

Lúcia José Chachuaio

**Avaliação do Potencial Calorífico dos Resíduos Sólidos Agrícolas para fins Energéticos:
Um estudo de Caso de Cápsula de amendoim**

Licenciatura em Ensino de Química

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

Lúcia José Chachuaio

**Avaliação do Potencial Calorífico dos Resíduos Sólidos Agrícolas para fins Energéticos:
Um estudo de Caso de Cápsula de Amendoim**

Monografia científica a ser apresentada ao Departamento de Química, Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Da Universidade Pedagógica de Maputo, Para obtenção do grau académico de Licenciatura em ensino de Química.

Supervisor

Mestre Alberto Arnaldo Boane

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

Índice

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	ii
Lista de Gráficos.....	iii
Lista de Diagramas	iii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABEREVIATURA.....	iv
Declaração de honra	v
Dedicatória.....	vi
Agradecimentos	vii
Resumo	viii
Abstract.....	ix
CAPÍTULO I.....	10
1. Introdução.....	10
1.1. Problematização.....	11
1.2. Justificativa da pesquisa.....	13
1.3. Relevância da pesquisa	14
1.4. Objectivos da pesquisa.....	15
1.4.1. Objectivo geral	15
1.4.2. Objectivos específicos	15
1.5. Perguntas de pesquisa.....	15
1.5. Hipóteses	15
CAPÍTULO II.....	16
2. Fundamentação teórica	16
2.2. Perfil das energias renováveis em Moçambique	19
2.3. Biomassa de origem agrícola.....	19
2.4. Problemas causados pelo acúmulo e descarte de resíduos agrícolas.....	20
2.4.1. Impactos ambientais, produção de resíduos e geração de energia.	21

2.4.2. Impacto do acúmulo de resíduos	21
2.5. Biomassa como combustível	21
2.6. Processos de conversão de biomassa.....	22
2.6.1. Combustão.....	22
2.7. Parâmetros Físico – químicos da biomassa	24
2.7.6. Características térmicas da biomassa	26
CAPÍTULO III	28
3. Metodologia de pesquisa	28
3.1. Caracterização da pesquisa	28
3.2. Descrição do local da colecta de amostras e critério de amostragem.....	29
3.3. Procedimento de colecta e conservação das amostras	30
3.4. Organização de dados	30
3.5. Fases do trabalho	31
3.6. Desenho experimental.....	32
3.6.1. Descrição do trabalho experimental.....	32
CAPÍTULO IV	39
4. Apresentação, análise e discussão dos resultados	39
4.1. Resultados da determinação das características físico-químicas.....	39
4.2. Análise das características físicas químicas.....	40
4.2.1. Análise do teor de carbono fixo (CF).....	40
4.2.2. Análise do teor de sólidos voláteis (SV).....	40
4.2.3. Análise do teor de cinzas (TC).....	41
4.2.4. Análise do teor de humidade (TH).....	42
4.2.5. Poder calorífico superior (PCS)	42
4.3. Análise do potencial energético da amostra.....	43
4.4. Resultados da sustentabilidade do uso dos resíduos de cápsula de amendoim na geração de energia	44

4.4.1. Sustentabilidade ambiental.....	44
4.4.2. Estimativa do potencial de geração de energia eléctrica.....	45
CAPÍTULO V	46
5. CONCLUSÃO.....	46
5.1. PROPOSTAS.....	47
6. Referências bibliográficas	47
Apêndices	52

Lista de Figuras

Figura 1: Ciclo do carbono.....	18
Figura 2: disponibilidade de energia renovável em Moçambique.....	19
Figura 3: Localização do distrito de Manhiça.....	29
Figura 4: acondicionamento dos resíduos.....	30
Figura 5: Preparação da amostra.....	33
Figura 6: Determinação do teor de humidade.....	33
Figura 7: Determinação do teor de cinzas.....	34
Figura 8: Determinação do teor de sólidos totais.....	35
Figura 9: Determinação do teor de sólidos Fixos.....	36
Figura 10: Determinação do pH dos resíduos.....	37

