vez, libera gases poluentes que agravam o efeito estufa e afectam a qualidade do ar, prejudicando ainda mais o ambiente e a saúde pública.

O ponto mais crítico nesta questão é o desperdício de uma fonte valiosa de energia. Muitos desses resíduos hospitalares, especialmente os orgânicos e plásticos, possuem um grande potencial energético que, se aproveitado corretamente, poderia contribuir para mitigar a grande demanda por energia no país. Em Moçambique, apesar da abundância de recursos naturais como carvão e gás natural, a infraestrutura para processá-los é insuficiente, o que torna a energia cara e escassa. Assim, os resíduos hospitalares, em vez de serem descartados de forma ineficiente e prejudicial, poderiam ser tratados de maneira que gerassem energia, minimizando os impactos ambientais e melhorando a sustentabilidade do sistema de saúde.

Diante do exposto, surge a seguinte questão: **“Qual é o potencial energético dos resíduos sólidos gerados no Centro de saúde José Macamo?”**

## 1.2. Justificativa da pesquisa

A gestão inadequada dos resíduos sólidos é uma preocupação crescente em todo o mundo, especialmente em contextos urbanos e hospitalares, onde os impactos ambientais e sanitários tendem a ser mais severos. Em particular, os resíduos hospitalares, por sua natureza potencialmente infecciosa e contaminante, requerem métodos de tratamento específicos e eficazes. Em Moçambique, segundo Bambo (2020: 3), a maior parte desses resíduos é descartada em aterros sanitários, enquanto os mais perigosos são incinerados de forma tradicional, sem o devido controle ambiental, o que acarreta sérios riscos à saúde pública e ao meio ambiente. E, os resíduos gerados pelos estabelecimentos de saúde, que são descartados no meio ambiente podem causar problemas ambientais através de agentes contaminantes (FRÖHLICH, 2016).

Paralelamente, o país enfrenta desafios relacionados à produção e ao acesso à energia, especialmente em sectores essenciais como o da saúde. Spiro e Stigliani (2009:3) destacam que a energia está directamente ligada a todas as questões ambientais e é um factor determinante para o desenvolvimento económico e a melhoria das condições de vida da população. A crise energética, combinada com a má gestão de resíduos, evidencia a necessidade de soluções inovadoras, sustentáveis e integradas.

Nesse sentido, a valorização energética dos resíduos hospitalares por meio de tecnologias Waste-to-Energy (WTE) representa uma alternativa promissora, pois alia o tratamento seguro dos resíduos à geração de energia limpa. Estudos indicam que os resíduos sólidos possuem alto potencial energético, o que os torna uma fonte viável de energia renovável, especialmente em locais onde há demanda contínua, como os hospitais e, revelam ainda que, diversos tipos de resíduos sólidos hospitalares possuem elevado poder calorífico, o que os torna fontes viáveis para a conversão energética. Por exemplo, de acordo com Silva *et al.* (2019), materiais como papel, algodão e plástico – amplamente utilizados em ambientes hospitalares – apresentam altos valores de poder calorífico superior (PCS), com potencial de geração de energia térmica e eléctrica por meio da incineração controlada ou gaseificação.

Conforme Oliveira *et al.* (2018), o plástico hospitalar pode alcançar valores de PCS superiores a 30 MJ/kg, enquanto o papel e o algodão apresentam valores em torno de 15 a 20 MJ/kg, comparáveis aos de biomassa vegetal. Isso demonstra que esses materiais, quando separados de resíduos infecciosos e devidamente tratados, são adequados para processos termoquímicos de geração energética.

Além disso, essa solução contribui para a redução da quantidade de resíduos enviados a aterros, diminuição das emissões de gases poluentes e otimização do uso de recursos.

A escolha dessas três amostras – papel, algodão e plástico – foi motivada por sua elevada frequência nos resíduos sólidos hospitalares, seu elevado poder calorífico, característica essencial para um bom desempenho nos sistemas WTE e relativa segurança no manuseio, por serem resíduos não infecciosos, o que viabiliza sua triagem e tratamento com menor risco biológico. Além disso, são resíduos relativamente menos contaminados quando comparados com materiais infecciosos, o que facilita o seu pré-tratamento e processamento, reduzindo os riscos ambientais e sanitários.

Esses materiais são largamente utilizados em hospitais: papel em documentos, embalagens e lenços; algodão em curativos, gazes e absorventes; e plástico em seringas, embalagens de medicamentos, frascos, sacos e diversos descartáveis. Por apresentarem baixa humidade e alta densidade energética, tornam-se ideais para processos termoquímicos como a incineração com recuperação de energia, pirólise e gaseificação.

De acordo com Corrêa (2012), o reaproveitamento destes resíduos constitui um factor de preservação e optimização dos aterros sanitários assim como a maximização de uso da matéria-prima, evitando seu desperdício.

Assim, esta pesquisa justifica-se pela necessidade urgente de se encontrar soluções sustentáveis para a gestão de resíduos hospitalares em Moçambique, com foco no Hospital Geral José Macamo, visando não apenas mitigar os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado, mas também contribuir para a segurança energética da unidade hospitalar, promovendo um modelo de gestão mais eficiente, limpo e economicamente viável.

### **1.3. Relevância da pesquisa**

Considerando que os problemas ambientais são uma realidade cujas consequências são cada vez mais visíveis, este estudo revela-se de grande relevância, especialmente por abordar uma temática ainda pouco explorada: a gestão sustentável de resíduos hospitalares por meio da produção de energia.

A presente pesquisa é relevante por integrar questões ambientais, energéticas, económicas e sanitárias em uma proposta inovadora e sustentável: a valorização energética de

resíduos hospitalares por meio de tecnologias Waste-to-Energy (WTE). Em Moçambique, a gestão de resíduos hospitalares ainda enfrenta sérios desafios, com práticas inadequadas como o descarte em aterros ou a incineração a céu aberto, que resultam em impactos ambientais significativos e riscos à saúde pública.

Na vertente ambiental, o estudo contribui para a redução da poluição atmosférica e do solo, evitando a emissão de gases tóxicos como dioxinas e furanos e, gases de efeito estufa como o Dióxido de carbono e vapor de água, provenientes da queima descontrolada de resíduos hospitalares. Ao promover o reaproveitamento desses resíduos como fonte energética, a pesquisa favorece uma gestão mais sustentável, alinhada aos princípios da economia circular e dos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), 7 (Energia Limpa e Acessível) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis).

Do ponto de vista económico, importa referir que, segundo as diretrizes ambientais e sanitárias, a responsabilidade da gestão dos resíduos hospitalares recai sobre os próprios estabelecimentos que os geram, o que impõe encargos significativos. Deste modo, a pesquisa oferece uma alternativa viável para a redução de custos com o tratamento e destinação final de resíduos, além de possibilitar o aproveitamento energético dentro da própria instituição hospitalar e, isso representa uma economia significativa para o sistema de saúde pública, que poderá investir os recursos poupados em outras áreas prioritárias.

No contexto social e sanitário, a proposta busca minimizar os riscos de contaminação e disseminação de doenças, especialmente em comunidades próximas aos locais de descarte. A melhoria das práticas de gestão de resíduos hospitalares tem um impacto directo na protecção da saúde da população e dos trabalhadores da área da saúde.

Ademais, a pesquisa faz-se academicamente relevante, ao preencher uma lacuna no campo de estudos sobre o aproveitamento energético de resíduos hospitalares em contextos africanos, podendo servir como base para futuras investigações, políticas públicas e inovações tecnológicas voltadas à sustentabilidade hospitalar.

Neste âmbito, a relevância deste estudo reside em sua capacidade de propor soluções reais e aplicáveis para um problema urgente e multifacetado, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, o fortalecimento do sistema de saúde e o avanço do conhecimento científico na área de gestão de resíduos e energia renovável.

## **1.4. Objectivos**

### **1.4.1. Objectivo geral**

Avaliar o potencial energético dos resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo.

### **1.4.2. Objectivos específicos**

1. Caracterizar o sistema de gestão de resíduos do Centro de Saúde José Macamo;
2. Caracterizar físico-quimicamente os resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo;
3. Comparar os potenciais energéticos dos resíduos sólidos gerados no Centro de Saúde José Macamo;
4. Discutir a viabilidade da produção de energia a partir dos resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo.

## **1.5. Questões de pesquisa**

1. Qual é o sistema de gestão de resíduos hospitalares no Centro de Saúde José Macamo?
2. Quais são as características físico-químicas dos resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo?
3. Qual é o potencial energético dos resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo?
4. Será viável, produzir energia a partir dos resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo?

## **1.6. Hipóteses**

1.  $H_1$ : O Centro de Saúde José Macamo, possui um sistema de gestão de resíduos hospitalares ineficiente e insustentável, com práticas inadequadas de armazenamento, transporte e descarte, o que contribui para impactos ambientais negativos e riscos à saúde pública.

$H_0$ : O Centro de Saúde José Macamo não possui um sistema de gestão de resíduos hospitalares ineficiente e insustentável com práticas inadequadas de armazenamento,

transporte e descarte, pelo que, não tem impactos ambientais negativos nem riscos à saúde pública.

2. H<sub>1</sub>: Os resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo apresentam uma composição diversificada, incluindo resíduos orgânicos, plásticos, materiais biológicos, materiais perfuro-cortantes, substâncias químicas e vidro, cujas características físico-químicas são: teor de humidade, sólidos totais, sólidos fixos e voláteis, teor de cinzas e carbono fixo.

H<sub>0</sub>: Os resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo não apresentam uma composição diversificada, incluindo resíduos orgânicos, plásticos, materiais biológicos, materiais perfuro-cortantes, substâncias químicas e vidro, e, teor de humidade, sólidos totais, sólidos fixos e voláteis, teor de cinzas e carbono fixo, não são suas características físico-químicas.

3. H<sub>1</sub>: Os resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo, especialmente os orgânicos e plásticos, possuem um grande potencial energético, podendo por isso, ser utilizados em processos de produção de biogás, incineração e outros métodos de valorização energética de resíduos sólidos.

H<sub>0</sub>: Os resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo, especialmente os resíduos orgânicos e plásticos, não possuem grande potencial energético e, por isso, não podem ser utilizados em processos de produção de biogás, incineração ou outros métodos de valorização energética de resíduos sólidos.

4. H<sub>1</sub>: A produção de energia a partir dos resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo é viável, podendo reduzir a quantidade de resíduos dispostos de forma inadequada, diminuir os impactos ambientais negativos e contribuir para a geração sustentável de energia, com mínima emissão de poluentes.

H<sub>0</sub>: A produção de energia a partir de resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo não é viável, pois, não pode reduzir a quantidade dos resíduos dispostos de forma inadequada, nem diminuir os impactos ambientais negativos e, não contribui para a geração sustentável de energia, com mínima emissão de poluentes.

### **1.7. Delimitação do tema**

A pesquisa em pauta tem como tema: Avaliação do Potencial Energético de Resíduos Sólidos Hospitalares: Uma Contribuição para a Valorização Energética e Gestão Sustentável de Resíduos Gerados no Centro de Saúde José Macamo, tal que foi desenvolvida no Hospital Geral José Macamo, concretamente, no Centro de saúde, tendo as amostras sido analisadas na Universidade Pedagógica de Maputo, no laboratório de Química da Faculdade de Ciências Naturais e Matemáticas.

Importa referir que esta pesquisa enquadra-se na linha de pesquisa Química Ambiental, estando virada ao uso de resíduos sólidos para a geração de energia.

### **1.8. Questões éticas da pesquisa**

É de referir que, de modo a preservar a imagem do hospital (centro de saúde) em que a pesquisa foi desenvolvida, foi estritamente proibido fazer fotografias no recinto hospitalar, razão pela qual, ao longo do trabalho, não há imagens do hospital.

Ademais, como forma de preservar a integridade e imagem dos funcionários do hospital e centro de saúde, estes não foram mencionados.

## **CAPÍTULO II**

### **2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **2.1. Resíduos sólidos- definição e classificação**

De acordo com Silva & Cleber (2020), os resíduos sólidos são definidos como todo material, substância, objecto ou bem descartado, resultante de acções humanas na sociedade.

Segundo Vertown (2022), os resíduos sólidos podem ser classificados quanto à natureza física, a composição química, aos riscos potenciais ao meio ambiente e ainda quanto à origem.

A classificação dos RSS (resíduos de serviços de saúde) vem sofrendo um processo de evolução contínuo, na medida em que são introduzidos novos tipos de resíduos nas unidades de saúde e como resultado do conhecimento do comportamento destes perante o meio ambiente e a saúde (COSTA, 2009).

Quanto à origem, os resíduos sólidos podem ser:

- ✓ Resíduos hospitalares;
- ✓ Agrícolas;
- ✓ Industriais;
- ✓ Da construção civil;
- ✓ De varrição;
- ✓ Comerciais;
- ✓ Domésticos.

##### **2.1.1. Resíduos hospitalares**

De acordo com o Decreto-Lei n° 239/97 *apud* Despacho n° 242/96, resíduos hospitalares, são os que se produzem em Unidades de Prestação de Serviços de Saúde (UPCS), incluindo as actividades médicas de diagnóstico, tratamento e prevenção da doença em seres humanos ou animais, e ainda as actividades de investigação relacionadas. É o lixo resultante das actividades de diagnóstico, tratamento e investigação humana e veterinária, segundo o Decreto n° 8/2003 de 18 de Fevereiro, Regulamento sobre a gestão de lixos bio-médicos, Moçambique.

Os resíduos biomédicos possuem uma heterogeneidade extensa devido a várias actividades realizadas nas unidades sanitárias. Portanto, o manuseamento destes resíduos requer o conhecimento das suas características físicas, químicas e biológicas (IBAM, 2001).

#### 2.1.1.1. Classificação Dos Resíduos Hospitalares

A classificação facilita uma segregação apropriada dos resíduos, reduzindo riscos de saúde e gastos na sua gestão, uma vez que os sistemas mais seguros e dispendiosos destinam-se apenas à alguma fracção de resíduos e não para todos (OPAS, 1997 *apud* BAMBO, 2020).

Assim, a United States Environmental Protection Agency (USEPA) classifica os resíduos hospitalares em seis categorias:

- ✓ **Culturas:** culturas de agentes infecciosos e biológicos provenientes de laboratórios, resíduos resultantes da produção de produtos biológicos, pratos de cultura e dispositivos usados para transferir, inocular e misturar culturas.
- ✓ **Resíduos patológicos e quimioterapêuticos:** resíduos patológicos humanos, incluindo tecidos, órgãos e partes e fluidos corporais que são removidos durante cirurgias ou autópsias ou outros procedimentos médicos.
- ✓ **Resíduos contaminados com sangue:** sangue humano, produtos que contenham vestígios de sangue, soro, plasma.
- ✓ **Objectos cortantes:** usados em cuidados de saúde ou em laboratórios médicos, de investigação ou industriais, incluindo agulhas hipodérmicas, seringas, pipetas de Pasteur, lâminas de bisturi, frascos de sangue, agulhas com tubulação conectada e pratos de cultura, independentemente da presença de agentes infecciosos.
- ✓ **Resíduos de animais:** carcaças de animais contaminadas, partes do corpo e camas de animais que foram expostos a agentes infecciosos, resíduos provenientes de actividades de investigação (incluindo investigação em hospitais veterinários).
- ✓ **Resíduos de isolamento:** resíduos biológicos e descartados contaminados com sangue, excreções e secreções de seres humanos isolados.

Por outro lado, a RDC ANVISA nº 306/2004 e Resolução CONAMA nº 358/2005 citadas por ANVISA (2006), classifica os resíduos de serviços de saúde em cinco categorias : A, B, C, D e E.

- ✓ **Grupo A (potencialmente infectantes):** engloba os componentes com possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, apresentando risco de infecção. Exemplos: carcaças, peças anatómicas, tecidos, bolsas transfusionais contendo sangue, dentre outras.
- ✓ **Grupo B (químicos):** contém substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reactividade e toxicidade. Ex: Medicamentos apreendidos, reagentes de laboratório, resíduos contendo metais pesados, substâncias para a revelação de filmes de Raio-X, dentre outros.
- ✓ **Grupo C (rejeitos radioactivos):** quaisquer materiais resultantes de actividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação, como por exemplo, serviços de medicina nuclear e radioterapia, etc.
- ✓ **Grupo D (resíduos comuns):** qualquer lixo que não tenha sido contaminado ou possa provocar acidentes. Não apresenta risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares. Ex: sobras de alimentos e do preparo de alimentos, resíduos das áreas administrativas, gesso, luvas não contaminadas, gases, materiais, passíveis de reciclagem, etc.
- ✓ **Grupo E (perfurocortantes):** objectos e instrumentos que possam cortar ou furar, tais como lâminas de barbear, agulhas, ampolas de vidro, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas, espátulas e outros similares.

Segundo o Decreto nº 8/2003 de 18 de Fevereiro, Regulamento sobre a gestão de lixos bio-médicos, os resíduos hospitalares podem ser:

✓ **Lixo infeccioso**

É qualquer tipo de lixo que tenha entrado em contacto com tecidos humanos, sangue ou fluídos do corpo humano e animal. O lixo infeccioso pode também ser designado como contaminado, lixo patológico, lixo bio-prejudicial ou qualquer outra terminologia usada para descrever lixo infeccioso. Fazem parte desta categoria, os seguintes resíduos: ligaduras, almofadas ou papel infectado com tecidos, sangue ou fluídos do corpo; fraldas;

sacos de sangue; tubos naso-gástricos; tubos de drenagem; recipientes de esputo; sacos de drenagem; seringas sem agulhas.

✓ **Lixo comum**

É todo o lixo que não tenha estado em contacto ou sido contaminado por tecido humano, sangue ou outros fluídos corporais, e que não esteja incluso em qualquer das outras categorias. Fazem parte desta categoria, os seguintes resíduos: resíduos de cozinha, restos de comida, latas de bebidas, vidro e garrafas plásticas; material orgânico de origem não humana; jornais ou revistas, material de embrulho, embrulho de comida; pacotes de cigarros ou tabaco, beatas de cigarros, papel de escritório; toalhas de papel não contaminadas, lapiseiras, lápis, borrachas e cartuchos de impressoras usadas.

✓ **Lixo de medicamentos**

É todo o lixo constituído por produtos farmacêuticos fora de prazo, que não tenham outra utilidade para os pacientes ou unidades sanitárias, ou por materiais ou substâncias produzidas durante o fabrico e administração de produtos farmacêuticos, excluindo os citotóxicos.

✓ **Lixo de medicamentos citotóxicos**

É o lixo constituído por medicamentos citotóxicos usados no tratamento de doenças cancerígenas, fora de prazo ou que não tenham outra utilidade para os pacientes ou unidades sanitárias.

✓ **Lixo radioactivo**

É qualquer material contaminado por rádio-isótopos.

✓ **Lixo cortante e / ou perfurante**

É o lixo constituído por objectos ou dispositivos usados ou descartados possuindo extremidades, gumes, pontas ou protuberâncias rígidas e agudas que podem cortar, picar ou perfurar a pele humana.

✓ **Lixo Anatómico**

É todo o lixo constituído por fluídos, despojos de tecidos, órgãos, membros, partes de órgãos ou membros de seres humanos e animais de qualquer espécie, que são removidos ou libertados durante cirurgias, partos, biópsias ou autópsias. São alguns exemplos de resíduos anatómicos, os seguintes: tecido humano, órgãos ou parte de órgãos; membros

ou parte de membros dos seres humanos, fetos e placentas; amostras de biópsias; dentes; grandes quantidades de sangue ou de fluído contaminado com sangue.

#### ✓ **Outro tipo de lixo**

É todo o lixo constituído por pequenas quantidades de lixo específico que o potencial de criar riscos especiais e que pode ser produzido em algumas unidades sanitárias com serviços altamente especializados.

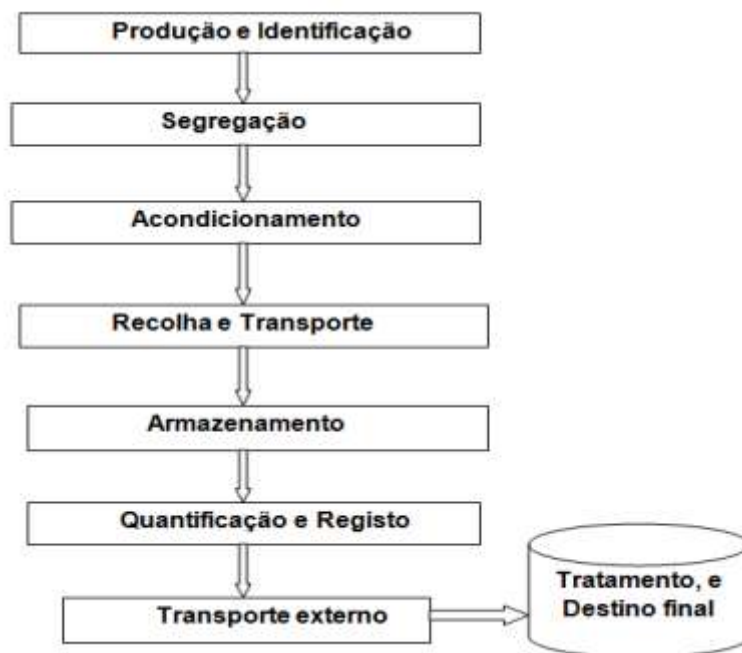
#### **2.1.1.2. Gestão de resíduos hospitalares**

Os resíduos de serviço de saúde, devido ao potencial risco de contaminação, degradação e poluição ao meio ambiente, e o potencial risco de infecções à população, devem receber atenção especial, tanto com técnicas correctas de manejo, quanto à sua gestão, isto é, desde a geração até seu destino final. Deste modo, observa-se a necessidade do rigor na observação das técnicas correctas de manejo dos resíduos de serviço de saúde, visando garantir tanto a segurança dos pacientes, visitantes e funcionários nos hospitais, como a protecção da saúde da população e do ambiente externo (SOUZA, 2011).

Segundo a ANVISA n<sup>o</sup> 306 (2004) apud Bambo (2020), a gestão dos Resíduos Hospitalares consiste em um conjunto de procedimentos planejados e implementados, a partir de bases científicas e técnicas, normativas e legais. Tem o objectivo de minimizar a geração de resíduos e proporcionar aos mesmos um manejo seguro, de forma eficiente, visando a protecção dos trabalhadores, a preservação da saúde, dos recursos naturais e do meio ambiente.

Com a planificação, a adequação dos procedimentos de manejo, o sistema de sinalização e o uso de equipamentos apropriados, não só é possível diminuir os riscos, como reduzir as quantidades de resíduos a serem tratados e, ainda, promover o reaproveitamento de grande parte dos mesmos pela segregação de boa parte dos materiais recicláveis, reduzindo os custos de seu tratamento e disposição final que normalmente são altos (ANVISA, 2006).

Segundo a ANVISA (2004) apud Bambo (2020), as etapas da gestão de Resíduos hospitalares são:



**Figura 1:** Etapas da gestão de resíduos hospitalares.

**Fonte:** ANVISA (2004) apud Bambo (2020)

#### **a) Produção de Resíduos Hospitalares**

Os RH são produzidos através actividades médicas como prevenção, diagnóstico, tratamento e investigação, assim como a prestação de cuidados de saúde animal. A quantidade de resíduos biomédicos gerados numa unidade sanitária, depende de entre vários factores, das actividades que nela se desenvolvem, da quantidade de serviços médicos oferecidos na unidade sanitária, do grau de complexidade da atenção prestada, do tamanho da unidade sanitária, da proporção de pacientes externos atendidos e do número de profissionais envolvidos, não sendo fácil, portanto, estabelecer relações simples que permitem estimar a quantidade de resíduos biomédicos produzidos por uma unidade sanitária de tal diversidade de factores, diz TAVARES (2004).

Na concepção de Afonso (2015), os produtores de RH podem ser classificados como grandes ou pequenos, de acordo com as quantidades produzidas. Os hospitais fazem parte do grupo dos grandes produtores de RH. A quantidade total de RH gerada é bastante variável, estando fortemente relacionada com a dimensão e do número/tipo de valências de cada unidade produtora de resíduos hospitalares.

Por outro lado, Ferreira (2009) afirma que a prevenção da produção de RH pode ser conseguida através da redução na fonte, ou seja, através da aplicação de restrições de forma a assegurar a selecção de produtos e de métodos menos tóxicos ou que produzam

menos resíduos; da utilização de materiais que possam ser reciclados, no próprio local ou fora do local; e da triagem adequada de RH dos diferentes grupos, levando à diminuição da sua produção.

### **b) Segregação de Resíduos Hospitalares**

Segundo Bambo (2020), a segregação consiste na separação dos resíduos no momento e local de sua geração, de acordo com as características físicas, químicas, biológicas, estado físico e riscos envolvidos. É obrigatória a segregação dos resíduos na fonte e no momento da geração, de acordo com suas características, para fins de redução do volume dos resíduos a serem tratados e dispostos, garantindo a protecção da saúde e do meio ambiente.

Como se lê em Gonçalves (2005), se a segregação de resíduos hospitalares for mal conduzida, os resíduos não poderão voltar a ser colocados no contentor certo, pelo que todos os utentes e funcionários das unidades produtoras devem estar informados e ter consciência do quão é importante uma boa prática de segregação.

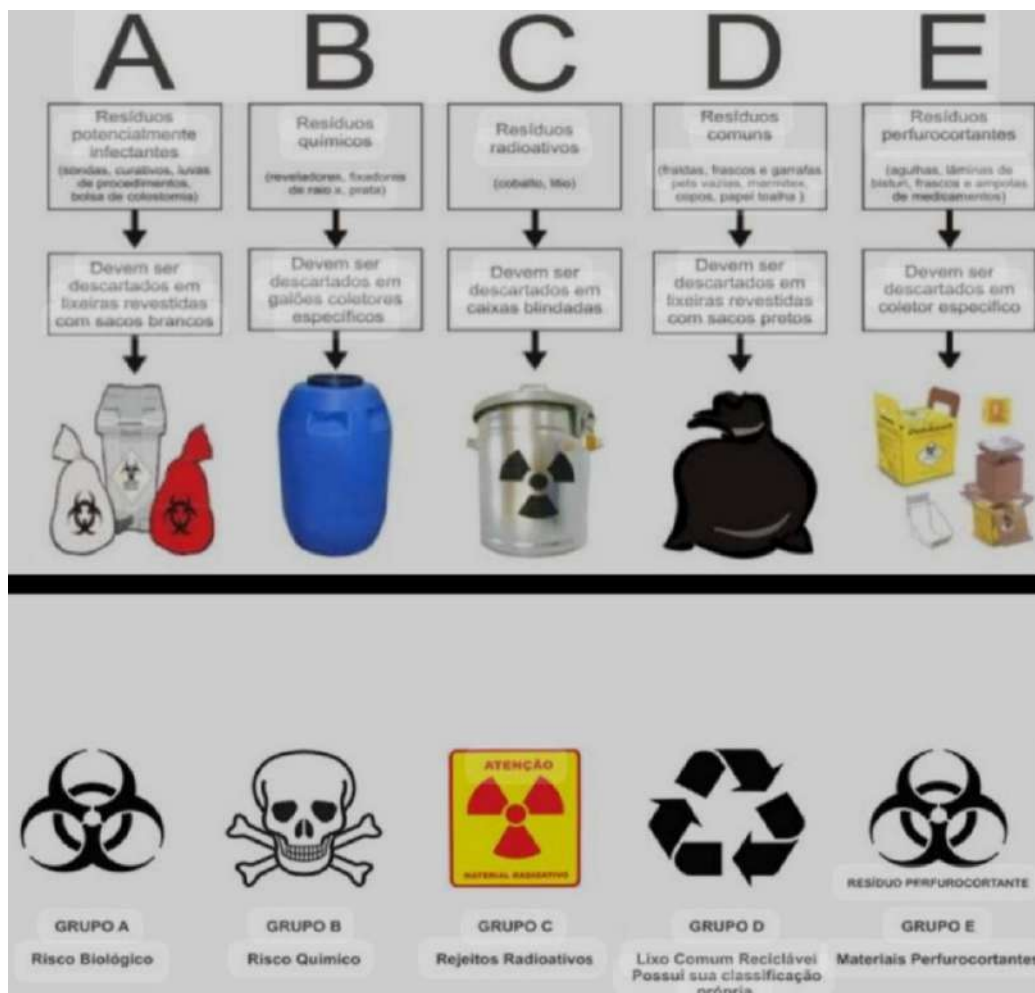
Esta fase constitui uma das principais etapas na gestão dos RH, uma vez que condiciona o correcto funcionamento de todas as fases seguintes. Esta operação é a base de uma gestão integrada dos resíduos hospitalares nas unidades produtoras, pois dela depende a redução dos riscos para a saúde e para o ambiente associados a potenciais contaminações, resultantes do cruzamento de resíduos com risco biológico associado e ou de incineração obrigatória, induzidas por circuitos inapropriados ou resultantes de misturas inadvertidas ou, ainda, por falta de formação ou informação dos profissionais envolvidos (DGS, 2014).

De acordo com o Decreto nº 8/2003 de 18 de Fevereiro, o lixo bio-médico deverá ser segregado de acordo com a sua periculosidade, devendo cada unidade sanitária e empresa manuseadora de lixos dispor, no mínimo, de condições de acondicionamento para as seguintes categorias de lixo:

1. Lixo infeccioso;
2. Lixo cortante e/ou perfurante;
3. Lixo anatómico;
4. Lixo comum;

## 5. Outro tipo de lixo.

Ademais, Bambo (2020) afirma ainda que ter embalagens e locais específicos, sendo eles identificados em todos os locais geradores para cada tipo de resíduo, proporciona êxito à segregação.



**Figura 2:** Simbologia usada na identificação e segregação de resíduos hospitalares.

Fonte: ANVISA(2006)

### c) Acondicionamento de Resíduos Hospitalares

De acordo com a ANVISA (2006), o acondicionamento dos resíduos consiste no acto de embalar os resíduos segregados, em sacos ou recipientes. A capacidade dos recipientes de acondicionamento deve ser compatível com a geração diária de cada tipo de resíduo.

Ademais, Tavares (2004) afirma que o acondicionamento dos resíduos na origem, para além de diminuir os riscos para a saúde, facilita as operações de recolha para o transporte

interno até ao seu armazenamento, sem prejudicar o desenvolvimento normal das actividades da unidade de saúde. Entretanto, para tal deve dispor-se de recipientes apropriados para cada tipo de resíduo. Assim, os sacos e contentores de cada bloco operatório, enfermaria ou sala, ou outro local onde se pratique cuidados de saúde, deverão estar devidamente identificados e nos recipientes deve constar a referência da sala a que pertencem, tal proporcionará a monitorização das produções.

Os resíduos sólidos devem ser acondicionados em saco constituído de material resistente a roptura e vazamento, impermeável, respeitados os limites de peso de cada saco, sendo proibido o seu esvaziamento ou reaproveitamento (BAMBO, 2020).

Segundo o Decreto nº 8/2003 de 18 de Fevereiro, os resíduos sólidos devem ser acodicionados em recipientes devidamente identificados nas seguintes categorias:

1. Lixo infeccioso;
2. Lixo cortante e/ou perfurante;
3. Lixo anatómico;
4. Lixo comum;
5. Outro tipo de lixo.

#### **d) Recolha e transporte interno de Resíduos Hospitalares**

A recolha e transporte interno dos RH consistem no traslado dos resíduos dos pontos de geração até local destinado ao armazenamento temporário ou armazenamento externo, com a finalidade de disponibilização para a recolha. É nesta fase que o processo se torna visível para o usuário e o público em geral, pois os resíduos são transportados nos equipamentos de recolha (carros de recolha) em áreas comuns (ANVISA, 2006).

Como se lê em Tavares (2004), a recolha interna dos resíduos hospitalares deve ser adequada aos serviços produtores, à quantidade produzida e à natureza dos resíduos recolhidos, devendo estar prevista pelo menos uma recolha diária e, a frequência das recolhas deve ser programada tendo em atenção dois factores essenciais: por um lado, a disponibilidade de espaço físico de armazenamento temporário de resíduos nos serviços onde são produzidos e, por outro, a disponibilidade de mão-de-obra para efectuar essas mesmas recolhas internas.

Por outro lado, o transporte dos resíduos dos pontos de geração até o local destinado ao armazenamento temporário ou ao armazenamento externo com a finalidade de apresentação para a colecta (CALISTO, 2017 *apud* BAMBO, 2020).

O Decreto nº 8/2003 de 18 de Fevereiro estipula que o transporte de lixos bio-médicos no interior das unidades sanitárias, desde o ponto da sua geração até aos locais de armazenamento, tratamento e deposição deverá ser feito através de carroças ou carrinhas que tenham uma base e paredes sólidas e que possam conter fluídos.

Ademais, o transporte interno nunca deverá ser feito por um método que recorra à acção da gravidade, pela possibilidade do rebentamento dos recipientes e posterior derramamento dos resíduos, com todos os inconvenientes e riscos que daí podem advir (CAETANO, 2002 *apud* TAVARES, 2004).

#### **e) Armazenamento temporário de Resíduos Hospitalares**

Consiste na guarda temporária dos recipientes contendo os resíduos já acondicionados, em local próximo aos pontos de geração, visando agilizar a recolha dentro do estabelecimento e otimizar o deslocamento entre os pontos geradores e o ponto destinado à disponibilização para recolha externa (ANVISA, 2006).

Ademais, o Decreto nº 8/2003 de 18 de Fevereiro diz que todo o lixo bio-médico deverá ser armazenado num local seguro onde o acesso para o pessoal da unidade sanitária é restrito e o acesso para os doentes e demais público em geral é proibido.

O local de armazenamento não deve estar localizado junto a áreas de armazenamento de alimentos e deve estar separado de áreas de armazenamento de material clínico, de medicamentos, de consumo e vestuário, no sentido de evitar infecções cruzadas (COSTA *et al.*, 2013).

#### **f) Quantificação e Registo de Resíduos Hospitalares**

De acordo com Pugliese (2010) *apud* Bambo (2020), a quantificação dos RH consiste na análise da quantidade total dos resíduos produzidos em uma unidade sanitária, é um dado importante para a gestão integrada dos RH, pois para elaborar projectos de armazenamento, a colecta, transporte, tratamento, valorização e destino final de resíduos hospitalares, é necessário o conhecimento da quantidade dos resíduos produzidos pela

unidade sanitária geradora. Durante a quantificação dos resíduos pode ser feita considerando-se a massa (kg) e/ou volume (L). Só mediante o conhecimento real dos quantitativos produzidos na unidade sanitária é possível efectuar-se uma adequada gestão integrada (TAVARES, 2004).

É de referir que para além de quantificar, os resíduos devem também ser registados. Tavares (2004) afirma ainda que, o registo abrange todos os resíduos produzidos – quantidade e tipo – armazenados, transportados, tratados, valorizados ou eliminados e também a sua origem e destino, bem como a identificação da operação efectuada.

#### **g) Transporte externo de Resíduos Hospitalares**

Como se lê em Afonso (2015), o transporte no exterior dos centros produtores é realizado sempre que o tratamento/eliminação é realizado fora da unidade sanitária e, este deve ser realizado por veículos de caixa fechada e seguras, para que o transporte de resíduos seja efectuado com o mínimo de riscos.

De acordo com Santos (2008), as unidades sanitárias devem conhecer e fiscalizar as condições de transporte, a quantidade dos resíduos transportados e o seu destino. Assim, durante o acto de recolha para transporte externo dos RH deverá estar sempre presente um representante da unidade sanitária, que acompanha o profissional da empresa contratada para o transporte de forma a fiscalizar o processo.

#### **h) Tratamento e deposição final de Resíduos Hospitalares**

Segundo ANVISA (2006), tratamento dos resíduos sólidos, de forma genérica, consiste em quaisquer processos manuais, mecânicos, físicos, químicos ou biológicos que alterem as características dos resíduos, visando a minimização do risco à saúde, a preservação da qualidade do meio ambiente, a segurança e a saúde do trabalhador.

Para que os resíduos hospitalares sejam devidamente tratados é necessário que o processo de tratamento seja efectuado de acordo com as características dos resíduos e tendo em conta custos económicos e impactos ambientais. Assim sendo, para que se determine que processo deve ser usado para o tratamento de determinado tipo de resíduos deve ter-se em conta a capacidade do mesmo reduzir grandemente o número de microrganismos, a fim de que a saúde pública não seja posta em risco. É, ainda, necessário que a escolha do

processo tenha em conta que a intenção é tornar os objectos mais perigosos (por exemplo os cortantes) em objectos irreconhecíveis e o volume e a massa deverão ser reduzidos ao máximo, para que as infraestruturas que irão albergar tais resíduos tenham capacidade para o fazer (COSTA *et al.*, 2013).

### **2.1.1.3. Características dos Resíduos Hospitalares**

De acordo com Ibam (2001), os resíduos biomédicos possuem uma heterogeneidade extensa devido às várias actividades realizadas nas unidades sanitárias. Portanto, o manuseio destes resíduos requer o conhecimento das suas características físicas, químicas e biológicas. Dentre os quais destacam-se as seguintes características:

#### **a) Características físicas**

Referem-se às composições físicas (percentagem de cada componente em relação ao peso total dos resíduos), teor de humidade e peso específico aparente (razão entre a massa e o volume do resíduo) (BARROS, 2012).

##### **✓ Composição física ou gravimétrica**

Segundo Monteiro (2001), a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos constitui a tradicional determinação dos materiais presentes nos resíduos e do percentual que os mesmos ocorrem em relação ao total produzido. Refere-se às percentagens das várias fracções normalmente presentes nos resíduos domésticos de uma área geográfica, tais como papel, papelão, plástico mole, plástico duro, metal ferroso/alumínio, vidro, matéria orgânica e outros constituintes.

##### **✓ Teor de Humidade**

Segundo Ibam (2001), é a quantidade de água presente numa amostra de resíduos, medida em percentagem em função do peso da amostra. Nogueira (2003) *apud* Mabasso & Boane (2024), afirma que este parâmetro pode ser expresso tanto na base húmida (bu) quanto na base seca (bs), a qual pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e logo após ser submetida à secagem. O Teor de Humidade influencia de forma negativa no valor do Poder Calorífico, pelo que, é de extrema importância que os resíduos possuam menores valores de humidade, visto que altos valores impedem que o material alcance bons rendimentos como combustível (BEZERRA, 2016).

Neste contexto, Carneiro (2012) afirma que, para que a compactação das partículas ocorra com êxito, há necessidade que a sua humidade esteja na faixa compreendida entre 8% e 15%. Ademais, Gonçalves *et al.* (2009) *apud* Mabasso & Boane (2024) sugere um teor de humidade de 15-20% para a queima, visto que os valores superiores reduzem o valor do calor de combustão, a temperatura da câmara de queima e a temperatura dos gases de escape.

#### ✓ **Sólidos Totais**

Os sólidos totais correspondem ao conteúdo da matéria mineral que resulta da calcinação da amostra. Esse parâmetro serve para monitorizar o grau de estabilização da matéria orgânica (SIMANGO & BOANE, 2023).

#### ✓ **Sólidos Fixos**

Como se lê em Boane (2017), correspondem aos resíduos resultantes da eliminação total de Sólidos Voláteis por calcinação de Sólidos Totais.

#### ✓ **Sólidos voláteis**

A matéria volátil de um combustível de resíduos sólidos é o vapor libertado quando o combustível é aquecido (MACAMO & BOANE, 2023).

Ademais, na concepção de McKendry (2002) o teor de sólidos voláteis é a parte do resíduo que evapora como um gás (incluindo humidade) por aquecimento, ou seja, o teor de voláteis é quantificado medindo-se a fracção de massa da resíduo que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850°C.

Como se lê em Blanco (2013), o teor de matéria volátil é a parte do combustível que se separa na forma de gases quando o combustível é submetido a um teste padrão de aquecimento. Comumente, composto por gases combustíveis, como por exemplo: metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrogénio (H<sub>2</sub>) e de gases não combustíveis. Assim, os materiais voláteis influenciam nas etapas de ignição e início da combustão do material, expressando, deste modo, a reactividade do material combustível, ou seja, a facilidade com que o combustível pode ser inflamado e convertido termicamente, de tal forma que, quanto maior for este teor de materiais voláteis, maior será a sua reactividade e, assim, mais rápida será também a ignição.

#### ✓ **Peso específico aparente**

É o peso dos resíduos soltos (não compactados) em relação ao volume que ocupam. É expresso em  $\text{Kg/m}^3$ , o peso específico ou densidade aparente é importante para a determinação das dimensões dos equipamentos de deposição e de transporte, bem como as zonas de recepção dos resíduos nos destinos finais (IBAM, 2001).

#### ✓ **Teor de cinzas**

Lourinho (2012), afirma que as cinzas constituem os resíduos após a completa queima do combustível no processo de combustão dos componentes orgânicos e oxidações dos inorgânicos. Dessa forma, as cinzas são o resultado da combustão de resíduos, sendo necessário o seu conhecimento para evitar operações inadequadas. Segundo Ohana (2012) *apud* Nunes (2019), o teor de cinzas é um material mineral inerte e não consumível.

De acordo com Quirino & Brito (1991), um maior teor de cinzas não necessariamente prejudica a combustão dos resíduos, porém, há indícios de que quantidades menores de teor de cinzas aumentam a resistência do resíduo. Sendo assim, grandes quantidades de teor cinzas são indesejáveis durante a termo conversão da biomassa, já que as cinzas formam parte do combustível, reduzindo o poder calorífico e o carbono fixo dos produtos, inviabilizando o sistema devido aos resíduos gerados que aumentam a necessidade de manutenção e, conseqüentemente, elevam os custos do combustível. A determinação do teor de cinzas é importante, visto que altos teores de cinzas contribuem para a diminuição da eficiência do processo, pois não participam do processo de combustão são contabilizados na massa do material submetido ao processo de queima.

#### ✓ **Carbono fixo**

Como se lê em Mckendry (2002), o teor de carbono fixo corresponde à massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de humidade.

O teor de carbono fixo representa, basicamente, a concentração de carbono, apesar de conter também outros elementos como por exemplo: o enxofre, hidrogénio, nitrogénio e oxigénio e, é um importante parâmetro utilizado para todos os cálculos de balanço energético e na caracterização de combustíveis sólidos (BLANCO, 2013).

Assim sendo, Castro (2011) *apud* Nunes (2019), afirma que este parâmetro é o maior responsável pelo poder calorífico.

## **b) Características químicas**

1. Proporção de elementos - Mostra o balanço entre os vários elementos químicos constituintes dos RS.
2. pH - Indica o teor de acidez ou alcalinidade de resíduos. Sua determinação tem fundamental importância na digestão de resíduos, pois suas variações podem acelerar ou inibir o processo de decomposição num aterro ou em outros processos de tratamento e deposição.
3. Relação C/N - proporção de Carbono em relação ao Nitrogênio, e indica o potencial de degradação e a capacidade dos RS em decomposição de se constituírem em composto orgânico bio-estabilizado.

## **c) Características Térmicas**

### **✓ Poder Calorífico**

Refere-se à capacidade de um material desprender uma determinada quantidade de calor quando submetido a queima.

De acordo com Poli *et al.* (2014) nos projectos de aproveitamento energético é importante conhecer a quantidade líquida de energia que pode ser obtida através da queima de um determinado combustível. Assim sendo, é utilizado o conceito de poder calorífico, definido como a energia (bruta, líquida ou sob outra condição pré-definida) disponível em uma unidade de massa de um combustível.