Lista de Tabelas

Tabela 1: Classificação de fontes de energia.....	16
Tabela 2: Resultados das análises físico-químicas	39
Tabela 3: Métodos, condições de ensaios e equipamentos utilizados	38

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Análise do potencial energético da cápsula de amendoim..... 43

Lista de Diagramas

Diagrama 2: Fases do trabalho experimental 31

Diagrama 1:Diagrama esquemático dos processos de conversão 22

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABEREVIATURA

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
CF	Carbono Fixo
ER	Energias Renováveis
FCNM	Faculdade de Ciências Naturais e Matemática
GW	Gigawatt
Kcal/Kg	Kilocalorias por quilograma
mL	Mililitro
MJ/Kg	Mega joules por quilograma
M.M	Matéria Mineral
M.O.	Matéria Orgânica
PCS	Poder calorífico Superior
SF	Sólidos Fixos
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
TH	Teor de Humidade
TC	Teor de Cinzas

Declaração de honra

Declaro por minha honra que este trabalho resultou da investigação profunda da minha parte, em coordenação com o meu supervisor. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

Declaro ainda que a mesma nunca foi defendida ou publicada dentro da Universidade Pedagógica de Maputo, nem em nenhuma outra instituição, para obtenção de qualquer grau académico.

Maputo, Novembro de 2023

(Lúcia José Chachuaio)

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus falecidos avôs, Aurélio Sofá Chachuaio e Rosária José Mazivila e meu falecido pai, José Aurélio Chachuaio, pelo amor e valores que proporcionaram-me, à minha família pelo suporte que deu durante a formação, amigos e colegas que de forma directa ou indirectamente contribuíram na minha formação.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por fazer se presente em minha vida.

A minha eterna gratidão ao meu supervisor, Mestre Alberto Arnaldo Boane, por ter estado presente desde a fase inicial do projecto até a fase da conclusão da monografia, contribuindo de forma incansável e com grande sabedoria para o alcance dos objectivos deste trabalho.

A minha eterna gratidão aos meus falecidos avos, Aurélio Sofá Chachuaio e Rosária José Mazivila, pela dedicação, educação e sobre tudo pelo apoio, ao meu falecido pai, José Aurélio Chachuaio, pelo encorajamento. Aos meus tios, Maria Dália Aurélio Chachuaio, Aureliano Do Rosário Chachuaio e Nelson De Cristo Aurélio Chachuaio, pela força e apoio durante o processo da minha formação.

Estendo os meus agradecimentos, a turma de Química 2019, por ter sido uma verdadeira família cheia de carismas e amor que caracterizou um ambiente estudantil agradável. De uma forma especial quero agradecer aos meus amigos, Abnel Job Simango, Vanessa Salustiano, Egas Felisberto Banze, Ana Flora Mioche e Isaura Reginaldo Massingue, por cada momento que marcou de forma inigualável o meu aprendizado, muito obrigada. A terminar, aproveito essa oportunidade para agradecer a todos os docentes do Departamento de Química, ao Professor Catedrático António Armindo Rúben Monjane, Mestre Aldovanda Bata, Dr. Adérito Cavele, dr. Basílio Assane. E também aos técnicos do Laboratório, Mestre Victorino Chume e Felício Simbine, pelo apoio e suporte durante todo o processo, desde a fase da elaboração dos guiões até a fase das análises, muito obrigada.