Por outro lado, Rodrigues *et al.* (2002) *apud* Blanco (2013), afirma que todo combustível liberta uma certa quantidade de energia na forma de calor, sendo que esta quantidade é proporcional à massa do material queimado. Sendo que, ao calor obtido pela combustão completa do combustível dá-se o nome de Poder Calorífico, ou seja, o Poder Calorífico expressa a quantidade de energia libertada pela combustão de um dado material.

Como se lê em Adorno (2015), o poder calorífico pode ser determinado teoricamente, através de cálculos, desde que se tenha a composição elementar do combustível e o calor de combustão dos elementos ou compostos gasosos. Esse parâmetro também pode ser determinado experimentalmente através de calorímetros.

Segundo Blanco (2013), o Poder Calorífico pode ser determinado sob duas bases distintas: Poder Calorífico Superior ( PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI).

- **Poder Calorífico Superior (PCS)**- de acordo com Nogueira (2007) & Van Wylen (1998) *apud* Klautau (2008), PCS representa o calor libertado, ou seja, a quantidade máxima de energia que pode ser obtida da transferência de calor do combustível. Este poder calorífico leva em conta também a energia gasta para a vaporização da água presente naquela amostra (GENTIL, 2008).
- **Poder Calorífico Inferior (PCI)**- na concepção de Doat (1977) *apud* Schimer *et al.* (2017), o poder calorífico inferior é a quantidade de calor libertada na combustão por unidade de massa de combustível, isto porque a água é formada na combustão de hidrogénio não é condensada.

O PCI considera que a energia consumida na evaporação da água de formação é diminuída do PCS (SCHIMER *et al.*, 2017).

Por outro lado, Calegari *et al.* (2005) & Van Wylen (1998) *apud* Klautau (2008) afirmam que o PCI é a quantidade de calor libertado durante a combustão sendo que a água está no estado de vapor. O PCI é calculado a partir do PCS, porém considerando o teor de humidade que está presente no combustível, ou seja, corresponde a quantidade de calor útil para acontecer a queima da biomassa, esta análise retrata melhor a qualidade do combustível.

**Tabela 1:** Resumo de Poderes caloríficos dos combustíveis de referência

Combustível	Poder Calorífico (kcal/kg)
Hidrogénio	28680.684 a 33938.8094
Metano	11950.285 a 13145.3135
Metanol	5425.42939
Etanol	6524.85561
Gasolina	10516.2508 a 10994.2622
Diesel	10038.2394 a 10994.2622
GLP	10994.2622 a 12189.2907

Gás Natural	10038.2394 a 12189.2907
Lenha (seca)	3824.0912
Carvão mineral (sub-betuminoso)	4158.69918 a 5712.23623

**Fonte:** Novais (2025)

#### **d) Características biológicas**

Segundo Ibam (2001), referem-se a presença de micro-organismos patogénicos na massa dos resíduos em análise. Esta característica é importante, visto que permite identificar os perigos para saúde pública e contaminação ambiental e definir o tipo de tratamento biológico que é possível para determinados resíduos. Em conjugação com as características químicas permitem definir os métodos específicos de tratamento e deposição mais adequados.

### **2.2. Tecnologias Waste-To-Energy**

Paratelli (2022), afirma que a geração de energia é uma necessidade inevitável para garantir a demanda gerada pelo consumo de bens e serviços. Ambos dependem da geração energética e quanto maior a demanda da produção, maior será a demanda de energia. Para suprir essa necessidade é necessário aumentar a produção energética ou tornar as redes de energia mais eficientes. Por outro lado, de acordo com Fortes (2019), face aos problemas sócio ambientais e económicos resultantes do uso dos combustíveis fósseis, Moçambique vem implementando vários projectos de inclusão das energias renováveis na matriz energética nacional. Tais projectos, incluem as tecnologias Waste-To-Energy (WTE).

Como se lê em Varjani *et al.* (2022) e Associação Brasileira de Recuperação Energética (2017) *apud* Albuquerque *et al.* (2024) o Waste- To- Energy (WTE) consiste em um grupo de tecnologias para o tratamento de resíduos por meio da recuperação energética em forma de calor, electricidade ou combustíveis alternativos, e tem se mostrado bastante atraente como alternativa, não apenas para o sector eléctrico, mas principalmente, para a gestão adequada de resíduos.

As tecnologias Waste-To-Energy permitem a redução de poluentes e emissões de gases de efeito estufa, redução do volume de resíduos que devem ser destinados ao armazenamento em aterros sanitários, recuperação de minerais e produtos químicos

presentes nos resíduos (que podem ser reutilizados ou reciclados), além de destruir possíveis contaminantes presentes nos resíduos (GIZ, 2017).

Varjani *et al.* (2022), afirmam ainda que o WTE permite solucionar outros desafios, pois, além de recuperar a energia armazenada nos resíduos, auxilia na redução das emissões de gases de efeito estufa, diminui o volume dos resíduos e, conseqüentemente, reduz a utilização de espaços para a disposição final.

### **2.2.1. Tipos de Tecnologias Waste-To-Energy**

Mutz *et al.* (2017) afirmam que a transformação dos resíduos em energia é ampla e engloba diversas escalas e complexidades, como a captação de gás metano em aterros sanitários, o tratamento térmico de resíduos em dimensões industriais, a produção de gás de cozinha a partir de resíduos orgânicos e o coprocessamento de combustível derivado de resíduos em usinas de cimento ou gaseificação.

Na concepção de Silva (2013), os resíduos sólidos apresentam variação quanto às propriedades físicas e químicas. O teor de humidade e o nível de contaminação são extremamente importantes ao considerar o aproveitamento energético desses. Além da composição dos resíduos, o factor económico e a disponibilidade de matéria-prima são analisados para determinar a tecnologia mais adequada.

Neste contexto, distinguem-se vários tipos de tecnologias Waste-To-Energy, sendo os principais tipos, os que se seguem:

#### **2.2.1.1. Incineração**

Na concepção de Giz (2017) *apud* Joshi (2021), a incineração é um processo controlado que reduz o volume e a massa de resíduos domésticos comerciais/ não tratados em 90% e 75%, respectivamente. Esse processo torna os resíduos quimicamente inertes por meio de um processo de combustão que libera energia na forma de calor.

Segundo Silva (2013), neste processo, o combustível é queimado com ar em excesso de forma controlada para produzir calor. Os gases produzidos em uma combustão são, principalmente, dióxido de carbono e vapor de água, com pequenas quantidades de outros gases, que dependem da natureza do combustível.

Como se lê em Moretto & Fernandes (2019) *apud* Albuquerque *et al.* (2024), os gases decorrentes da combustão, após tratamento, são liberados para a atmosfera através do ducto de exaustão. Estes gases contêm a maior parte da energia disponível na forma de calor, que poderá ser utilizada para gerar vapor, com as seguintes finalidades: geração de energia eléctrica, aquecimento ou refrigeração distrital, ou fornecimento de vapor para processos industriais próximos.

Apesar das vantagens dessa tecnologia, Nogueira (2015) afirma que em razão do uso de filtros e implementos tecnológicos sofisticados, para diminuir ou eliminar a poluição do ar provocada por gases produzidos durante a queima dos resíduos, a instalação e funcionamento desse método pode apresentar preços elevado de manutenção e operação.

#### **2.2.1.2. Coprocessamento**

Como se lê em Moretto & Fernandes (2019) *apud* Albuquerque *et al.* (2024), o coprocessamento consiste na utilização de materiais derivados de resíduos para substituir recursos naturais minerais e/ou combustíveis fósseis tradicionais como carvão, óleo combustível e gás natural em processos industriais. É a recuperação de energia e reciclagem de materiais de resíduos derivados de processos industriais e comerciais, aplicada principalmente na indústria de cimento e usinas térmicas. Os resíduos são convertidos em combustíveis derivados de rejeitos (CDR) por meio de vários processos de pré-tratamento. Esse processo ajuda a prevenir emissões perigosas (CO, CO<sub>2</sub>, NO, SO<sub>2</sub>, HCl, HF) no meio ambiente (GIZ, 2017).

Na concepção de Mutz *et al.* (2017), o coprocessamento pode auxiliar na redução dos impactos ambientais causados pela produção de cimento, que consome uma elevada quantidade de recursos naturais e causa uma série de emissões atmosféricas.

#### **2.2.1.3. Pirólise**

Segundo Mendes *et al.* (2019), é um processo termoquímico de grande interesse na conversão de biomassa, resíduos sólidos e outros materiais orgânicos em produtos valiosos, como bio-óleo, carvão vegetal e gases combustíveis. Esse método ocorre na ausência de oxigénio ou em quantidade muito limitada, o que impede a combustão completa dos materiais, possibilitando a produção controlada dos produtos desejados.

Essa tecnologia apresenta uma solução voltada aos resíduos plásticos separados na fonte uma vez que, no processo, não há nenhuma combustão significativa de resíduos, ou seja, é necessário um investimento muito maior de eletricidade do que a gaseificação. Sendo assim, a pirólise não tem sido aplicada no tratamento de resíduos em proporções industriais (THEMELIS *et al.*, 2013).

#### **2.2.1.4. Gaseificação**

Gaseificação é a conversão de uma matéria-prima rica em carbono para gás combustível em temperaturas elevadas, até 1300°C, e em uma atmosfera restrita de ar ou oxigênio (SILVA, 2013).

Jayah *et al.* (2022) afirmam que os materiais comumente utilizados na gaseificação incluem carvão, biomassa, resíduos sólidos urbanos e resíduos industriais. A escolha do material de alimentação pode afectar significativamente a composição e o rendimento dos gases produzidos durante o processo de gaseificação.

É de referir que o gás resultante é essencialmente uma mistura de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, metano, água e pequenas quantidades de hidrocarbonetos.

Ademais, Feng *et al.* (2021) afirmam que a eficiência da gaseificação depende de uma série de factores, incluindo a composição do material de alimentação, a temperatura e a pressão de operação, a relação de ar (ou vapor de água) para material de alimentação e a presença de catalisadores.

#### **2.2.1.5. Digestão anaeróbica (DA)**

Como se lê em Corrêa (2020) e Moretto & Fernandes (2019) *apud* Albuquerque (2024), digestão anaeróbica pode ser entendida como a degradação de matéria orgânica, por microrganismos, em um ambiente com concentrações inexistentes de oxigênio. Esse processo apresenta como produtos o dióxido de carbono (25 – 45%), metano (50 – 70%), alguns gases inertes, compostos sulfurosos e lodo digerido, este, é geralmente direccionado a um sistema de compostagem, visando à estabilização final.

Segundo Joshi (2021), a decomposição de resíduos orgânicos biodegradáveis produz um gás com alto teor de metano que é 25 vezes mais potente que o CO<sub>2</sub>, nas mudanças

climáticas. Esta tecnologia reduz as emissões de metano convertendo o biogás gerado em energia eléctrica/térmica. A tecnologia DA recebeu ampla aceitação, especialmente em áreas urbanas.

Mutz *et al.* (2017), afirmam que um reactor estanque chamado de biodigestor anaeróbio pode ser utilizado para oferecer as condições necessárias para que microrganismos tornem a matéria orgânica em biogás e em material digerido. O biogás é uma mistura de diversos gases que podem ser convertidos em energia térmica ou eléctrica.

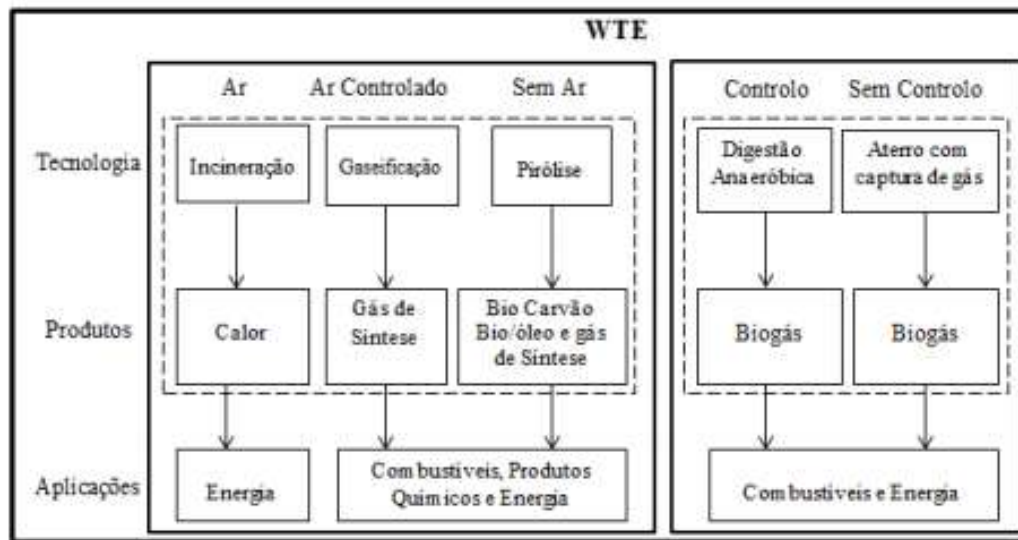
#### **2.2.1.6. Captura de gás de aterro**

O gás de aterro sanitário contém 45-55% de metano, que é usado para geração de electricidade, cogeração de calor e energia ou combustível para transportes, o restante é principalmente CO<sub>2</sub> (MUTZ *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2019).

A operação de aterro sanitário irá essencialmente mitigar impactos ambientais negativos ao capturar gás metano. No entanto, este processo não é considerado uma tecnologia WTE eficaz devido às suas desvantagens, como poluição do ar, contaminação de águas subterrâneas e odor desagradável (JOSHI, 2021).

Na concepção de Corrêa (2020), para a sua captação, é necessária a instalação de tubos perfurados nos resíduos, evitando simultaneamente a penetração de água e ar no sistema. Na sequência, o gás percorre a tubulação e é direcionado para um sistema de purificação para retirada do gás sulfídrico, podendo ser utilizado após o encerramento desse processo.

#### **2.2.2. Resumo das principais tecnologias WTE**



**Figura 3:** Resumo das Tecnologias WTE para o tratamento de resíduos sólidos.

**Fonte:** (ENGELMANN, 2021)

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Descrição do local de realização da pesquisa

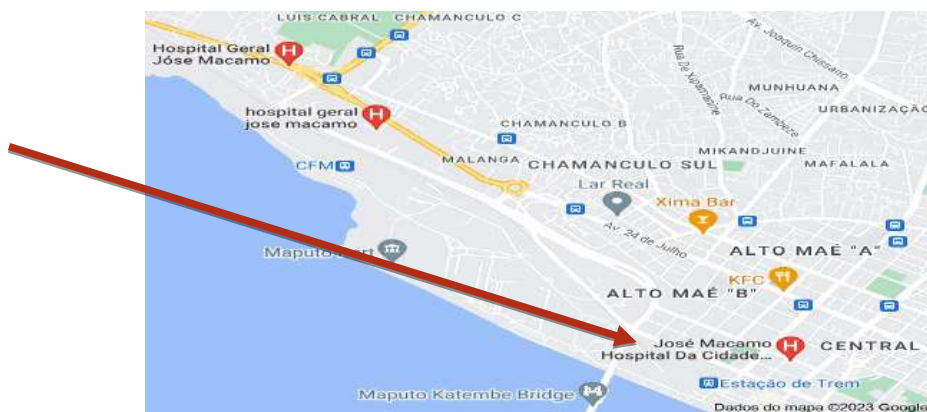
A pesquisa em pauta, será desenvolvida no Hospital Geral José Macamo, concretamente, no centro de saúde.

O Hospital Geral José Macamo existe desde 1922, ano em que foi edificado o primeiro bloco.

Em 1944, inicia a sua ampliação com a construção de dois novos edifícios dotados de uma sala de operações. Nesse mesmo ano, foi inaugurado como hospital privado pertencente à igreja Católica designado Hospital de São José de Lhanguene.

A edificação da fachada principal foi concluída em 1972. Em 1976, com as nacionalizações, o hospital passou para a gestão do Ministério de Saúde passando a designar-se José Macamo.

O Hospital José Macamo, localiza-se na Avenida da Organização da Unidade Africana, situa-se perto do campo desportivo Escola Primária de Lhanguene Piloto e da igreja Convento de São José de Lhanguene.



**Figura 4:** Localização Geográfica do Hospital Geral José Macamo.

**Fonte:** Google Maps (2025)

### 3.2. Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa é mista, ou seja, adopta a abordagem qualitativa e quantitativa.

A abordagem qualitativa é adoptada á medida que o ambiente natural (no caso, o hospital) é fonte directa dos dados e o pesquisador é o seu principal instrumento, pois, tanto os dados (informações) sobre os resíduos como as amostras serão colectados no Hospital (centro de saúde José Macamo) (LUDKE & ANDRÉ, 2012 *apud* BLOG PORTAL EDUCAÇÃO, 2021).

Na concepção de Richardson *et al.* (1999:70) *apud* Marconi & Lakatos (2011:287-288), o enfoque quantitativo vale-se do levantamento de dados para provar hipóteses baseadas na medida numérica e da análise estatística para estabelecer padrões de comportamento,

fundamentando-se no método hipotético-dedutivo, leva em consideração os seguintes aspectos:

- ✓ Estabelecimento de teorias e levantamento de hipóteses;
- ✓ Comprovação das hipóteses;
- ✓ Aceitação ou refutação das hipóteses.

Neste contexto, uma vez que a pesquisa em causa obedece a esses requisitos, faz-se quantitativa.

Importa referir que a comprovação das hipóteses será feita mediante a adopção do método experimental, no qual analisou-se os seguintes parâmetros físico-químicos:

- ✓ Sólidos Totais;
- ✓ Sólidos Fixos;
- ✓ Sólidos Voláteis;
- ✓ Teor de Humidade;
- ✓ Teor de Cinzas;
- ✓ Carbono Fixo;
- ✓ Poder Calorífico.

Na concepção de Pradanov & De Freitas (2013:37), o método experimental é um conjunto de procedimentos explicativos que consiste em submeter os objectos de estudo á influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador para observar os resultados que a variável produz no objecto em estudo.

A pesquisa em pauta será desenvolvida em um determinado hospital (Hospital Geral José Macamo, concretamente no Centro de Saúde José Macamo), de um universo de vários hospitais, pelo que é considerada um estudo de caso.

Quanto à natureza, essa pesquisa é classificada como aplicada tal que, na concepção de Zanella (2013:32), tem como finalidade gerar soluções aos problemas humanos, entender como lidar com um problema. Esse tipo de pesquisa é segundo Andrade (2007), denominada resumo de assunto e, caracteriza-se por dispensar a originalidade, mas não o rigor científico, fundamentada em trabalhos mais avançados, publicados por autoridades no assunto, e que não se limita na simples cópia das ideias.

A pesquisa em desenvolvimento é aplicada porque tem a finalidade de resolver um problema (gestão insustentável dos resíduos hospitalares) e, será feito mediante a consulta

de alguns trabalhos avançados sobre o assunto e, quanto aos objectivos é uma pesquisa exploratória que, de acordo com Andrade (2007), tem a finalidade de proporcionar maiores informações sobre determinado assunto, facilitar a delimitação de um tema, definir os objectivos ou formular hipóteses de uma pesquisa ou descobrir novo tipo de enfoque para o trabalho que se tem em mente. Nesse contexto, irá consistir na primeira etapa da pesquisa, na qual será feito um estudo preliminar, buscando informações sobre o tema, conversando com funcionários do Centro de Saúde José Macamo, afim de saber qual é o destino dos resíduos produzidos nessas alas do hospital e quanto produzem.

Para além de exploratória, essa é uma pesquisa explicativa, já que o pesquisador interfirará no desenvolver dos factos e fenómenos. Para além de observar, classificar, analisar e interpretar os factos relacionados aos resíduos em estudo, o pesquisador submeterá os resíduos a experiências químicas afim de averiguar o seu potencial energético.

### **3.3. Técnicas e instrumentos de pesquisa**

A concretização desta pesquisa, será feita mediante a adopção das seguintes técnicas de pesquisa:

#### **✓ Análise documental**

Consistiu numa pesquisa exploratória sobre o tema em estudo, por meio da consulta de manuais, artigos e trabalhos feitos relacionados ao tema.

#### **✓ Entrevista**

Foi aplicada a entrevista semi-estruturada focalizada que, de acordo com Laville & Dionne (1999) consiste numa lista das informações que se deseja de cada entrevistado, mas a forma de perguntar e a ordem em que as questões são feitas irão variar de acordo com as características de cada entrevistado. Geralmente baseia-se em um roteiro constituído de uma série de perguntas abertas feitas verbalmente em uma ordem prevista, apoiadas no quadro teórico, nos objectivos e nas hipóteses da pesquisa. É de referir que a entrevista foi dirigida aos funcionários do Hospital Geral José Macamo (Centro de saúde) aplicando para tal questionários como instrumentos de colecta de dados.

#### **✓ Observação**

Aplicou-se a observação directa que consistiu no uso dos órgãos dos sentidos do observador para captar informações relacionadas à gestão de resíduos no Centro de saúde José Macamo, julgá-las e registá-las com fidelidade.

#### ✓ Métodos analíticos

Foram desenvolvidos no laboratório de química da FCNM da UPM-campus Lhanguene.

### 3.4. Amostragem

De acordo com dados colhidos por entrevistas feitas a funcionários do Centro de Saúde de José Macamo, a quantidade de resíduos gerados nos diversos sectores do centro, varia de acordo com os dias de semana. Neste contexto, o dia de semana em que mais se gera resíduo é a segunda feira, pelo que, os resíduos foram colectados numa segunda feira de modo a garantir que a amostra fosse mais abrangente, mediante a aplicação da amostragem probabilística ou casualística aleatória simples.

Importa referir que a amostragem foi feita no lixo comum, ou seja, a amostra foi retirada do lixo comum de cada sector do centro de saúde.

### 3.5. Etapas da pesquisa

A pesquisa foi realizada em três fases:

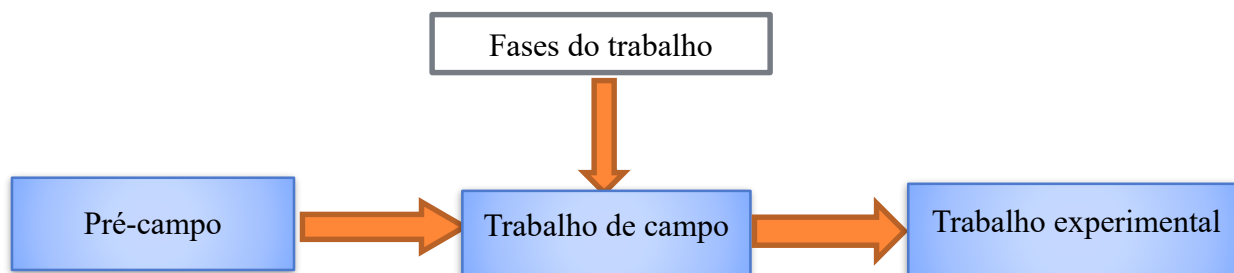


Figura 5: Fluxograma das etapas da pesquisa.

#### a) Fase I: Pré – Campo

Consiste numa pesquisa exploratória, visando buscar maior familiaridade com o problema, levantamento bibliográfico e conversas com pessoas experientes na área em estudo (problema em causa).

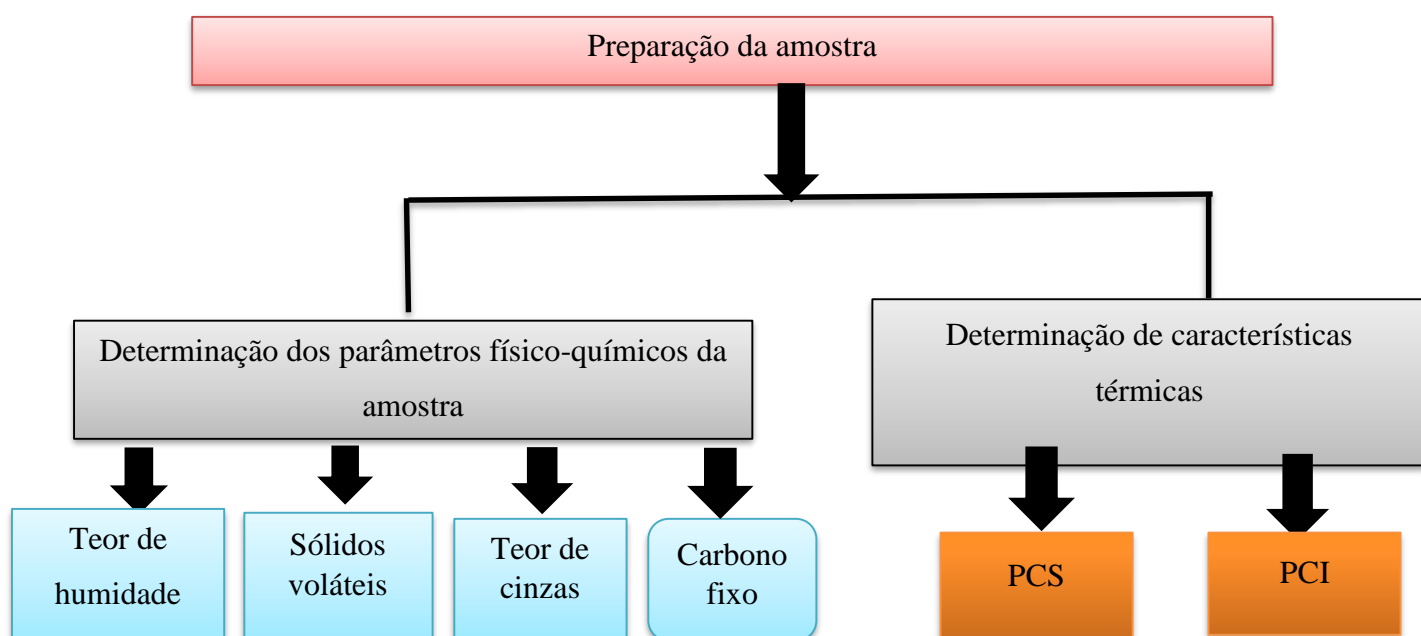
#### b) Fase II: Trabalho de campo

Consiste na amostragem e colecta de dados no local em abordagem mediante a aplicação das técnicas e instrumentos de colecta de dados supracitados.

### c) Fase III: Trabalho experimental

Consiste na preparação da amostra e aplicação de métodos analíticos para a determinação de parâmetros físico-químicos dos resíduos em estudo e, será desenvolvido no Laboratório de Química da Faculdade de Ciências Naturais e Matemática da Universidade Pedagógica de Maputo.

### 3.6. Desenho experimental



**Figura 6:** Fluxograma do trabalho experimental.

**Fonte:** Autora (2025)

#### 3.6.2. Caracterização Energética dos Resíduos

A caracterização energética dos resíduos foi feita através de experiências químicas que consistiram na derterminação de parâmetros físico-químicos (teor de humidade, teor de matéria volátil, sólidos totais, sólidos fixos, teor de cinzas, carbono fixo e finalmente poder calorífico), trabalho antecedido pela preparação das amostras obtidas na caracterização física.

A preparação das amostras, consistiu na separação das amostra em categorias (papel, papelão, algodão e plástico de 3 tipos, a saber: PEAD, PEBD e PS, que são os mais gerados na área de estudo).



**Figura 7:** Processo de separação dos resíduos no laboratório.

**Fonte:** Autora (2025)

Na figura 7, estão ilustradas as amostras separadas, onde, tem-se em (1), amostras de papel papelão; em (2), amostras de algodão e em (3) amostras de resíduos plásticos.

Depois da separação, as amostras passaram pelo processo de higienização (lavagem de materiais plásticos e respectiva secagem ao ar e, eliminação de etiquetas de papel).



**Figura 8:** Preparação das amostras-Remoção de etiquetas de papel dos resíduos plásticos.

**Fonte:** Autora (2025)

As amostras separadas e limpas, foram posteriormente esquarterjadas, de modo a tê-las em tamanho muito reduzido e, depois armazenadas.



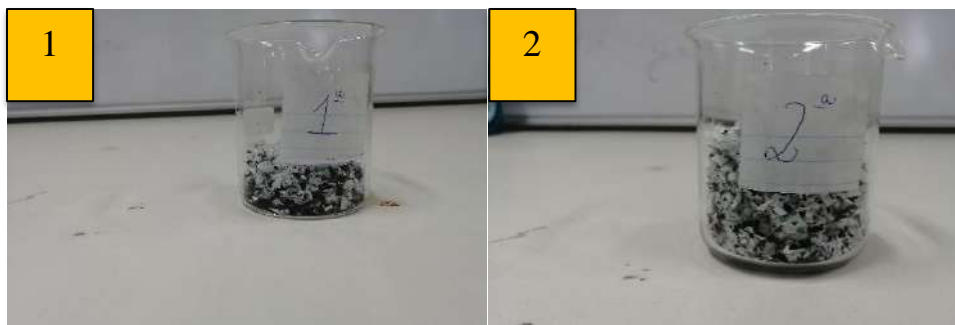
**Figura 9:** Preparação das amostras.

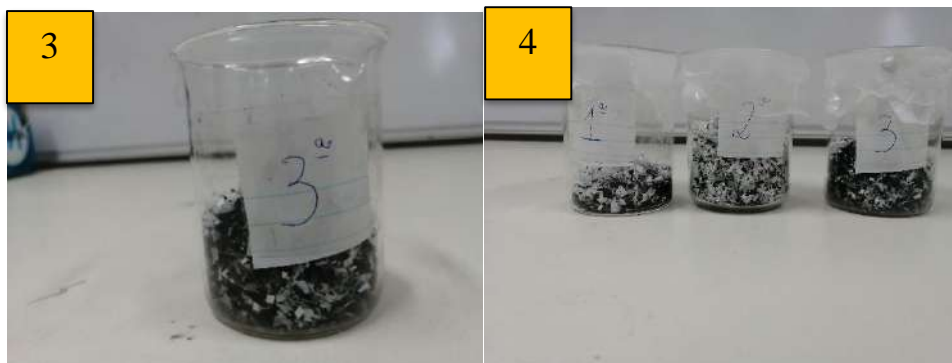
**Fonte:** Autora (2025)

A figura 9 ilustra o processo de preparação das amostras, onde, tem-se, em (1) e (2), o processo de corte das amostras, e em (3), as amostras já cortadas.

Importa referir que as amostras de plástico foram misturadas em 3 proporções diferentes, tendo-se obtido 3 misturas (3 amostras), cuja composição é seguinte:

- **1ª Proporção:** 4 g de PEAD, 2 g de PEBD e 1 g de PS;
- **2ª Proporção:** 2 g de PEAD, 1 g de PEBD e 4 g de PS;
- **3ª Proporção:** 1 g de PEAD, 4 g de PEBD e 2 g de PS.





**Figura 10:** Amostras de plástico.

**Fonte:** Autora (2025)

A figura 10 ilustra as amostras de plástico nas diferentes proporções, segundo a qual, (1) ilustra a primeira proporção de plástico; (2) ilustra a segunda proporção de plástico e (3) ilustra a terceira proporção de plástico.

### **3.6.2.1. Descrição do trabalho experimental**

As amostras foram analisadas em duas fases, tendo-se na primeira fase, analisado as amostras de papel, papelão e algodão, nas quais foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos: teor de humidade, teor de sólidos totais, teor de sólidos fixos, teor de cinzas, teor de sólidos voláteis, teor de carbono fixo e matéria orgânica.

Na segunda fase, analisou-se as amostras de plástico, nas quais analisou-se os seguintes parâmetros físico-químicos: teor de humidade, teor de matéria volátil, teor de cinzas e teor de carbono fixo.

### **Fase 1: Análise de papel, papelão e algodão**

#### **a) Determinação do Teor de humidade (TH)**

O teor de humidade foi determinado adoptando o método de secagem em estufa baseado na norma ABNT NBR 14929-03, que mede a perda de massa ao secar o material em uma estufa em temperatura controlada. Assim sendo, lavou-se muito bem os cadinhos e

deixou-se a secar na estufa durante 30 minutos a 105°C. Passado este tempo, deixou-se os cadinhos a arrefecer no dessecador até à temperatura ambiente, feito isso, pesou-se os cadinhos com auxílio da balança analítica ( $m_0$ ) e anotou-se as pesagens. A seguir, pesou-se cerca de 5g de cada amostra ( $m_1$ ), as quais foram introduzidos nos cadinhos previamente secos e devidamente rotulados e, pesou-se novamente os cadinhos, desta vez contendo as amostras; feito isso, levou-se os cadinhos contendo as amostras a secar na estufa durante 2 horas a 105°C, passadas as duas horas, tirou-se os cadinhos da estufa e deixou-se a arrefecer no dessecador até à temperatura ambiente e, voltou-se a pesar os cadinhos ( $m$ ) e anotou-se as massas.



**Figura 11:** Processo de determinação do teor de humidade nas amostras de papel, papelão e algodão.

**Fonte:** Autora (2025)

A figura 11 ilustra o processo de determinação do teor de humidade, segundo a qual, (1) ilustra a estufa usada para a secagem das amostras; (2) ilustra a pesagem das amostras na balança analítica; (3) ilustra a secagem das amostras na estufa e (4) ilustra o arrefecimento das amostras no dessecador.

Findo o processo, o teor de humidade foi determinado adoptando a seguinte expressão:

$$TH = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% \quad (\text{Equação 1})$$

**Onde:**

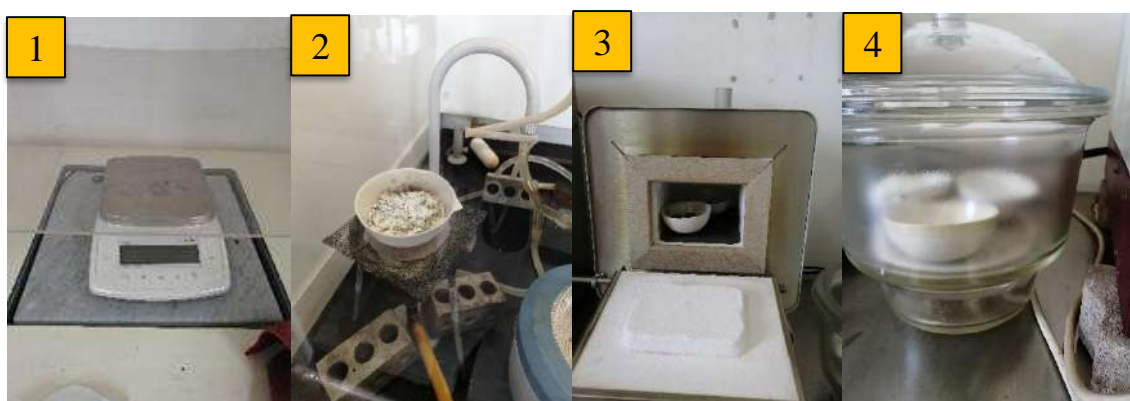
TH- Teor de humidade em percentagem.

$m_1$ - massa da amostra antes da secagem em gramas.

$m_2$ - massa da amostra depois da secagem (obtida fazendo a diferença:  $m - m_0$ )

#### **b) Teor de Sólidos Totais (ST)**

A determinação do teor de sólidos totais foi feita adoptando o método termogravimétrico Loss-of-ignition (Lol) onde, primeiro lavou-se muito bem os cadinhos de porcelana e, deixou-se a calcinar na mufla a 550°C durante 1 hora; feito isso, levou-se os cadinhos ao dessecador onde ficaram até atingir a temperatura ambiente e, pesou-se os cadinhos ( $m_0$ ); Pesou-se 5g de cada amostra e introduziu-se nos cadinhos, feito isso, carbonizou-se as amostras com auxílio do Bico de Busen, de modo a diminuir a matéria orgânica das amostras e, levou-se os cadinhos contendo as amostras pré-incineradas a calcinar na mufla a 550°C durante 6 horas; passado este tempo, deixou-se os cadinhos a arrefecer no dessecador e pesou-se os cadinhos com amostras calcinadas ( $m_1$ ).



**Figura 12:** Processo de determinação do teor de sólidos totais nas amostras de papel, papelão e algodão.

**Fonte:** Autora (2025)

A figura 12, ilustra o processo de determinação do teor de sólidos totais do papel, papelão e algodão, de acordo com a qual, em (1) tem-se a pesagem das amostras na balança analítica; em (2) ilustra-se a carbonização das amostras no bico de busen, em (3) ilustra-se as amostras na mufla onde foram calcinadas e por fim, em (4) tem-se o arrefecimento das amostras no dessecador.

Terminado o processo, determinou-se o teor de sólidos totais pela seguinte expressão:

$$ST(\%) = \frac{(m_1 - m_0)}{m_a} \cdot 100\% \quad (\text{Equação 2})$$

**Onde:**

ST- sólidos totais em percentagem.

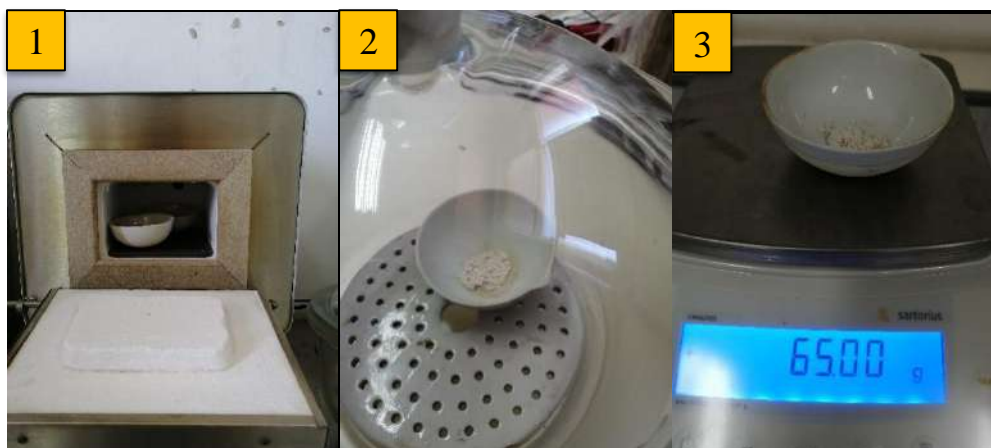
$m_1$ - massa do cadinho contendo amostra calcinada.

$m_0$ - massa do cadinho calcinado sem amostra/vazia.

ma- massa da amostra.

### c) Teor de Sólidos Fixos (SF)

Para determinar o teor de sólidos fixos, calcinou-se o material obtido na determinação de sólidos totais na mufla durante 2 hora a 550°C, passado este tempo, deixou-se as amostras a arrefecer no dessecador e voltou-se a pesar o material ( $m_2$ ).



**Figura 13:** Processo de determinação do teor de sólidos fixos nas amostras de papel, papelão e algodão.

**Fonte:** Autora (2025)

A figura 13 ilustra o processo de determinação do teor de sólidos fixos, segundo a qual, em (1) ilustra-se as amostras na mufla (calcinação); em (2) ilustra-se o arrefecimento das amostras calcinadas e em (3) ilustra-se a pesagem das amostras.

O teor de sólidos fixos foi determinado através da seguinte expressão:

$$\mathbf{SF} = \frac{m_2 - m_0}{m_a} \cdot 100\% \quad (\text{Equação 3})$$

**Onde:**

SF- Sólidos fixos em percentagem.

$m_2$ - peso da cápsula vazio (em gramas).

$m_0$ - peso da cápsula contendo amostra (em gramas).

### d) Teor de sólidos voláteis (SV)

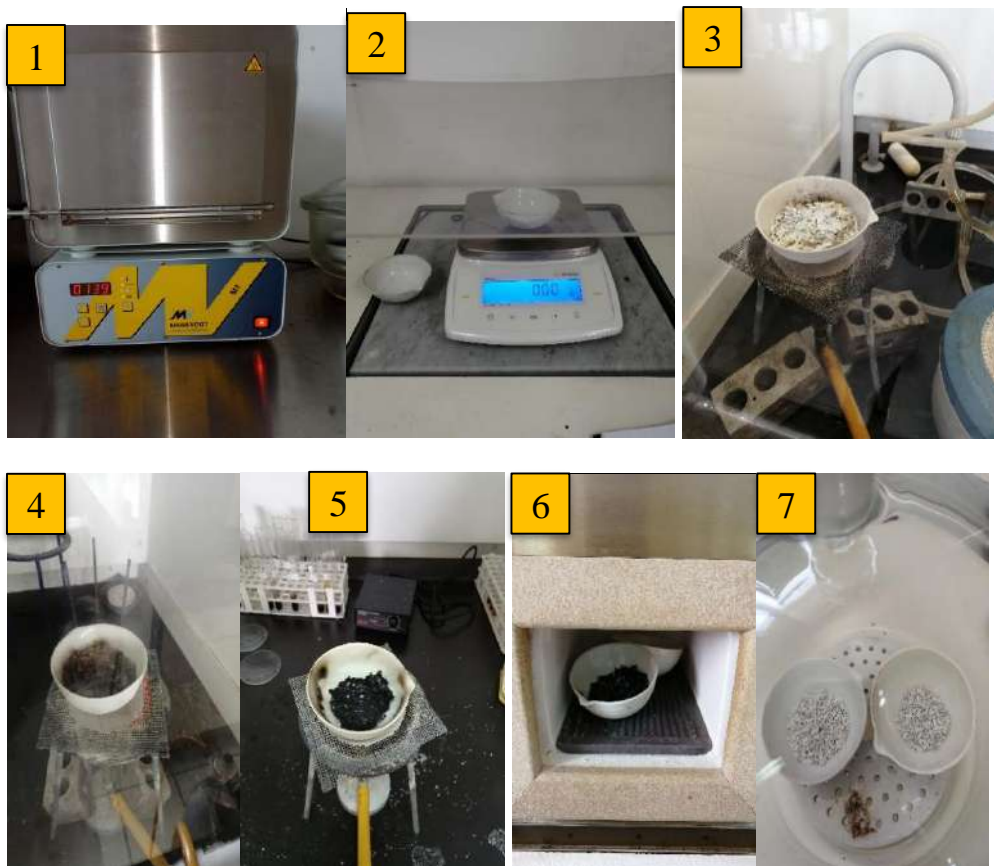
O teor de sólidos voláteis foi determinado fazendo-se a diferença entre os sólidos totais e os sólidos fixos:

$$SV = ST - SF$$

#### e) Teor de Cinzas (TC)

O teor de cinzas foi determinado recorrendo-se à norma ABNT NBR 133999-03, tendo-se para tal, primeiramente calcinado os cadinhos de porcelana (previamente limpos) na mufla a 550°C durante 1 hora, passada 1 hora, os cadinhos foram retirados da mufla e deixados a arrefecer no dessecador; feito isso, pesou-se os cadinhos calcinados ( $P_1$ ).

Depois de pesados os cadinhos vazios, pesou-se 5g de cada amostra e colocou-se nos cadinhos, feito isso, carbonizou-se as amostras no Bico de Busen, de modo a diminuir a matéria orgânica das amostras. As amostras pré-incineradas foram posteriormente calcinadas na mufla durante 3 horas a 550°C, feito isso, as amostras foram deixadas a arrefecer no dessecador e, depois pesadas ( $P_3$ ).



**Figura 14:** Processo de determinação do teor de cinzas nas amostras de papel, papelão e algodão.

**Fonte:** Autora (2025)

De acordo com a figura 14, em (1) tem-se a mufla; em (2) tem-se a pesagem das amostras; em (3), (4) e (5) ilustra-se o processo de carbonização das amostras; em (6) ilustra-se as amostras na mufla (calcinação) e em (7) ilustra-se o arrefecimento das amostras no dessecador.