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo sobre geração de energia a partir de biomassa, uma vez que com o crescente aumento do consumo de energia, surge a necessidade de novas fontes energéticas. Uma das opções com grande possibilidade de crescimento é a utilização da biomassa para gerar energia. Este estudo fundamenta-se na busca de fontes de energia mais eficiente e menos poluentes em prol da conservação do meio ambiente. A pesquisa teve como objectivo, avaliar o potencial calorífico da biomassa residual de cápsula de amendoim. Para a efectivação dos objectivos desta pesquisa foi traçada uma metodologia com abordagem quantitativa, fundamentada no método experimental. A amostra é constituída por resíduos de cápsula de amendoim, foi colhida com base em uma amostragem não probabilística no distrito de Manhica, na província de Maputo. As variáveis medidas foram MM (ST, SF, SV, e TH), Teor de cinzas (TC), Carbono Fixo (CF), teste de acidez (pH), poder calorífico superior, (PCS). Para o primeiro caso assim como o segundo, a sua determinação foi feita usando o método termogravimétrico que consistia na submissão em Mufla (calcinação) e estufa (secagem) a uma temperatura de $550^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}$ e $105^{\circ}\text{C}\pm 10$ respectivamente. O teor de carbono fixo foi calculado com base nos valores de SV e TC. O teste de acidez foi determinado usando o método Potenciométrico e por último o poder calorífico superior do resíduo foi determinado indirectamente, por meio de uma equação matemática. Os resultados mostram que a cápsula de amendoim apresenta baixo teor de humidade cerca de 4.035%, baixo teor de cinzas cerca de 2.158%, alto teor de carbono fixo que corresponde a 84.126% e um valor de sólidos voláteis de 13.716%. Esses dados influenciaram no poder calorífico superior que corresponde a 31.8892MJ/kg cerca de 7616.55 kcal/kg. E deste modo, conclui-se que o potencial energético dos resíduos apresenta óptimas propriedades como um combustível sólido alternativo e o seu uso é viável para geração de energia calorífica e eléctrica. No entanto para além de atender a demanda de energia contribui na gestão de resíduos especificamente na área rural.

Palavras-chave: Fonte alternativa, sustentabilidade energética, Energia Limpa.

Abstract

This work presents a study on energy generation from biomass, since with the increasing increase in energy consumption; there is a need for new energy sources. One of the options with great potential for growth is the use of biomass to generate energy. This study is based on the search for more efficient and less polluting energy sources for the conservation of the environment. The objective of this research was to evaluate the calorific potential of the residual biomass of peanut capsules. In order to achieve the objectives of this research, a methodology with a quantitative approach was outlined, based on the experimental method. The sample consists of peanut capsule residues, was collected based on a non-probabilistic sampling in the district of Manhiça, Maputo province. The variables measured were MM (ST, SF, SV, and TH), ash content (TC), fixed carbon (CF), acidity test (pH), superior calorific value, (PCS). For the first case, as well as the second, its determination was made using the thermogravimetry method, which consisted of submission in muffle (calcination) and oven (drying) at a temperature of $550^{\circ}\text{C}\pm 50^{\circ}$ and $105^{\circ}\text{C}\pm 10$, respectively. The fixed carbon content was calculated based on the SV and TC value. The acidity test was determined using the potentiometric method and finally the upper calorific value of the residue was determined indirectly, by means of a mathematical equation. The results show that the peanut capsule has a low moisture content of about 4,035%. Low ash content of about 2.158%, high fixed carbon content that corresponds to 84.126% and a volatile solids value of 13.716%, these data influenced the upper calorific value that corresponds to 31.8892MJ/kg about 7616.55 kcal/kg. The energy potential of the waste was estimated and it is concluded that the energy potential of the waste has excellent properties as an alternative solid fuel and its use is feasible for the generation of heat and electrical energy. However, in addition to meeting the energy demand, it contributes to waste management, specifically in rural areas.

Keywords: Alternative source, energy sustainability, Clean Energy

CAPÍTULO I

1. Introdução

A busca por fontes de energia é, e sempre foi, uma das grandes preocupações da humanidade. Inicialmente, o ser humano utilizava apenas fontes naturais, como a luz e calor do sol e, posteriormente aprendeu a produzir e utilizar o fogo.

Entretanto, foi com o advento da urbanização e do surgimento das actividades industriais que a busca por novas fontes energéticas se tornou um factor decisivo para o desenvolvimento de várias actividades humanas que surgiram neste novo panorama.

Segundo Bizerra *et al* (2018), o principal combustível utilizado a revolução industrial foi o carvão mineral, cuja queima gerava calor para a produção de vapor, através do qual era gerada energia. Com o avanço tecnológico, entretanto, esta fonte começou a perder importância, sendo substituída em muitos casos por outras formas de geração de energia.