Depois do processo experimental, determinou-se o teor de cinzas pela seguinte equação:

$$TC = \frac{(P_3 - P_1)}{P_2} \cdot 100\% \quad (\text{Equação 4})$$

**Onde:**

TC- teor de cinzas em percentagem.

P<sub>1</sub>-massa do cadinho calcinado.

P<sub>2</sub>- massa da amostra.

P<sub>3</sub>-massa da amostra calcinada.

#### **f) Teor de Carbono Fixo (CF)**

O carbono fixo determinou-se relacionando-se o teor de sólidos voláteis e teor de cinzas, pela seguinte equação:

$$CF = 100\% - (SV + TC) \quad (\text{Equação 5})$$

**Onde:**

CF- teor de carbono fixo.

SV- teor de sólidos voláteis;

TC- teor de cinzas.

#### **➤ Determinação do poder calorífico**

##### **a) Poder Calorífico Superior**

O poder calorífico superior foi determinado por meio de uma correlação com análise imediata desenvolvida por Parikh, Channiwala e Ghosal (2005), na qual foram consideradas 450 tipos de biomassas e apresenta um erro absoluto de 3,74% (MÂNICA, 2015 *apud* CHACHUAIIO & BOANE, 2023). De acordo com Simango & Boane (2023), este modelo matemático, figura-se como um dos modelos mais usados de estimar o PCS da biomassa sólida com ajuda dos resultados da análise imediata.

$$PCS = 84,5104 \times (CF) + 37,2601 \times (SV) - 1,8642 \times (TC) \quad (\text{Equação 6})$$

**Onde:**

PCS - Poder calorífico superior em Quilocalorias por Quilograma (kcal/kg);

CF - Teor de carbono Fixo (%);

SV - Teor de sólidos voláteis (%);

TC - Teor de cinzas (%).

**b) Poder Calorífico Inferior**

O poder calorífico inferior, foi determinado fazendo a correlação das equações propostas por Schmitt (2021) *apud* Fiebig (2022) e Brito (1993) *apud* Schimer *et al.* (2017), respectivamente.

$$H = 0,059 \times CF + 0,060 \times SV + 0,010 \times TC \quad (\text{Equação 7})$$

$$PCI \left( \frac{kcal}{kg} \right) = PCS - \left[ 600 \cdot \left( \frac{9 \cdot \%H}{100} \right) \right] \quad (\text{Equação 8})$$

**Onde:**

PCI – Poder Calorífico Inferior, em Quilocalorias por Quilograma (kcal/kg);

CF – Teor de carbono fixo (%);

SV- Teor de sólidos voláteis (%);

TC – Teor de cinzas (%);

PCS – Poder Colorífico Superior, em Quilocalorias por Quilograma (kcal/kg);

H – Teor de Hidrogénio.

**Fase 2: Análise de plástico****a) Determinação do teor de Humidade ( $W_M$ )**

Para determinar o teor de humidade, adoptou-se o método de perda por secagem ou secagem em estufa. Para tal, primeiro, higienizou-se o material que seria usado (cadinhos de porcelana com as respectivas tampas e espátula) e, deixou-se a secar na estufa por alguns minutos e, depois deixou-se a arrefecer no dessecador. De seguida, pesou-se os 3 cadinhos com as respectivas tampas e anotou-se as massas ( $m_1$ ); feito isso, pesou-se cerca

de  $1g \pm 0,1mg$  de cada amostra e colocou-se nos respectivos cadinhos devidamente rotulados e pesou-se novamente ( $m_2$ ). De seguida, levou-se os cadinhos contendo as amostras sem tampas a secar na estufa durante 60 minutos a  $105^\circ C$ ; passados os 60 minutos, retirou-se os cadinhos e, tapou-se imediatamente, deixando-os arrefecer no dessecador e, pesou-se novamente ( $m_3$ ).



**Figura 15:** Processo de determinação do teor de humidade em amostras de plástico.

**Fonte:** Autora (2025)

A figura 15 ilustra-se o processo de determinação do teor de humidade em plástico, segundo a qual, em (1) ilustra-se a secagem dos cadinhos com as respectivas tampas; em (2) ilustra-se a balança usada na pesagem das amostras; em (3) ilustra-se a secagem das amostras na estufa e em (4) ilustra-se o arrefecimento das amostras no dessecador.

Depois do processo experimental, determinou-se o teor de humidade pela seguinte expressão, proposta pela norma ISO 11722: 2013 (E):

$$W_M = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \quad (\text{Equação 9})$$

**Onde:**

$W_M$ - Teor de humidade em percentagem.

$m_1$ - Massa do cadinho vazio com tampa.

$m_2$ - Massa do cadinho com tampa e amostra.

$m_3$ - Massa do cadinho com tampa e amostra após a secagem.

#### **b) Determinação do teor de matéria volátil**

Para realizar esse teste, adoptou-se os procedimentos prescritos pela norma 562: 2010 da ISO, segundo os quais, primeiro lavou-se muito bem os cadinhos de porcelana e suas

respectivas tampas e, deixou-se a calcinar na mufla durante 7 minutos a  $900^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Passados 7 minutos, tirou-se os cadinhos e suas tampas da mufla e deixou-se a arrefecer no dessecador e, depois, pesou-se os cadinhos vazios junto com as tampas.

De seguida, pesou-se  $1 \pm 0,1\text{mg}$  de cada amostra e, depois, carbonizou-se as amostras; feito isso, calcinou-se as mesmas na mufla, a  $900^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 8 minutos. Passado este tempo, deixou-se as amostras a arrefecer no dessecador e, depois pesou-se as amostras calcinadas.



**Figura 16:** Processo de determinação do teor de matéria volátil em amostras de plástico.

**Fonte:** Autora (2025)

A figura 16, ilustra o processo de determinação do teor de matéria volátil, onde tem-se em (1), a mufla contendo os cadinhos com as respectivas tampas (calcinação); em (2) ilustra-se a balança usada para a pesagem das amostras; em (3) tem-se a carbonização das amostras; em (4) ilustra-se as amostras na mufla, para a calcinação e em (5) ilustra-se o arrefecimento das amostras já calcinadas.

O teor de matéria volátil das amostras, foi determinada pela seguinte expressão:

$$V = 100\% \cdot \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} - W_M \quad (\text{Equação 10})$$

**Onde:**

V- Teor de matéria volátil em percentagem.

$m_1$ - Massa do cadinho vazio com tampa.

$m_2$ - Massa do cadinho com tampa e amostra.

$m_3$ - Massa do cadinho com amostra após a calcinação.

$W_M$ - Teor de humidade da amostra analisada.

### c) Determinação do teor de cinzas

A determinação do teor de cinzas foi feita adoptando a norma ISO 1171:2010 (E), que estabelece o seguinte: primeiro, preparou-se 3 cadinhos de porcelana com as respectivas tampas, os quais foram calcinados durante 60 minutos na mufla a 550°C. Passados os 60 minutos, os cadinhos foram retirados da mufla e deixados a arrefecer no dessecador e, depois, foram pesados junto com as tampas.

Depois de pesados os cadinhos com as respectivas tampas, pesou-se  $1 \pm 0,1$ mg de cada amostra; feito isso, carbonizou-se as amostras e, depois, levou-se os cadinhos contendo amostras a calcinar na mufla a  $815^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ , durante 60 minutos. De seguida, deixou-se a arrefecer no dessecador e, pesou-se as amostras calcinadas.



**Figura 17:** Processo de determinação do teor de cinzas nas amostras de plástico.

**Fonte:** Autora (2025)

Na figura 18 ilustra-se o processo de determinação do teor de cinzas, onde, em (1) ilustra-se os cadinhos com as respectivas tampas na mufla; em (2) ilustra-se o arrefecimento dos cadinhos e suas tampas calcinadas; em (3) ilustra-se a balança usada na pesagem; em (4) ilustra-se a

carbonização das amostras; em (5) a calcinação das amostras (na mufla) e em (6) ilustra-se o resultado obtido.

Depois do processo experimental, determinou-se o teor de cinzas pela seguinte expressão:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\% \quad (\text{Equação 11})$$

**Onde:**

A-Teor de cinzas em percentagem.

m<sub>1</sub>- Massa do cadinho vazio.

m<sub>2</sub>- Massa do cadinho contendo amostra.

m<sub>3</sub>- Massa do cadinho contendo amostra após a calcinação.

**Determinação do Teor de Carbono Fixo**

O teor de carbono fixo determinado recorrendo à norma ISO 17246:2010, que propõe a seguinte expressão:

$$CF = 100\% - (W_M + V + A) \quad (\text{Equação 12})$$

**Onde:**

CF - Teor de Carbono fixo;

V - Teor de Matéria volátil;

W<sub>M</sub> -Teor de Humidade;

A - Teor de cinzas.

➤ **Determinação do poder calorífico**

**a) Poder calorífico superior**

A determinação do Poder Calorífico Superior dos plásticos foi realizada de forma indirecta, com a utilização dos valores resultantes da análise proximal (análise dos parâmetros físico-químicos) feita em cada amostra de resíduos plásticos e com ajuda de uma expressão matemática, proposta por (SEERVI, 2015 *apud* MACAMO & BOANE, 2023).

$$PCS = 7115,197 - 123,971 \times (W_M) - 81,3121 \times (A) + 20,7421 \times (CF) \quad (\text{Equação 13})$$

**Onde:**

PCS - Poder Calorífico Superior, em Quilocalorias por Quilograma (kcal/kg);

$W_M$  - Teor de Humidade (%);

A - Teor de Cinzas (%);

CF - Teor de Carbono Fixo (%).

### **b) Poder Calorífico Inferior**

O poder calorífico inferior, foi determinado fazendo a correlação das equações propostas por Schmitt (2021) *apud* Fiebig (2022) e Brito (1993) *apud* Schimer *et al.* (2017), respectivamente.

$$H = 0,059 \times CF + 0,060 \times SV + 0,010 \times TC \quad (\text{Equação 14})$$

$$PCI \left( \frac{kcal}{kg} \right) = PCS - \left[ 600 \cdot \left( \frac{9 \cdot \%H}{100} \right) \right] \quad (\text{Equação 15})$$

#### **Onde:**

PCI – Poder Calorífico Inferior, em Quilocalorias por Quilograma (kcal/kg);

CF – Teor de carbono fixo (%);

SV- Teor de sólidos voláteis (%);

TC – Teor de cinzas (%);

PCS – Poder Colorífico Superior, em Quilocalorias por Quilograma (kcal/kg);

H – Teor de Hidrogénio.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Neste capítulo, estão apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos aquando da realização da pesquisa.

#### **4.1. Resultados das Entrevistas aos funcionários do Centro de Saúde de José Macamo**

No âmbito da realização da pesquisa, vários funcionários do centro de saúde foram submetidos a entrevistas, dos quais pode-se destacar, enfermeiros, gestor de resíduos sólidos do centro de saúde e responsável pela incineradora do hospital. Das entrevistas realizadas, obteve-se as seguintes informações:

**Tabela 2:** Sector de produção de resíduos do centro de saúde e as respectivas categorias de resíduos

Sector de produção de resíduos	Categorias de resíduos hospitalares produzidos				
	Lixo comum	Lixo infeccioso	Lixo cortante e/ou perfurante	Lixo anatómico	Vidro
<b>PAV</b>	Restos de comida, papel, garrafas, papelão, frascos de vacinas, embalagens de seringas, plástico.	Algodão contaminado com sangue, luvas usadas.	Seringas com agulhas, lancetas.	....	Ampolas de vidro
<b>Sala de tratamento</b>	Papel, papelão, plástico, restos de comida.	Luvas usadas, algodão contaminado, gazes, ligaduras, máscaras usadas	Agulhas, lancetas, lâminas.	....	Ampolas de vidro.
<b>PNCT</b>	Papel, papelão, frascos de medicamentos, algodão não contaminado por fluídos humanos, plásticos	Ampolas plásticas containadas por fluídos humanos (scarro), luvas, máscaras, algodão.	Lacentas, agulhas.	Amostras de scarro.	....
<b>SAAJ</b>	Papel, papelão (embalagens), plásticos.	Máscaras, luvas, algodão.	Seringas com agulhas, agulhas, lacentas.	....	....

<b>Laboratório</b>	Papel, papelão,	Máscaras usadas, luvas usadas, algodão contaminado, papel contaminado por fluídos humanos.	Lancetas, agulhas, seringas com agulhas.	Amostras de sangue, amostras de scarro, amostras de urina.	Ampolas de vidro, garrafas de vidro.
<b>Farmácia</b>	Plásticos, papel, papelão (caixas), garrafas, frascos de medicamentos, carteiras de comprimidos, medicamentos, ampolas plásticas.	....	....	....	Frascos de medicamentos, ampolas de vidro

**Fonte:** Autora (2025)

Com as entrevistas realizadas, fez-se ainda saber que cada sector do centro de saúde é responsável pela separação dos resíduos gerados em categorias (supracitadas), tais que são armazenados em recipientes apropriados e devidamente identificados. Os resíduos gerados e devidamente separados são recolhidos pelos agentes de limpeza, no final de cada dia, sendo posteriormente, o lixo comum levado aos contentores de lixo do centro e as restantes categorias levadas à incineradora. O lixo comum (depositado nos contentores), é posteriormente recolhido pelos transportes do sector de salubridade do Município de Maputo e levado às lixeiras municipais.

Por outro lado, os resíduos levados à incineradora são pesados em categorias junto com os resíduos de outros departamentos do Hospital Geral José Macamo, a título de exemplo, o banco de socorro e os resíduos provenientes de outros hospitais (que não têm incineradora) e depois incinerados.

#### 4.2. Resultados da caracterização energética dos resíduos

A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos da determinação dos parâmetros físico-químicos dos resíduos analisados.

**Tabela 3:** Resultados da caracterização energética dos resíduos sólidos

Amostras	Parâmetros determinados							
	TH(%)	ST(%)	SF(%)	SV(%)	TC(%)	CF(%)	PCS(kcal/kg)	PCI(kcal/kg)
Papel	5	15.8	15.6	0.2	15.60	84.20	7094.1461	6816.8129
Papelão	4	24.0	23.8	0.2	23.60	76.20	6403.1493	6146.9841
Algodão	4.40	0.4	0.4	0.0	0.60	99.40	8399.2152	8082.2028
Plástico: 1ª Proporção	0.2482	—	—	94.72	2.30	2.7318	6954.0728	6637.2352
Plástico: 2ª Proporção	1.0136	—	—	92.15	1.93	4.9034	6930.4544	6615.2239
Plástico: 3ª Proporção	0.3088	—	—	93.21	2.27	4.2112	6979.6854	6663.0423

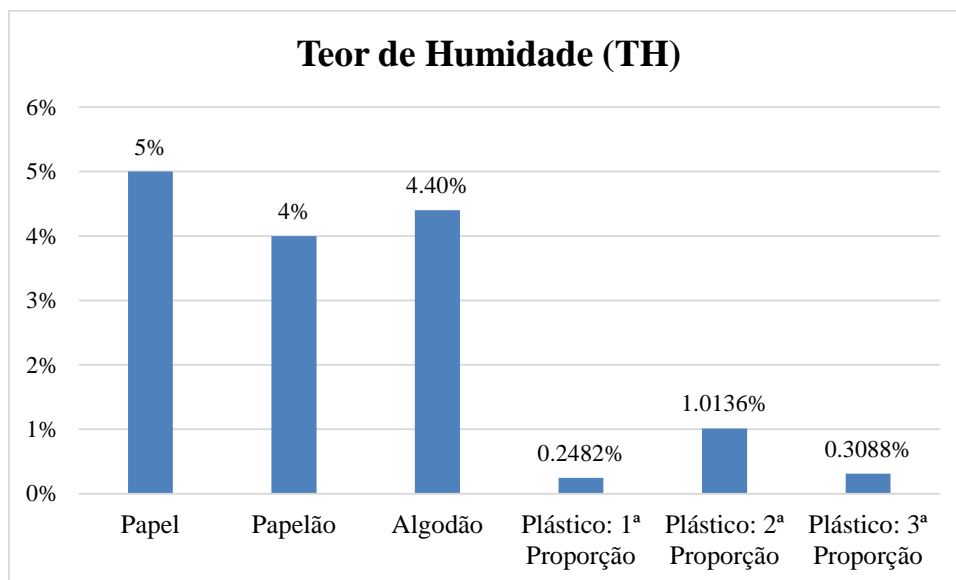
Fonte: Autora (2025)

#### 4.3. Análise das características físico-químicas e energéticas dos resíduos

Com base nos resultados apresentados na tabela 2, esboçou-se gráficos, com o intuito de facilitar a análise comparativa das características físico-químicas e/ou energéticas das

amostras em estudo. Esta análise, visa ainda, facilitar a comparação dos resultados obtidos neste estudo com resultados obtidos em estudos relacionados, de modo a aferir o potencial energético das amostras analisadas e verificar qual delas é a melhor para gerar energia.

#### 4.3.1. Análise do Teor de Humidade (TH ou $W_M$ )



**Gráfico 1:** Comparação do teor de humidade entre as amostras.

**Fonte:** Autora (2025)

Como se lê em Ibam (2001), humidade é a quantidade de água presente numa amostra de resíduos, medida em percentagem em função do peso da amostra.

Segundo Bezerra (2016), o teor de humidade influencia de forma negativa no valor do Poder Calorífico, pelo que, é de extrema importância que os resíduos possuam menores valores de humidade, visto que altos valores impedem que o material alcance bons rendimentos como combustível.

A humidade é um factor crítico na combustão dos materiais, uma vez que pode afectar directamente a eficiência da queima. Os materiais com alto teor de humidade requerem mais energia para evaporar essa água durante a queima, o que reduz a disponibilidade de calor para a geração de vapor. Ademais, a presença excessiva de humidade pode levar à formação de fumaça, deposição de cinzas e emissão de poluentes, prejudicando a qualidade do processo e a conformidade ambiental. Em suma, a humidade do material afecta directamente o poder calorífico e a eficiência da combustão, assim, quando o teor de humidade é muito alto, o calor gerado durante a queima é utilizado para evaporar a

água, o que diminui a temperatura do processo e, conseqüentemente, a eficiência de geração de energia.

Outrossim, os valores recomendados de teor de humidade em combustíveis variam de acordo com o material em causa, deste modo, de acordo com Souza *et al.* (2018) o teor de humidade do papel, quando utilizado como combustível, geralmente não deve ultrapassar 10% a 15%, pois, níveis elevados podem afectar a eficiência da combustão e reduzir o poder calorífico do material.

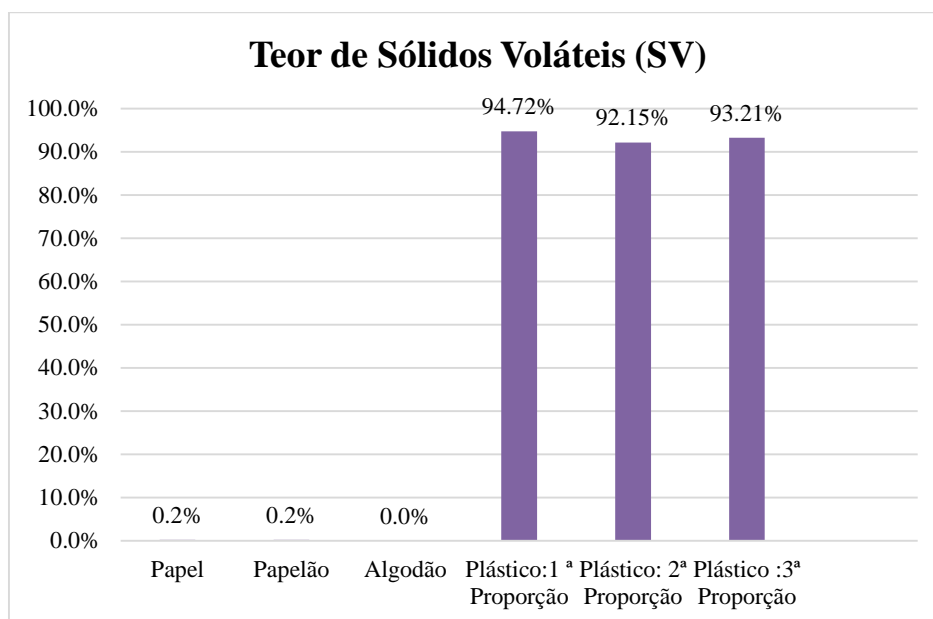
Semelhante ao papel, o papelão deve ter um teor de humidade inferior a 15%, assim sendo, para um desempenho ideal, a humidade deve ser mantida dentro de níveis que favoreçam a combustão completa. (PINTO *et al.*, 2016).

Uma vez que o algodão é uma fibra natural, possui maior capacidade de absorção de água, pelo que, para sua utilização como combustível, o teor de humidade ideal fica entre 10% e 12% (FERREIRA *et al.*, 2020).

Na concepção de Costa *et al.*(2017), o plástico não é tradicionalmente utilizado como combustível em grandes quantidades devido à sua combustão incompleta e à emissão de poluentes. No entanto, em algumas aplicações de recuperação energética, o teor de humidade do plástico deve ser o mais baixo possível (geralmente abaixo de 5%).

Analisando os resultados apresentados no gráfico 1, pode-se afirmar que no concernente ao teor de humidade, todas as amostras mostram valores favoráveis para seu uso como combustíveis ou fontes de energia, peso embora, as amostras de algodão mostrem valores diferentes dos recomendados (muito abaixo dos recomendados). Uma vez que os valores obtidos estão abaixo e não acima dos recomendados, o algodão tem sim um teor de humidade favorável para uso como combustível (fonte de energia). Por outro lado, as amostras de plástico, figuram valores muito favoráveis – os recomendados (abaixo de 5%), destacando-se a primeira proporção de plástico (0.2482%).