No entanto, o carvão, ainda é utilizado em diversos países para produção de energia eléctrica. “O calor que a queima de combustível fóssil produz é utilizado para gerar vapor de alta pressão, empregado para mover as turbinas e, assim produzir electricidade”. Este processo é desvantajoso, pois produz uma quantidade muito grande de gás carbónico se comparado a outros combustíveis (BIRD & CANN; 2011:293).

Assim sendo, a utilização de fontes alternativas de energias vem ganhando destaque, ao nacional e em todo mundo, em principal virtude das preocupações com as mudanças climáticas tornando-se inevitável o aumento pela procura de fontes de energia mais eficientes e menos poluentes, das tais podemos, citar a eólica, hídrica, solar térmica e especificamente a biomassa.

O uso sustentável da biomassa é um dos assuntos com extrema relevância nos dias de hoje, sendo que ela reserva uma grande quantidade de energia e que por meio de processos tecnológicos já conhecidos pode ser convertido em combustíveis, sólidos, líquidos e gasosos (LOURINHO, 2012).

Tal como afirma Silva *et al* (2020), o distanciamento entre a demanda de energia e o consumo pode ser reduzido através da biomassa como combustível, especialmente onde há grandes quantidades de resíduos de biomassa inutilizáveis ou subaproveitados como

resíduos de animais, resíduos lenhosos, palha de arroz, palha de milho, casca de amendoim, bagaço de cana, folhas de cana dentre outro.

Em geral, tais resíduos originados na produção agrícola, como as palhas, cascas e forragens, são passíveis de tratamento para posterior utilização como fertilizantes por possuírem grande concentração de material orgânico, mas também nota-se uma iminente capacidade para sua reutilização como fonte de energia renovável (PIRES e MATTIAZZO, 2008).

E segundo Simango & Boane (2023), não basta apenas colectar a biomassa e queimar, é necessário realizar análises para avaliar a sua viabilidade energética, podendo, deste modo, quantificar o potencial energético e melhor conhecer as suas características.

É neste contexto que a presente pesquisa concentra-se no reaproveitamento da biomassa agrícola de cápsula de amendoim, visando a sua quantificação e avaliação do seu potencial energético. No entanto, o objectivo deste trabalho é estimar o potencial energético da biomassa residual de cápsula de amendoim.

1.1. Problematização

As actividades agrícolas, assim como as de processamento de produtos agrícolas, vêm ocasionando diversos problemas ambientais relacionados aos resíduos gerados durante o processo. Não se deve ignorar sua importância tanto para a economia quanto para a produção de alimentos, mas observar a potencialidade que os resíduos dessas actividades apresentam.

Essa actividade, vista como base de subsistência familiar, vem cada vez mais, contribuindo para geração de grandes volumes de resíduos e o consequente descarte inadequado dos resíduos provenientes do processamento desta cultura após a colheita, sem merecer uma atenção especial, cooperando para um incremento do desflorestamento por conta de cada vez mais pessoas na agricultura (FORTES, 2019).

E segundo Monjane (2014), a necessidade de mais áreas dedicadas a agricultura leva à destruição de florestas, desaparecimento de espécies, degradação de solo, e em alguns casos até a desertificação.

Porém, o que se verifica nessas áreas, é o acúmulo desses resíduos, onde as culturas são aproveitadas e descartados no mesmo local de colecta, proporcionando deste modo a um alto índice de desperdício dos resíduos sólidos agrícolas (SIMANGO & BOANE, 2023).

Tal como afirma Silva *et al.* (2020), é notório que essa biomassa, é um recurso amplamente disponível porém frequentemente desperdiçada, assim sendo, o aproveitamento energético dessas fontes de biomassa é limitado pelo pouco conhecimento sobre o seu potencial energético.

Segundo Fortes (2019), o descarte inadequado desses resíduos, representa perdas de matéria – prima e energia, mas também podem proporcionar ganhos em outras actividades se correctamente tratados. A gestão dos resíduos potencializa o processo de tratamento e a disposição final dos resíduos agrícola de forma a reduzir os impactos ambientais por seus descartes inadequados.

No entanto, com intuito de minimizar os impactos ambientais quanto à destinação correcta dos resíduos orgânicos descartados no meio ambiente, e tendo por base a construção de uma consciência ecológica que vise à preservação dos recursos naturais, torna-se necessário analisar os sistemas de geração de energia, utilizando fontes alternativas

Sendo um dos resíduos agro-industriais, as cascas de amendoim disponíveis consistem em um recurso abundante e acessível para o desenvolvimento de caminhos energéticos alternativos em relação ao uso de fontes de energia fósseis (SAMPAIO *et al.*, 2014:07).

A falta de alternativas rentáveis para a destinação das cascas oriundas do processo de beneficiamento é um desafio, tanto para sua disposição no meio ambiente quanto para a agregação de valor a esse resíduo. Para que isso ocorra é necessário realizar incentivos na busca de tecnologias ou estratégias que possibilitem a geração de fontes renováveis, almejando a sustentabilidade dentro das pequenas propriedades

Assim, considerando essa problemática, coloca-se a seguinte questão de pesquisa:

Qual é o potencial calorífico da biomassa residual da cápsula de amendoim na geração de energia?

1.2. Justificativa da pesquisa

Esse estudo surge no âmbito do reaproveitamento da biomassa de cápsula de amendoim para a geração de energia, como uma proposta alternativa energética limpa e acessível a população e também na destinação correcta aos mesmos, de forma a minimizar os impactos ambientais, permitindo dessa forma, a construção de uma consciência sustentável, visando à preservação dos recursos naturais.

Esse estudo, é mesmo uma proposta de soluções estratégicas de geração de energia limpa através do reaproveitamento de resíduos descartados incorrectamente no meio ambiente, reduzindo ao máximo o nível de desperdício desses resíduos.

A escolha deste resíduo (cápsula de amendoim) está em torno da sua disponibilidade local, ou seja é uma das culturas mais desenvolvidas na província e ao nível nacional e consequentemente há maior geração desses resíduos.

Além disso a cápsula de amendoim é um recurso de extrema importância quanto a produção de alimentos além da potencialidade energética. De acordo com Camargo (2017) a casca de amendoim ajuda no controle de diabetes e na prevenção da obesidade, os compostos presentes na casca reduzem a absorção de açúcar e gordura pelo organismo.

Há vários estudos hoje em dia que preocupam-se com as fontes de energia menos poluidoras e acessíveis, porém há pouca pesquisa desenvolvida relacionada com a utilização de resíduos da agricultura para tal propósito.

Observa-se ainda que a utilização da casca de amendoim com a finalidade de produzir energia ainda não é explorada na literatura científica, portanto, observa-se grande potencial para pesquisa científica acerca da temática.

Para além destas razões, o presente estudo é motivado pelo facto de olhar para aquilo que são os objectivos do desenvolvimento sustentável (ODS) especificamente o objectivo, número 7: “Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia, para todos” assim como o número 12.5 “Reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização”.

1.3. Relevância da pesquisa

A geração de energia através de biomassa pode contribuir para diminuir a dependência de combustíveis fósseis, diversificando a matriz energética sem que essa perca seu carácter renovável. A bioenergia é uma alternativa com potencial de substituir parcialmente os combustíveis fósseis, apesar de não possuir a capacidade de solucionar totalmente o problema energético do mundo (GOLDEMBERG *et al.*, 2008 apud MARAFORN 2016:7).

Segundo Okamura (2013), a reutilização de resíduos provenientes da agricultura apresenta duas vertentes significativas, a primeira é a geração de fontes alternativas de energia e a segunda consiste em realizar a destinação correcta aos mesmos, de forma a minimizar os impactos ambientais, permitindo dessa forma, a construção de uma consciência sustentável, visando à preservação dos recursos naturais.

A valorização da biomassa para fins energéticos é uma alternativa para estimular as economias agrícolas e rurais para alavancar o desenvolvimento regional. Além da redução das emissões de efeito estufa, a diversificação da matriz energética, baseada no aproveitamento de fontes disponíveis e na produção de matéria-prima, é uma questão de crucial importância para garantir o desenvolvimento regional (PELLISSARI *et al.*, 2010).