### 4.3.2. Análise do Teor de Sólidos Voláteis (SV ou V)



**Gráfico 2:** Comparação do teor de sólidos voláteis entre as amostras.

**Fonte:** Autora (2025)

A matéria volátil de um combustível de resíduos sólidos urbanos é o vapor libertado quando o combustível é aquecido, isto é, representa a parte do combustível que se separa na forma de gases quando o combustível é submetido a um teste padrão de aquecimento (BLANCO, 2013).

Segundo o gráfico 2, os valores de matéria volátil das amostras são: 0.0% - algodão; 0.2% - papel e papelão; 92.15% - 2ª proporção de mistura de plástico; 93.21% - 3ª proporção de plástico e 94% - 1ª proporção de plástico.

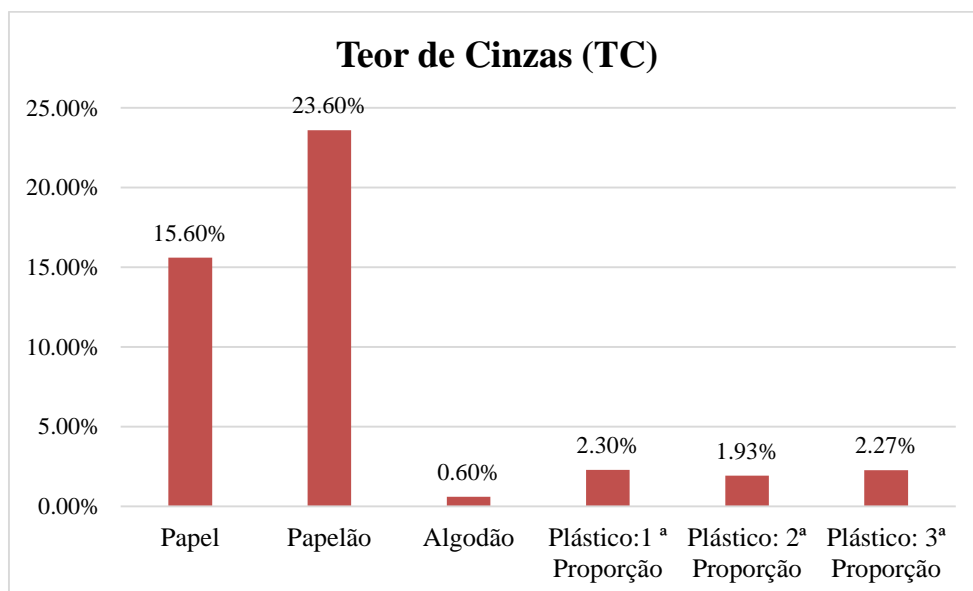
Santana *et al.* (2016), afirmam que, em combustão, a quantidade de matéria volátil é crucial, pois ela afecta directamente a eficiência da queima. Materiais com maior conteúdo de matéria volátil tendem a ter uma combustão mais eficiente, liberando mais energia rapidamente e, de acordo com Brand (2010), baixos teores de materiais voláteis tendem a altos teores de carbono fixo nos resíduos secos, ou seja, eles poderão requerer longo tempo de residência na fornalha para queima total.

Importa ressaltar que, a norma ISO 1350-1984 *apud* Macamo & Boane (2023), recomenda valores de teor de matéria volátil na faixa entre 5 a 70%, portanto, é necessário que esses valores sejam altos, pois, os voláteis são constituintes indesejados para os combustíveis, pelo facto destes reduzirem o seu poder calorífico. No entanto, nessa pesquisa, os valores de matéria volátil obtidos, estão abaixo ou acima do recomendado.

Contudo, pode-se dizer que as amostras de plástico apresentam valores consideráveis e que podem levar a resultados satisfatórios, comparando-os com outras amostras, já que a energia será libertada mais rapidamente, tornando a combustão mais eficiente.

Importa referir que, Vieira (2014) *apud* Macamo & Boane (2023) afirma que valores de matéria volátil acima dos recomendados contribuem para um potencial relativamente menor em relação ao esperado, pois a matéria volátil tende a evaporar mais rápido, reduzindo assim o tempo de permanência do combustível dentro do aparelho de combustão e, conseqüentemente reduzindo o rendimento do combustível.

#### 4.3.3. Análise do Teor de Cinzas (TC ou A)



**Gráfico 3:** Comparação do teor de cinzas entre as amostras.

**Fonte:** Autora (2025)

De acordo com Ohana (2012) *apud* Nunes (2019), o Teor de Cinzas é um material mineral inerte e não consumível. Isto é, representa a parte da amostra composta por material não volátil e inorgânico (MACAMO & BOANE, 2023).

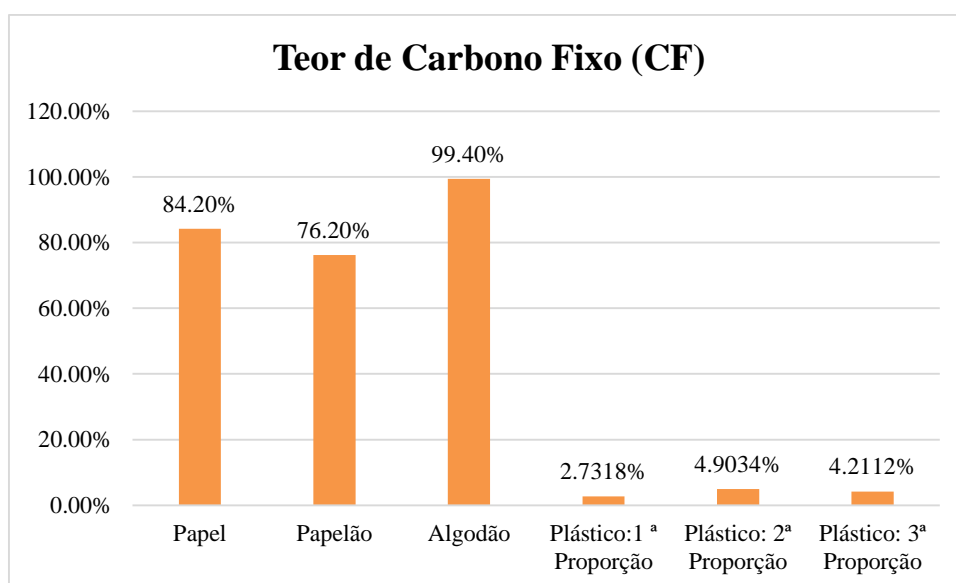
O teor de cinzas indica a quantidade de material inorgânico (minerais, metais e outros componentes não combustíveis) presente no combustível.

McKendry (2002) afirma que, o teor de cinza diminui o poder calorífico superior e prejudica o processo de geração de energia, portanto quanto menor o teor de cinza melhor o rendimento energético.

Segundo afirma Oshiro (2016) *apud* Chachuaio & Boane (2023), um bom combustível sólido deve ter um conteúdo de cinzas inferior a 3%. Portanto, teor de cinzas é uma propriedade indesejável, já que altos teores de cinzas levam a uma diminuição de eficiência por causa do aumento do consumo de oxigênio para fazer derreter as cinzas, facto que obviamente, acaba afectando a transferência de calor ( FIGUEIREDO *et al.*, 2020 *apud* MACAMO & BOANE, 2023).

Neste âmbito, analisando os resultados figurados no gráfico 3, as amostras as amostras de papel e papelão não têm teores cinzas favoráveis para uso em processos de geração energética, pois, possuem valores muito acima dos limites estabelecidos (15.60% e 23.60%, respectivamente). Por outro lado, as amostras de plástico e algodão, têm teores de cinzas favoráveis para uso em geração de energia, os valores estão abaixo dos limites estabelecidos.

#### 4.3.4. Análise do Teor de Carbono Fixo (CF)



**Gráfico 4:** Comparação do teor de carbono fixo entre as amostras.

**Fonte:** Autora (2025)

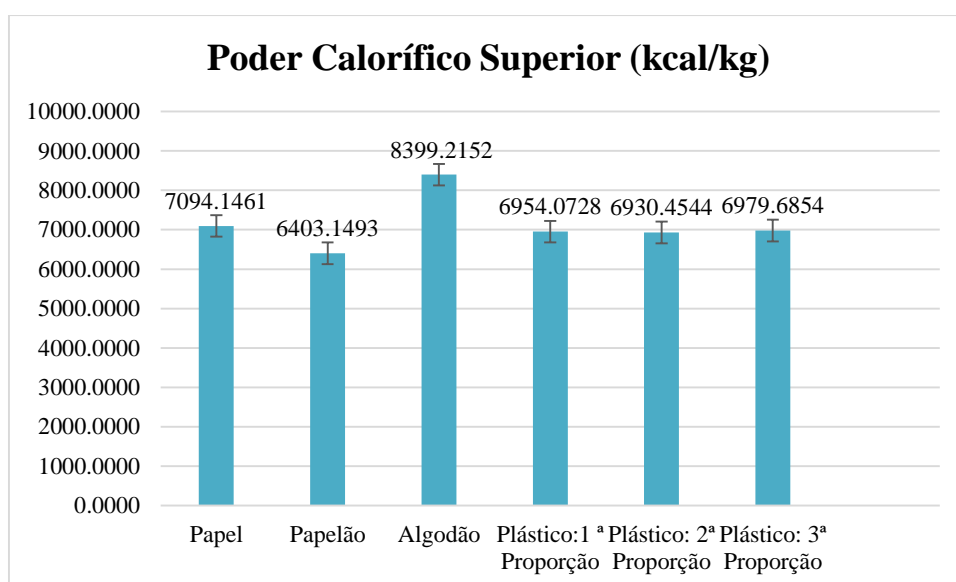
Como se lê em Mckendry (2002), o teor de carbono fixo corresponde à massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de humidade. É o parâmetro responsável pelo poder calorífico (CASTRO, 2011 *apud* NUNES, 2019).

De acordo com Alves (2014) *apud* Simango & Boane (2023), para uma combustão maior, percentuais de carbono fixo são preferíveis, pois indicam que a queima do material é mais lenta, como resultado, apresentam mais tempo de permanência nos equipamentos de

queima e, conseqüentemente, possuem um rendimento elevado quando comparados com os combustíveis de menor teor de carbono fixo. Combustíveis com teores elevados de carbono fixo são preferíveis, devido à estabilidade térmica e elevado poder energético (NEVES *et al.*, 2011).

Diante do exposto e, considerando os resultados apresentados no gráfico 4, constata-se que as amostras de plástico, possuem baixos teores de carbono fixo, tais que não são favoráveis para geração de energia. Por outro lado, as amostras de papel, papelão e algodão, possuem altos teores de carbono fixo, estes que são favoráveis em processos de geração energética.

#### 4.3.5. Análise do Poder Calorífico Superior (PCS)



**Gráfico 5:** Comparação do poder calorífico superior entre as amostras.

**Fonte:** Autora (2025)

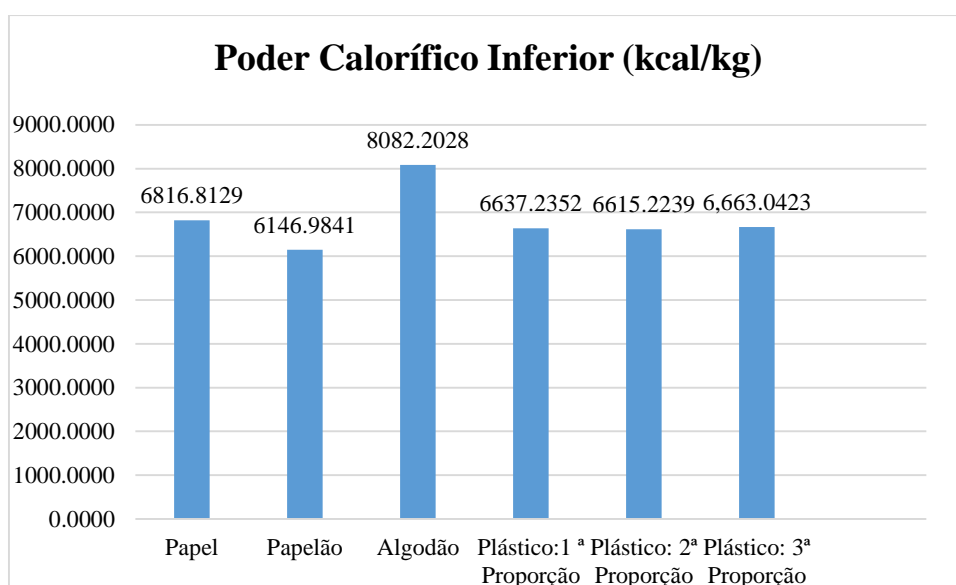
O poder calorífico de um combustível é uma medida essencial para avaliar seu potencial energético e sua eficiência térmica. Ele pode ser expresso como Poder Calorífico Superior (PCS) ou Poder Calorífico Inferior (PCI), dependendo de como a energia liberada na combustão é contabilizada (MORAN & SHAPIRO, 2014).

Conforme afirma Lourinho (2012), o poder calorífico superior é definido como a quantidade de calor liberado por unidade de massa (ou volume) de combustível, considerando que é condensada a água de formação (água formada pela oxidação do hidrogênio molecular) e da humidade da biomassa (SCHIMER, 2017).

Segundo Brand (2010), quanto maior o seu valor mais qualificado é o combustível para uso na geração de energia térmica.

Neste contexto, considerando os resultados avançados no gráfico 5, o algodão apresenta maior poder calorífico superior relativamente às outras amostras, com 8399.2152 kcal/kg, valor este que é muito favorável e pode conduzir a resultados satisfatórios em processos de geração de energia. Ademais, importa referir que as amostras de papel, papelão e plástico, apesar de figurarem PCS mais baixos que o algodão, também possuem valores de poder calorífico superior elevados, assim sendo, também podem ser usadas para a geração de energia.

#### 4.3.6. Análise do Poder Calorífico Inferior (PCI)



**Gráfico 6:** Comparação do poder calorífico inferior entre as amostras.

**Fonte:** Autora (2025)

Calegari *et al.* (2005) & Van Wylen (1998) *apud* Klautau (2008) afirmam que o PCI é a quantidade de calor libertado durante a combustão sendo que a água está no estado de vapor e, corresponde a quantidade de calor útil para acontecer a queima da biomassa, esta análise retrata melhor a qualidade do combustível.

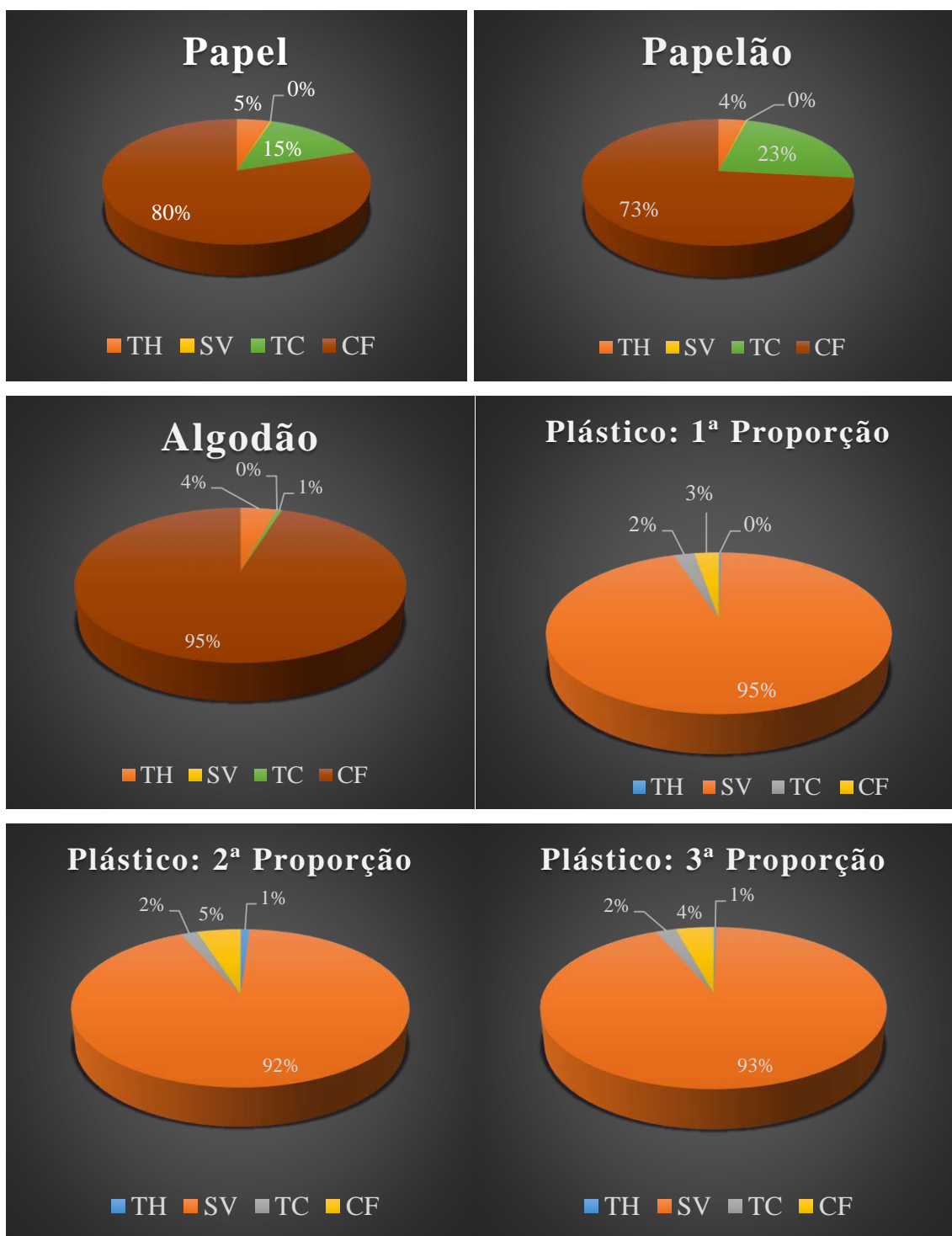
De acordo com Schimer *et al.* (2017), como o PCS é um valor teórico, é necessário converter o PCS em PCI, para levar em conta a situação real em que se encontra a biomassa, para então avaliar a viabilidade energética.

Por outro lado, Mabasso & Boane (2024) afirma que tanto o poder calorífico inferior (PCI) como o poder calorífico superior (PCS) são formas, obviamente, do poder

calorífico, que mede a quantidade de energia interna existente numa determinada substância. Porém, como a temperatura dos gases de combustão é muito elevada nas máquinas térmicas, a água contida nestas encontra-se sempre no seu estado de vapor. Isto quer dizer que se deverá sempre considerar o poder calorífico inferior, e não o superior, isso de acordo com o site de goldenergy acessado no dia 21/11/2023 (MABASSO & BOANE, 2024). Neste contexto, quanto maior for o poder calorífico inferior do combustível, maior será a energia contida nele.

Analisando, os resultados apresentados no gráfico 6, vê-se que as amostras de algodão figuram alto PCI (8082.2028 kcal/kg) em relação às demais e, considerando o supracitado, podemos afirmar que neste contexto, o algodão tem grande quantidade de energia. No entanto, isso não significa que as demais amostras analisadas não têm potencial energético favorável para seu uso na geração de energia, pois, também apresentam altos valores de PCI.

#### 4.4. Análise do Potencial Energético



**Gráfico 7:** Comparação do potencial energético entre as amostras.

**Fonte:** Autora (2025)

Segundo Marfon *et al* (2016) *apud* Simango & Boane (2023), a potencialidade de qualquer combustível depende de características termoquímicas. Estas que, foram determinadas por análise proximal e, estão representadas no gráfico 7.

Segundo o gráfico 7, as amostras de papel e papelão figuram alto índice de teor de carbono fixo, o que é bom para um combustível, pois, alto teor de carbono fixo implica, maior tempo de permanência do combustível no equipamento de queima e, conseqüentemente, maior quantidade de energia libertada por unidade de massa. Por outro lado, as amostras de papel figuram baixo teor de sólidos voláteis, baixo teor de humidade e baixo teor de cinzas, fazendo desta amostra um potencial combustível.

Outrossim, as amostras de algodão, figuram o mais alto índice de teor de carbono fixo (característica muito desejável e determinante do poder calorífico e conseqüentemente, do potencial energético do combustível) e, o mais baixo teor de matéria volátil, teor de cinzas e teor de humidade, essas que são características indesejáveis para fins energéticos, já que afectam negativamente o poder calorífico, reduzindo assim a eficiência energética do combustível. Por conseqüência, as amostras de algodão tem um grande poder calorífico e são mais favoráveis para uso na geração de energia comparativamente às outras amostras.

Por outro lado, analisando os resultados figurados pelas amostras de plástico nas três proporções, constata-se que estas, contrariamente às amostras acima descritas (papel, papelão e algodão), figuram elevados valores de teor de matéria volátil o que, faz com que estas amostras tenham conseqüentemente, teores mais baixos de carbono fixo, o que significa que volatilizam com mais facilidade, ou seja, permanecem no equipamento de queima por pouco tempo e, libertam menor quantidade de energia por unidade de massa.

Assim sendo, peso embora as amostras de plástico figurem teores de cinza e de humidade baixos (o que é desejável para um combustível), estes não permanecerão por muito tempo no equipamento de queima, sendo por isso menos eficiente que as amostras de papel, papelão e algodão.

Ademais, é de referir que todas as amostras possuem um potencial energético satisfatório para geração de energia, podendo ser usadas como fonte de energia e assim, dá-las um destino mais eficiente e sustentável.

#### **4.5. Sustentabilidade e viabilidade da geração de energia a partir de resíduos hospitalares**

De acordo com Tisi (2019), a recuperação de energia dos resíduos sólidos se traduz em benefícios estratégicos, haja vista que contribui como fonte alternativa de energia;

benefícios ambientais, porquanto contribui para a mitigação de GEE; benefícios sócio-económicos, oriundos do desenvolvimento de tecnologia nacional e emprego de mão de obra, tanto qualificada quanto não qualificada, nas várias etapas do processo de recuperação energética a partir de resíduos. O desperdício, por outro lado, acarreta ônus para o poder público e para os cidadãos.

A recuperação energética de resíduos hospitalares é uma alternativa cada vez mais considerada no contexto da gestão sustentável de resíduos de serviços de saúde (RSS). Esse tipo de resíduo, composto por materiais potencialmente infecciosos, químicos e perfurocortantes, exige tratamento específico antes do descarte final. Neste contexto, a recuperação energética, quando feita de forma controlada e tecnológica, pode representar uma solução mais sustentável que o simples descarte em aterros sanitários, especialmente considerando os riscos biológicos e químicos dos resíduos hospitalares (SILVA *et al.*, 2021).

Segundo Almeida & Barbosa (2018), comparada a outras formas de tratamento, como autoclavagem (esterilização a vapor) ou tratamento químico, a recuperação energética tem a vantagem de destruir completamente agentes patogénicos e gerar energia como subproduto.

Gomes & Andrade (2020) afirmam que, a incineração com recuperação energética permite reduzir significativamente o volume dos resíduos e, ao mesmo tempo, gerar energia térmica ou elétrica, o que contribui para a mitigação da dependência de combustíveis fósseis.

A recuperação energética não substitui as estratégias de redução e segregação de resíduos, mas pode complementar um sistema de gestão eficiente, especialmente em locais onde a disposição final segura ainda representa um desafio (ABRELPE, 2020).

Como referiu Chachuaio & Boane (2023), a recuperação energética de resíduos hospitalares, pode ajudar na gestão e destinação correcta desses resíduos, evitando desperdício de matéria-prima, assim como a reduzir gradualmente o incremento progressivo do desflorestamento, preservando desta forma o meio ambiente.

Entretanto, há desafios associados, como os altos custos de instalação e operação das unidades de recuperação energética, além da necessidade de monitoramento rigoroso das emissões de dioxinas, furanos e metais pesados (MATOS & PEREIRA, 2019). A sustentabilidade dessa prática depende, portanto, da conformidade com normas

ambientais, da educação ambiental dos envolvidos e da integração com políticas públicas de saúde e meio ambiente.

Embora o investimento inicial para a implementação de tecnologias de recuperação energética seja elevado, os custos podem ser compensados a longo prazo com a geração de energia (elétrica ou térmica) e a redução de despesas com transporte e disposição final de resíduos perigosos. Além disso, em alguns contextos, a venda da energia gerada pode representar uma fonte de receita (GOMES & ANDRADE, 2020).

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

#### 5.1. Conclusão

Terminado o estudo, concluiu-se que:

- ✓ O sistema de gestão dos resíduos hospitalares gerados no centro de saúde José Macamo ainda é deficiente e, pode ser melhorada pois, peso embora os resíduos hospitalares sejam segregados ou separados, os profissionais de saúde ainda misturam alguns resíduos (tanto que, no lixo comum, encontrou-se máscaras usadas, luvas e algodão). Por outro lado, no centro de saúde são gerados diversos resíduos, que são destinados às lixeiras municipais e à incineração sem recuperação energética, desperdiçando assim, matéria-prima para a geração de energia (eléctrica ou térmica).
- ✓ As características físico-químicas dos resíduos hospitalares são, teor de humidade, teor de matéria volátil, teor de cinzas e teor de carbono fixo e, das análises laboratoriais feitas nos resíduos, pode-se concluir que, quanto maior for o teor de carbono fixo do resíduo; quanto menor for o teor de sólidos voláteis, teor de cinzas e teor de humidade, mais qualificado é o material (resíduo) para a geração de energia, pois, com estas características, maior é o poder calorífico do resíduo e, por consequência, maior é o potencial energético dos resíduos.
- ✓ Todas as amostras analisadas, têm um potencial energético favorável, mostrando-se potenciais alternativas para geração de energia, destacando-se o algodão.
- ✓ Com base no potencial energético dos resíduos analisados e, tomando em consideração os benefícios do uso dos resíduos hospitalares como fonte de energia, é viável gerar energia a partir dos resíduos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo.

Assim sendo, pode-se afirmar que os resíduos sólidos hospitalares gerados no Centro de Saúde José Macamo têm elevado potencial energético, podendo por isso, ser usados como fonte alternativa para a geração de energia.

## 5.2. Recomendações

Tomando em consideração as dificuldades enfrentadas durante a realização das atividades laboratoriais (trabalho experimental) no laboratório da FCNM da UPM, como por exemplo a falta de alguns materiais laboratoriais (cadinhos, tampas de cadinhos, cápsulas de porcelana), recomenda-se aos funcionários e especialmente aos estudantes que por lá passam, a manusearem os materiais e equipamentos laboratoriais de modo a não quebrá-los ou estragá-los.

Ao sector de salubridade do Hospital Geral José Macamo, recomenda-se que seja muito mais rigoroso no concernente ao cumprimento e controle de todas as etapas de gestão de resíduos hospitalares, de modo a evitar casos de mistura de resíduos de categorias diferentes, o que pode perigar a saúde dos agentes de limpeza (enquanto manuseiam os resíduos) assim como as comunidades onde se encontram as lixeiras onde o lixo comum é depositado.

Recomenda-se ainda que adoptem estratégias e tecnologias mais sustentáveis de gestão e destinação dos resíduos gerados no Hospital Geral José Macamo, como recuperação energética.

À comunidade científica, recomenda-se que desenvolva-se estudos mais aprofundados e abrangentes sobre recuperação energética de resíduos hospitalares, podendo-se usar outras amostras (já que são gerados vários resíduos); trabalhar em outros departamentos do Hospital Geral José Macamo, como o banco de socorro; quantificar os os resíduos de modo a determinar o potencial de geração e recuperação energética dos resíduos e, fazer estudos similares em outros hospitais (como por exemplo o Hospital Central de Maputo).

## 6. Referências bibliográfica

1. ABRELPE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020*. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2020;
2. ADEROJU, O. M. *The Optimization of Municipal Solid Waste as a Potential Energy source for Power Generation and Sustainable Development in Nigeria*. Faculdade de Ciências da Universidade Porto. Porto. 2019;

3. ADORNO, João. Paulo. *Substituição de gás natural em um sistema de secagem de Briquetes através da utilização do gás proveniente do reator de redução de minério de ferro: Estudo de caso*. São Paulo. Trabalho de Culminação de Curso. 2015;
4. AFONSO, C. P. M. *Gestão de Resíduos Hospitalares, Estudo de caso: CHL – Hospital de Stº André- Leiria*. Dissertação científica para obtenção do grau de Mestrado em Gestão de Recursos da Saúde. Escola Superior de Tomar. Tomar. Instituto Superior de Tomar. 2015. 273p;
5. ALBUQUERQUE, M. S. *et al.* “Waste-to-Energy: potencialidades e contextualização da sua aplicação no Brasil”. In: *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*. v. 17. n. 4. São José dos Pinhais. 2024. pp. 1-23;
6. ALMEIDA, C. L. & BARBOSA, J. M. “Tecnologias limpas para o tratamento de resíduos hospitalares: uma abordagem sustentável.” *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*. 2018. pp. 33-49;
7. AMADE, Neves Alfredo & BOANE, Alberto A. *Avaliação do potencial energético dos resíduos descartados no mercado xipamanine na cidade de Maputo*. Monografia científica para obtenção do grau académico de licenciatura em ensino de Química. Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo. Universidade Pedagógica, 2022. 59p;
8. ANDRADE, M. M. *Introdução à Metodologia de Trabalho Científico*. 8ª ed. São Paulo. Editora Atlas S. A. 2007;
9. ANVISA. *Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde*. Editora ANVISA. Brasília. 2006;
10. BAMBO, O. M. *Proposta De Um Sistema De Gestão De Resíduos Hospitalares Para O Centro De Saúde De Xipamanine*. Relatório de Estágio Profissional do grau de licenciatura em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia. Maputo. Universidade Eduardo Mondlane. 2020. 73p;
11. BARROS, R. T. V. *Elementos de gestão de resíduos sólidos*. Belo Horizonte: Tessitura. 2012;
12. BEZERRA, J. M. M. *Estudo do Potencial Energético de Briquetes Produzidos a partir de Resíduos da Casca de Coco Verde e Bagaço de Cana*. Monografia científica para obtenção do grau académico de licenciatura em Engenharia Mecânica. Fortaleza. Universidade Federal do Ceará. 2016. 49p;

13. BLANCO, K. M. *Aproveitamento da biomassa remanescente da colheita de cana-de-açúcar para cogeração*. Dissertação científica para a obtenção do grau de mestrado em Pós-Graduação em Bioenergia. Universidade Estadual de Maringá-UEM. Maringá. 2013;
14. BOANE, A. *Geração do Bio Hidrogénio a partir de resíduos pecuários*. Dissertação de Mestrado para obtenção do grau académico de Mestre. Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo. Universidade Pedagógica. 2017;
15. BRAGA, J & MORGADO, E. *Guia do Ambiente- Desenvolvimento Sustentável: oportunidade inadiável*. 1ª ed. MONITOR, LDA. Lisboa. 2012;
16. BRAND, M. A. *Energia de biomassa florestal*. Interciência. Rio de Janeiro. 2010;
17. CHACHUAIO, L. J & BOANE, A. A. *Avaliação do Potencial Calorífico dos Resíduos Sólidos Agrícolas para fins Energéticos: Um estudo de Caso de Cápsula de amendoim*. Monografia científica para obtenção do grau de Licenciatura em Ensino de Química. Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo. Universidade Pedagógica. 2023. 67p;
18. CARNEIRO, A. de C. O. *Aproveitamento de Resíduos Agrícolas e Florestais para Produção de Briquetes para Geração de Energia*. Viçosa. 2012;
19. CORRÊA, L. C. *Alternativa para o Plástico: Reciclagem Energética*. 2012;
20. COSTA, M. D. A. *Resíduos de Serviços de Saúde*. Monografia científica para obtenção do grau de licenciatura em Gestão Ambiental. Rio de Janeiro. Universidade Candido Mendes. 2009;
21. Decreto no 8/2003 de 18 de Fevereiro (Regulamento Sobre a Gestão de Lixos Biomédicos);
22. DGS. *Resíduos Hospitalares (Documento de orientação): Direção de Serviços de Prevenção da Doença e Promoção da Saúde. Divisão de Saúde Ambiental e Ocupacional*. [online]. Disponível em URL: <http://www.dgs.pt/upload/membro.id/ficheiros/i013690.pdf>. Publicado em 2014;
23. ENGELMANN, F. IR Cologne at Germ Eval 2021: Toxicity Classification. 2021;
24. FENG, J., LIU, X., YANG, H., ZHANG, Y., & XIE, Q. Recent Advances in Catalytic Gasification of Biomass to Produce Hydrogen-Rich Syngas: A Review. *Frontiers in Energy Research*, v. 9, 2021;
25. FORTES, António. *Importância das energias renováveis no quotidiano: percepções dos alunos da escola secundária de anguabe sede*. Maputo. 2019;

26. FERREIRA, J. M. *et al.* "Propriedades combustíveis de fibras naturais." *Journal of Combustion Science*. v. 58. 2020. pp. 112-118;
27. FRÖHLICH, B. *Impactos Ambientais dos Resíduos Sólidos dos Serviços de Saúde*. Monografia científica para a obtenção do grau de licenciatura em Ciências Biológicas. Cerro Largo. Universidade Federal da Fronteira Sul. 2016. 41;
28. GENTIL, L. V. *Produção e uso de energético de biomassa e resíduos agroflorestais. Tecnologias aplicadas ao sector madeireiro III*. Rio Branco: Suprema. 2008;
29. GIL, António C. *Métodos e técnicas de pesquisasocial*. São Paulo: Atlas. 2009;
30. GIZ. *Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management*. [Online] Disponível em URL: [https://www.giz.de/en/downloads/GIZ\\_WasteToEnergy\\_Guidelines\\_2017.pdf](https://www.giz.de/en/downloads/GIZ_WasteToEnergy_Guidelines_2017.pdf). 2017;
31. GOMES, L. A. & ANDRADE, R. T. "Avaliação do potencial de recuperação energética de resíduos hospitalares em centros urbanos." *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. 2020. pp. 471-478;
32. GONÇALVES, M. *Gestão de resíduos hospitalares: conhecimentos, opções e percepções dos profissionais de saúde*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa. Universidade Nova de Lisboa. 2005;
33. IBAM. *Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM. 2001;
34. ISO 1171:2010(E), Solid mineral fuels - Determination of ash;
35. ISO 11722:2013(E), Solid mineral fuels-Hard coal-Determination of moisture in the general analysis test samples by drying in nitrogen;
36. ISO 17246:2010(E), Coal – Proximate analysis;
37. ISO 562:2010(E), Hard coal and coke-Determination of volatile matter;
38. ISO 687, Solid mineral fuels-Coke-Determination of moisture in the general analysis test samples;
39. JAYAH, A. T.; TIAN, H.; GURAGAIN, R. P. A review on recent advancements and challenges in gasification of various feedstocks. *Fuel Processing Technology*, v. 232, p. 107, 2022;
40. KLAUTAU, J. V. P. *Análise Experimental de uma Fornalha a lenha de Fluxo Coênte Para Secagem de Grãos*. Dissertação (mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) PPGERHA. UFPR. Curitiba. 2008;

41. LAVILLE, C. & DIONNE, J. *A construção do saber: Manual de metodologia de pesquisa em ciências humanas*. UFMG. Belo horizonte. 1999;
42. LIMA, S. C.; SILVA, J. J & MENDES, P. C. *Saúde Ambiental, território e promoção da saúde em Maputo, Moçambique*. Assis Editora. Uberlândia. 2018;
43. LOURINHO, G. *Avaliação do potencial energético em Biomassa de alto Alentejo*. Porto Alegre. 2012;
44. MABASSO, D. J & BOANE, A. A. *Avaliação do Potencial Calorífico das Misturas dos Resíduos Agrícolas para Fins Energéticos: Uma Contribuição Para a Valorização Energética dos Resíduos de Pé de Milho, Pé de Feijoeiro e Pé de Amendoim, Por Tecnologias WTE*. Monografia Científica para obtenção do grau de Licenciatura em Ensino de Química. Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo. Universidade Pedagógica. 2024. 65p;
45. MACAMO, F. J & BOANE, A. A. *Mapeamento, Triagem e Caracterização Energética de Resíduos Plásticos: Um Estudo de Possibilidade de Geração de Energia por Tecnologias WTE em Manhiça-Maputo*. Monografia Científica para obtenção do grau de Licenciatura em Ensino de Química. Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo. Universidade Pedagógica. 2023. 99p;
46. MARCONI, M. De A & LAKATOS, E. M. *Metodologia Científica*. 6ª ed. São Paulo. Editora Atlas S. A. 2011;
47. MATOS, A. C. & PEREIRA, F. C. "Emissões atmosféricas da incineração de resíduos hospitalares: Uma revisão sistemática." *Revista Ambiente & Sociedade*. 2019;
48. MCKENDRY, P. *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass*. Bioresource Technology. Volume 83, Número 1. 2002. pp. 37-46;
49. MENDES, F. M. *et al.* "Biomass pyrolysis: an overview." *In Biomass Volume Estimation and Valorization for Energy*. Springer, Cham, 2019. pp. 53-84;
50. MONTEIRO, José Henrique Penido. *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro. 2001;
51. MOTA, J. C *et al.* *Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: Uma visão conceitual*. [online] Disponível na Internet via [WWW.URL:https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21942](https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21942) . Arquivo acessado aos 22 de Agosto de 2023;
52. MORAN, M. J. & SHAPIRO, H. N. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. 8<sup>th</sup> ed. Wiley. 2014;

53. MUTZ et al. *Opções em Waste to Energy na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos*. 2017;
54. NEVES, T. A. et al. "Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal." *Pesquisa Florestal Brasileira*. v. 31. n. 68. 2011. p. 319;
55. NOGUEIRA, Y. C. T. *Viabilidade Técnica e Econômica de Usinas "Waste-To-Energy"*. Monografia científica para a obtenção do grau de licenciatura – Departamento de Engenharia Mecânica. Brasília. Universidade de Brasília. 2015. 85p;
56. NOVAIS, S. A. *Combustíveis*. Brasil Escola. [online] Disponível via URL: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/com>. Acessado em 04 de Junho de 2025;
57. NUNES, J. V. da S. *Desenvolvimento de molde para produção de briquetes e análise de biomassas*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2019. 105 Páginas. Disponível em: <https://www.repositorio.ufc.br/handle/riufa-54710>;
58. OLIVEIRA, A. C.; SANTOS, M. E.; LIMA, J. T. "Avaliação do poder calorífico de resíduos sólidos hospitalares para fins energéticos." *Revista Brasileira de Energias Renováveis*. 2018. pp. 89-101;
59. PARATELLI, P. P. R. *Tecnologias Waste- To- Energy: Conceito e Aplicação no Cenário Brasileiro de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos*. Trabalho de conclusão de curso para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Ambiental. Instituto de Ciências e Tecnologia de Sorocaba. Sorocaba. Universidade Estadual Paulísta (UNESP). 2022;
60. PINTO, A. F. et al. "Comportamento térmico e combustão do papel e papelão para processos energéticos." *Energia e Sustentabilidade*. v. 34. 2016. pp. 15-23;
61. POLI, Dora. et al. *Uma avaliação das Metodologias para Determinação do Poder Calorífico dos resíduos sólidos urbanos*. *Revista de ciências exactas e tecnologia*, 2014;
62. PORTUGAL. Ministério da Saúde. *Despacho nº 242/96*. Diário da República. 2ª série, nº 187, de 13 de agosto de 1996;
63. República de Moçambique, Boletim da República: Decreto – lei que regula a gestão de resíduos em Moçambique. In: Boletim da República, 13 /2006 De 15 de Junho de 2006;

64. PRODANOV e FREITAS. *Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico*. 2ª Edição. Rio Grande do Sul. 2013;
65. QUIRINO, W. F. & BRITO, J. O. *Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal*. n. 13. Brasília. DF: IBAMA. Laboratório de Produtos Florestais. 1991;
66. SANTANA, L. L.; PINTO, A. F. & SOUZA, M. E. "Estudo da influência da matéria volátil na queima de biomassa". *Biomassa e Energia*. 2016. pp. 110-118;
67. SANTOS, A. F. *Indicadores de produção de resíduos hospitalares em centros de saúde– caso do concelho do barreiro*. Lisboa. 2013;
68. SCHIMER, W. N. *et al.* "Caracterização de Biomassa Residual de Fábrica de Papel-Cartão para Aproveitamento Energético." In: *Revista em Agronegócio em Meio Ambiente*. v. 10. n. 4. Brasil. 2017. pp. 1113-1132;
69. SCHNEIDER V. E *et al.* *Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Sector Agrossilvopastoril e Agroindustriais Associadas*. Relatório de Pesquisa. Instituto de Pesquisa Agronomica Aplicada – IPEA. 2012.
70. SILVA, Igor Cesar. *O reaproveitamento energético como solução para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do brasil: Análise de viabilidade técnica, económica e ambiental*-Trabalho de conclusão do Curso. Palhoça. 2013;
71. SILVA, R. J.; GONÇALVES, D. A.; MENDES, F. R. "Potencial energético de resíduos sólidos urbanos e hospitalares". *Revista Tecnologia e Ambiente*. 2019. pp. 55-67;
72. SILVA, M. H. C. da & CLEBER, L. N. F. de L. *Resíduos sólidos: o uso da gestão ambiental como ferramenta para o manejo adequado do lixo urbano*. [online] Disponível na Internet via [WWW.URL:https://brazilianjournals.com](https://brazilianjournals.com). Arquivo publicado em 2020;
73. SILVA, P. R.; ROCHA, G. M. & COSTA, A. S. "Gestão ambiental de resíduos hospitalares: Desafios e perspectivas para o Brasil." *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*. 2021. pp. 58-72;
74. SIMANGO, A. J & BOANE, A. A. *Análise do potencial calorífico de Resíduos sólidos agrícolas para fins energéticos: Um estudo comparativo entre pé - de - milho e pé - de - feijoeiro*. Monografia científica para obtenção do grau académico de Licenciatura, Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo,.Universidade Pedagógica. 2023. 77p;

75. SÍSINNO, C. L. S & OLIVEIRA, R. M. de. *Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar*. Rio de Janeiro. FIOCRUZ. 2006;
76. SOUZA, Alexandre Pereira de. *Análise da capacidade atual de tratamento e disposição final de resíduos de serviço de saúde gerados no estado do rio de janeiro, com recorte da região hidrográfica do guandu*. Dissertação científica para a obtenção do grau de mestrado em Planejamento Ambiental. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Rio de Janeiro. 2011;
77. SOUZA, C. L. *et al.* "O impacto da humidade no poder calorífico de materiais de biomassa." *Revista Brasileira de Engenharia*. v.23. n. 4. 2018. pp. 77-85;
78. SPIRO, T. G. & STIGLIANI. *Química Ambiental*. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall. 2009;
79. TAVARES, A. M. B. *A Gestão de Resíduos Hospitalares e o Papel da Autoridade de Saúde: Caso do Conselho da Amadora*. Dissertação de candidatura ao grau de Doutor em Saúde Pública na especialidade de Saúde Ambiental. escola Nacional de Saúde Pública. Universidade Nova de Lisboa. 2004. 421p;
80. TISI, Y. S. A. B. *Waste-To-Energy: Recuperação energética como forma ambientalmente adequada de destinação dos resíduos sólidos urbanos*. Synergia. Rio de Janeiro. 2019;
81. THEMELIS, N. J; BARRIGA, M. E. D; ESTEVEZ, . & VELASCO, M. G. *Guidebook for the application of waste to energy technologies in latin america and other developing regions*. Earth Engineering Center, Columbia University. 2013;
82. VARJANI, Sunita et al. *Sustainable management of municipal solid waste through waste-to energy technologies*. *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 355, p. 127247. Elsevier BV. [online] Disponível em URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127247>. Publicando em Julho de 2022;
83. VERTOWN. *Como classificar resíduos sólidos segundo a legislação vigente?* Vertown. [online]. Disponível em URL: <https://www.vertown.com/blog/blogclassificar-residuos-solidos-segundo-a-legislacao-vigente/>. Publicado em 30 de Novembro de 2022;
84. USEPA – *Code of federal regulations, parts 190 to 259: standards for the tracking and management of medical waste*. Washington DC: Government Printing Office, 1993;

85. ZANELLA, L. *Metodologia de Pesquisa*. 2013;
86. ZHANG, C *et al.* *Recent advances in substrates for anaerobic digestion: A review*. *Bioresource Technology*. v. 291. 2019. p. 121.

# APÊNDICES

## Apêndice 1: Guião das actividades laboratoriais



FACULDADE DE CIÊNCIAS NATURAIS E MATEMÁTICA



## **GUIÃO EXPERIMENTAL**

**Tema: Avaliação do Potencial Energético de Resíduos Sólidos Hospitalares: Uma Contribuição para a Valorização Energética e Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Gerados no Centro de Saúde José Macamo.**

**Nome:** Alice da Lucerna Custódio Nhampossa

### **Objectivos**

- ✓ Analisar os parâmetros físico-químicos de resíduos hospitalares (papel, papelão, algodão, plástico);
- ✓ Determinar poder calorífico dos resíduos em questão.

### **Parte Experimental I**

#### **Experiências 1: Determinação da Matéria Mineral (MM)**

<b>Materiais</b>	<b>Reagentes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mufla;</li> <li>✓ Pinça;</li> <li>✓ Dessecador;</li> <li>✓ Bico de Bunsen;</li> <li>✓ Estufa;</li> <li>✓ Cadinhos de porcelana;</li> <li>✓ Balança analítica;</li> <li>✓ Espátula.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Papel, papelão e algodão;</li> </ul>

### **Procedimentos**

#### **a) Determinação do teor de humidade**

- ✓ Prepara-se os cadinhos;
- ✓ Introduce-se os cadinhos vazios na estufa a 105°C durante 1 hora;
- ✓ Retira-se os cadinhos da estufa e introduce-se no dessecador;
- ✓ Pesa-se os cadinhos sem amostra (com auxílio da balança analítica);
- ✓ Pesa-se 5g de cada amostra introduce-se nos cadinhos;
- ✓ Introduce-se os cadinhos contendo as amostras na estufa a 105°C, durante 2 horas e depois deixa-se arrefecer no dessecador durante 30 minutos até atingir a temperatura ambiente;

- ✓ Pesa-se novamente os cadinhos (contendo amostra seca);
- ✓ Anota-se as pesagens;
- ✓ Calcula-se a percentagem do teor de humidade pela seguinte expressão:

$$\%H = \frac{M(\text{inicial}) - M(\text{final})}{M(\text{inicial})} \cdot 100\%$$

**Onde:**

%H- Teor de humidade em percentagem.

M<sub>(inicial)</sub>- massa da amostra antes da secagem em gramas.

M<sub>(final)</sub>- massa da amostra depois da secagem.

**b) Determinação do teor de sólidos totais (ST)**

- ✓ Calcina-se os cadinhos de porcelana na mufla a 550°C, durante 1 hora;
- ✓ Retira-se os cadinhos da mufla e introduz-se no dessecador até atingir a temperatura ambiente e pesa-se os mesmos (m<sub>0</sub>);
- ✓ Pesa-se 5g cada amostra e introduz-se nos cadinhos;
- ✓ Introduce-se os cadinhos contendo as amostras na mufla a 550°C durante 6 horas;
- ✓ Retira-se os cadinhos da mufla e deixa-se arrefecer no dessecador;
- ✓ Com balança analítica, pesa-se os cadinhos contendo amostras calcinadas (m<sub>1</sub>);
- ✓ Determina-se o teor dos sólidos totais pela expressão a seguir:

$$ST(\%) = \frac{(m_1 - m_0)}{m_a} \cdot 100\%$$

**Onde:**

ST- sólidos totais em percentagem.

m<sub>1</sub>- massa do cadinho contendo amostra calcinada.

m<sub>0</sub>- massa do cadinho calcinado sem amostra/vazia.

m<sub>a</sub>- massa da amostra.

**c) Determinação do teor de sólidos fixos (SF)**

- ✓ Calcina-se o material obtido na determinação do teor de sólidos totais em mufla a 550°C durante 2 horas;
- ✓ Retira-se da mufla e deixa-se arrefecer no dessecador até à temperatura ambiente;

- ✓ Pesa-se o material obtido ( $P_2$ );
- ✓ Calcula-se o teor de sólidos fixos pela expressão:

$$SF = \frac{m_2 - m_0}{m_a} \cdot 100\%$$

**Onde:**

SF- Sólidos fixos em percentagem.

$m_2$ - peso da cápsula vazia (em gramas).

$m_0$ - peso da cápsula contendo amostra (em gramas).

**d) Determinação do teor de sólidos voláteis (SV)**

- ✓ Faz-se a diferença entre os sólidos totais e os sólidos fixos.

$$SV = ST - SF$$

**e) Determinação do teor de cinzas (TC)**

- ✓ Calcina-se os cadinhos na mufla a 550°C durante 1 hora;
- ✓ Deixa-se os cadinhos a arrefecer no dessecador até à temperatura ambiente;
- ✓ Com auxílio da balança analítica, pesa-se os cadinhos vazios ( $P_1$ );
- ✓ Pesa-se 5g de cada amostra e introduz-se nos cadinhos de porcelana ( $P_2$ );
- ✓ Introduz-se os cadinhos contendo amostras na mufla a 550°C e deixa-se calcinar durante 3 horas e, depois deixa-se arrefecer no dessecador;
- ✓ Pesa-se os cadinhos contendo as amostras calcinadas ( $P_3$ );
- ✓ Determina-se o teor de cinzas pela expressão:

$$TC = \frac{(P_3 - P_1)}{P_2} \cdot 100\%$$

**Onde:**

TC- teor de cinzas em percentagem.

$P_1$ -massa do cadinho calcinado.

$P_2$ - massa da amostra.

$P_3$ -massa da amostra calcinada.

**f) Determinação do teor de carbono fixo (CF)**

- ✓ O teor de carbono fixo é determinado pela seguinte expressão:

$$CF = 100\% - (SV + TC)$$

**Onde:**

CF- teor de carbono fixo.

SV- teor de sólidos voláteis.

TC- teor de cinzas.

## **Parte Experimental II**

### **Experiências 1: Determinação de Matéria Mineral (MM)**

<b>Materiais</b>	<b>Reagentes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mufla;</li> <li>✓ Pinça;</li> <li>✓ Dessecador;</li> <li>✓ Bico de Bunsen;</li> <li>✓ Estufa;</li> <li>✓ Cápsulas de porcelana;</li> <li>✓ Balança analítica;</li> <li>✓ Espátula.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Amostras de plástico;</li> </ul>

### **Procedimento**

#### **a) Determinação do Teor de Humidade**

- ✓ Prepare cerca de 20 gramas de cada uma das amostras;
- ✓ Ligue a estufa, deixando-a ligada até a  $T = 105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ ;
- ✓ Prepare 3 cadinhos de porcelana com tampa;
- ✓ Pese-os com tampa e anote a massa;
- ✓ Coloque em cada cadinho  $1 \pm 0,1\text{mg}$  de cada amostra;
- ✓ Leve os cadinhos sem tampa para a estufa a uma temperatura de  $T = 105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$  por 60 minutos;
- ✓ Passe nitrogénio puro pela estufa 15 vezes sem abri-la;
- ✓ Retire-os, tampe-os imediatamente e deixe arrefecer por 10 minutos (Note: se a estufa permitir, coloque as tampas nos cadinhos ainda no interior da estufa);
- ✓ Leve os cadinhos para o dessecador por mais 10 minutos;
- ✓ Pese-os junto com as tampas em balança e registe as massas;
- ✓ Determina-se o teor de humidade pela expressão:

$$W_M = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1}$$

**Onde:**

$W_M$ - Teor de humidade em percentagem.

$m_1$ - Massa do cadinho vazio com tampa.

$m_2$ - Massa do cadinho com tampa e amostra.

$m_3$ - Massa do cadinho com tampa e amostra após a secagem.

**b) Determinação do Teor de Matéria volátil**

- ✓ Prepare cerca de 10 gramas de cada uma das amostras;
- ✓ Ligue o forno e mantenha a uma temperatura de  $T = 900 \pm 5^\circ\text{C}$ ;
- ✓ Prepare 3 cadinhos com tampas;
- ✓ Seque-os em mufla por 7 minutos a temperatura de  $T = 900 \pm 5^\circ\text{C}$ ;
- ✓ Retire-os e deixe arrefecer em dessecador por 20 minutos;
- ✓ Pese-os junto com as tampas em balança e registe as massas;
- ✓ Coloque em cada cadinho  $1 \pm 0,1\text{mg}$  da amostra, coloque as tampas e registe as massas;
- ✓ Leve os recipientes contendo as amostras para a mufla a  $T = 900 \pm 5^\circ\text{C}$ , por 8 minutos;
- ✓ Retire-os e deixe arrefecer por 20 minutos em dessecador;
- ✓ Pese-os novamente sem retirar as tampas;
- ✓ Determina-se o teor de matéria volátil através da expressão;

$$V = 100\% \cdot \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} - W_M$$

**Onde:**

V- Teor de matéria volátil em percentagem.

$m_1$ - Massa do cadinho vazio com tampa.

$m_2$ - Massa do cadinho com tampa e amostra.

$m_3$ - Massa do cadinho com amostra após a calcinação.

$W_M$ - Teor de humidade da amostra analisada.

**c) Determinação do Teor de cinzas**

- ✓ Prepare cerca de 10 gramas de cada uma das amostras;
- ✓ Ligue o forno e mantenha uma temperatura de  $T = 815 \pm 10^\circ\text{C}$ ;

- ✓ Prepare 3 cadinhos de porcelana com tampas;
- ✓ Seque-os em mufla por 60 minutos a temperatura de 550°C;
- ✓ Retire-os e deixe arrefecer em dessecador por 20 minutos;
- ✓ Aumente a temperatura até  $T = 815 \pm 10^\circ\text{C}$ , enquanto faz a pesagem das amostras;
- ✓ Pese-os junto com as tampas em balança e registe as massas;
- ✓ Coloque em cada cadinho  $1 \pm 0,1\text{mg}$  da amostra, coloque as tampas e registe as massas;
- ✓ Leve os recipientes contendo as amostras para a mufla a  $T = 815 \pm 10^\circ\text{C}$ , por 60 minutos;
- ✓ Retire-os e deixe arrefecer por 20 minutos em dessecador;
- ✓ Pese-os novamente sem retirar as tampas;

Nota: Caso haja dúvidas nos resultados das massas, continue o aquecimento a mesma temperatura por mais 15 minutos.

- ✓ Determina-se o teor de cinzas recorrendo à seguinte expressão:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\%$$

**Onde:**

A- Teor de cinzas em percentagem.

$m_1$ - Massa do cadinho vazio.

$m_2$ - Massa do cadinho contendo amostra.

$m_3$ - Massa do cadinho contendo amostra após a calcinação.

### **Parte Experimental III**

#### **Determinação do poder calorífico**

O poder calorífico superior é determinado recorrendo à seguinte expressão:

$$\text{PCS} = (84,5104 * \text{CF}) + (37,2601 * \text{SV}) - (1,8642 * \text{TC})$$

**Onde:**

PCS- poder calorífico superior.

CF- teor de carbono fixo.

SV- teor de sólidos voláteis.

TC- teor de cinzas.

O poder calorífico inferior é determinado pela seguinte expressão:

$$\mathbf{PCI} = \mathbf{PCS} - 0,2183 * \mathbf{H}$$

$$\mathbf{H} = 0,059 * \mathbf{CF} + 0,060 * \mathbf{SV} + 0,010 * \mathbf{TC}$$

## Apêndice 2: Roteiro de entrevista semi-estruturada dirigida aos funcionários do Centro de saúde de José Macamo



FACULDADE DE CIÊNCIAS NATURAIS E MATEMÁTICA



LICENCIATURA EM ENSINO DE QUÍMICA

Trabalho de Conclusão do Curso

**Roteiro de Entrevista dirigido aos funcionários do Centro de saúde José Macamo responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos**

Respondo pelo nome de Alice da Lucerna Custódio Nhampossa, estudante Finalista do curso de Licenciatura em Ensino de Química na Universidade Pedagógica de Maputo, Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. O presente roteiro de entrevista, visa recolher dados para o Trabalho de Conclusão do Curso com o tema: **“Avaliação do Potencial Energético de Resíduos Sólidos Hospitalares: Uma Contribuição para a Valorização Energética e Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Gerados no Centro de Saúde José Macamo”**. Assim, solicita-se a vossa colaboração respondendo às questões abaixo. Agradeço desde já a vossa atenção e colaboração.

**Parte I: Perfil dos funcionários entrevistados**

1. Função desempenhada: \_\_\_\_\_

**Parte II: Questões gerais**

<b>Questões</b>	<b>Respostas</b>	<b>Observações</b>
1. Quais são os sectores (departamentos) do centro de saúde?		
2. Dos sectores mencionados, quais são os ponteciais geradores de resíduos sólidos?		
3. Quais são os tipos (categorias) de resíduos gerados nos diferentes sectores do centro de saúde?		
4. Os resíduos são quantificados? Se sim, qual é a quantidade média diária e mensal dos resíduos gerados no cenntro de saúde?		

5. Como é feito o tratamento de cada categoria de resíduo gerado no centro de saúde?		
6. Qual é o destino final de cada categoria de resíduo gerado?		

**Obrigada pela colaboração**

A pesquisadora  
Alice da Lucerna

**Apêndice 3: Requerimento dirigido à directora do Serviço de Saúde da Cidade de Maputo pedindo autorização para o desenvolvimento da pesquisa no Centro de saúde de José Macamo**

**Requerimento**

Ex.<sup>ma</sup> Senhora Directora do Serviço de Saúde da Cidade de Maputo,

Eu **Alice da Lucerna Custódio Nhampossa**, estudante finalista do curso de Ensino de Química com Habilitações em Biologia, no grau de Licenciatura na Universidade Pedagógica de Maputo, solicito à V.ex<sup>a</sup> autorização para a realização de uma pesquisa integrante do Trabalho de Conclusão de Curso, modalidade monografia, orientada pelo Mestre Alberto Boane tendo como título preliminar " **Valorização Energética dos Resíduos Hospitalares: Caso dos Resíduos Gerados no Centro de Saúde Santa Alice**", a ser desenvolvida no Hospital Geral José Macamo (Banco de Socorro e Centro de Saúde).

Saliento que todos os dados e informações necessárias para a pesquisa serão previamente submetidos à aprovação da direcção do hospital em causa.

Asseguro que o nome da instituição não será revelado na publicação do trabalho, caso a instituição faça a opção pelo anonimato.

Agradeço desde já a vossa atenção e me coloco ao inteiro dispor para melhores esclarecimentos.

Maputo, 04 de Julho de 2024.

---


Requerente

Pede deferimento

**ANEXOS**



## Anexo I: Credencial

  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS NATURAIS E MATEMÁTICA**   
 Campus de Lhangene, Av. de Moçambique, km 1, Maputo, C.P.: 4040, Te.: +258 824010820, Fax: +258 21401082, fcnm@up.ac.mz

**CREDECIAL**

À/Ao  
 Direcção da Banca de Recursos e Centro de Saúde de Jozé Macamo  
 Credencia-se o/a Alice da Luísa Custódia Mhampressa

Portador do B.I.N.º 080105171669 P, emitido pelo Arquivo de Identificação Civil de Maputo, aos 15 de 05 de 2023, filho/a de Custódia Justina Mhampressa e de Beatriz Jacquim Mhaguilhuanana. Estudante do 4.º Ano, do Curso de Licenciatura em Ensino de Química com Habilitação em área de Biologia

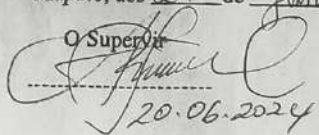
A fim de fez a coleta de dados para o trabalho de conclusão de curso, através de entrevistas aos funcionários da Banca de Recursos e Centro de Saúde de Jozé Macamo e coleta de resíduos sólidos nos recintos supracitados.

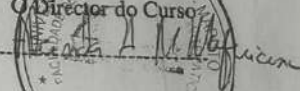

Junto dos especialistas, na Instituição que vossa Excelência dirige  
 Informa-se que a consulta terá a duração de 30 dias, de 1 a 30 de junho de 2024.

Sem mais, subscrevemo-nos ao vosso dispor na expectativa de que este assunto venha a merecer a vossa atenção.

Cordiais Saudações

Maputo, aos 27 de junho de 2024

O Superior  
  
20.06.2024

O Director do Curso  
  


## Anexo II: Termo de recepção do requerimento pelo Serviço de Saúde da Cidade de Maputo

### Requerimento

Ex.<sup>ma</sup> Senhora Directora do Serviço de Saúde da Cidade de Maputo,

Eu **Alice da Lucerna Custódio Nhampossa**, estudante finalista do curso de Ensino de Química com Habilitações em Biologia, no grau de Licenciatura na Universidade Pedagógica de Maputo, solicito à V.ex.<sup>a</sup> autorização para a realização de uma pesquisa integrante do Trabalho de Conclusão de Curso, modalidade monografia, orientada pelo Mestre Alberto Boane tendo como título preliminar " **Valorização Energética dos Resíduos Hospitalares: Caso dos Resíduos Gerados no Banco de Socorro e Centro de Saúde Santa Alice**", a ser desenvolvida no Hospital Geral José Macamo (Banco de Socorro e Centro de Saúde).

Saliento que todos os dados e informações necessárias para a pesquisa serão previamente submetidos à aprovação da direcção do hospital em causa.

Asseguro que o nome da instituição não será revelado na publicação do trabalho, caso a instituição faça a opção pelo anonimato.

Agradeço desde já a vossa atenção e me coloco ao inteiro dispor para melhores esclarecimentos.

Pede deferimento

Maputo, 04 de Julho de 2024.

Alice da Lucerna

Requerente



**Anexo III: Resposta ao pedido de autorização para a realização da pesquisa no Hospital Geral José Macamo pelo Serviço de Saúde da Cidade de Maputo**



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
CIDADE DE MAPUTO  
CONSELHO DOS SERVIÇOS DE REPRESENTAÇÃO DO ESTADO  
SERVIÇO DE SAÚDE DA CIDADE

**A**  
**Universidade Pedagógica**

MAPUTO

Nota n.º 3065/050P / DEPC / SSCM

Data: 16/07/2024

**ASSUNTO:** Resposta ao pedido de autorização para desencadear o estudo "Valorização energética dos resíduos hospitalares: caso dos resíduos gerados no banco de socorros e Centro de Saúde do Hospital Geral José Macamo".

O Serviço de Saúde da Cidade de Maputo acusa a recepção do pedido da Sra. Alice da Lucerna Custodio Nhampossa, estudante de licenciatura em Química com Habilidades em Biologia da Universidade Pedagógica de Maputo, na qual solicita autorização para realizar estudo com o teor retro mencionado,

Sobre a matéria, comunica-se que o Serviço de Saúde da Cidade de Maputo autoriza a realização da actividade, devendo apresentar os resultados no SSCM.


Sem mais do momento, queiram aceitar as nossas cordiais saudações.

A Directora  
  
Dra. Sheila Lobo de Castro  
(Médica de Clínica Geral Principal)

Av. de Maguiguana  
Caixa Postal nº2217  
Maputo-Moçambique

Telef: +258 21 360276/7  
Fax: +25821430212  
SSCM

**Anexo IV: Autorização da realização da pesquisa pela Direcção do Hospital Geral José Macamo**

  
 REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
 CIDADE DE MAPUTO  
 CONSELHO DOS SERVIÇOS DE REPRESENTAÇÃO DO ESTADO  
 SERVIÇO DE SAÚDE DA CIDADE

Visto  
 PA/fe  
 Ech  
 26/07/2024

**A**  
**Universidade Pedagógica**

MAPUTO


Nota n.º 3065/050-7 /DEPC /SSCM Data: 16/07/2024

**ASSUNTO:** Resposta ao pedido de autorização para desenhacuar o estudo "Valorização energética dos resíduos hospitalares: caso dos resíduos gerados no banco de socorros e Centro de Saúde do Hospital Geral José Macamo".

O Serviço de Saúde da Cidade de Maputo acusa a recepção do pedido da Sra. Alice da Lucerna Custodio Nhamossa, estudante de licenciatura em Química com Habilidades em Biologia da Universidade Pedagógica de Maputo, na qual solicita autorização para realizar estudo com o teor retro mencionado,

Sobre a matéria, comunica-se que o Serviço de Saúde da Cidade de Maputo autoriza a realização da actividade, devendo apresentar os resultados no SSCM.

Sem mais do momento, queiram aceitar as nossas cordiais saudações.

  
 Direcção  
 Dra. Sheila Lobo de Castro  
 (Médica de Clínica Geral Principal)

REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE  
 DIRECÇÃO DE SAÚDE DA CIDADE DE MAPUTO  
 HOSPITAL GERAL JOSÉ MACAMO  
 Entrada Nº 1310  
 26/07/24  
 Rubrica *Carminha*

Av. de Maguiguana  
 Caixa Postal nº2217  
 Maputo-Moçambique

875205895

Telef: +258 21 360276/7  
 Fax: +25821430212  
 SSCM