De tal modo como afirma Arthur *et al* (2011) citado por Fortes (2019:7), os benefícios das fontes e tecnologias de Energias renováveis são: Reduzir emissões de gases de efeito estufa e a poluição local e contribuir no desenvolvimento social económico sobretudo nas áreas remotas e pobres e também acelerar o acesso a serviços energéticos modernos, dentre outros.

No entanto, o incremento progressivo do uso de energia proveniente de fontes renováveis, em especial bioenergia de biomassa, pode ser uma das melhores soluções para a problemática do consumo de combustíveis fósseis.

1.4. Objectivos da pesquisa

1.4.1. Objectivo Geral

- Avaliar o potencial calorífico da biomassa residual de cápsula de amendoim, a partir das suas características físico-químicas, como combustível alternativo para o uso doméstico.

1.4.2. Objectivos específicos

- Caracterizar físico-quimicamente a biomassa residual de cápsula de amendoim;
- Analisar a influência das propriedades físico-químicas do resíduo no poder energético;
- Estimar o potencial energético do resíduo com base nos seus valores caloríficos;
- Discutir a sustentabilidade económica e ambiental do uso da biomassa residual de cápsula de amendoim como combustível alternativo para uso doméstico.

1.5. Perguntas de pesquisa

- Quais são as características físico-químicas da biomassa residual de cápsula de amendoim?
- Como varia o poder energético do resíduo de acordo com as suas propriedades físico-químicas?
- Qual é o potencial energético da biomassa residual de cápsula de amendoim?
- Até que ponto o uso cápsula de amendoim como um recurso energético é ambientalmente e economicamente sustentável?

1.5. Hipóteses

1. A biomassa residual de cápsula de amendoim apresenta propriedades físico químicas, como humidade, sólidos voláteis, teor de cinzas e carbono fixo que influenciam no seu poder energético.
2. O poder energético do resíduo depende das características como, teor de humidade, sólidos voláteis, teor de cinzas e carbono fixo.
3. A biomassa residual de cápsula de amendoim apresenta um potencial energético alto.
4. O uso da cápsula de amendoim como um recurso energético é economicamente e ambientalmente viável.

CAPÍTULO II

Nesta parte do trabalho, serão apresentados estudos realizados na área de produção de bioenergia através do processo de pirólise usando vários tipos de biomassa, porém, se dará ênfase na biomassa de origem agrícola.

2. Fundamentação teórica

2.1. Definição dos conceitos: Energia, Resíduo sólido e Biomassa

A **energia** é definida como aquilo que permite a mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste a esta mudança (VIANA *et al.*, 2012) citado por Fortes (2019). No sentido mais amplo, a energia pode ser dividida em primária e secundária. A energia primária fornecida pela natureza, que pode ser usada de forma directa ou “convertida em outra forma de energética de uso”. Enquanto a energia secundária “é aquela que resulta de processos de conversão” que buscam aumento da densidade energética para favorecer o transporte, armazenamento e adequação ao uso (ARAUJO, 2015) citados por FORTES (2019).

Tabela1: Classificação de fontes de energia

Fonte		Energia primária	Energia secundária
Não renovável	Combustíveis fósseis	Carvão mineral	Termoelectricidade, calor e Combustível para transporte.
		Gás natural, petróleo e derivados.	
	Nuclear	Materiais fósseis: Urânio, Tório e Outros materiais radioactivos.	Termoelectricidade e Calor
	“Tradicional”	Biomassa primitiva: lenha de desflorestamento	Calor
	“Convencionais”	Potenciais hidráulicos	Hidroelectricidade

Renovável	“Modernas” ou “novas”	Biomassa “moderna”: lenha replantada, culturas energéticas, resíduos, agrícola, florestal e fracção biodegradável de	Biocombustíveis (Biodiesel e etanol), termoelectricidade e calor.
------------------	-----------------------	--	---

		resíduos urbanos e industriais.	
	Outras	Energia solar	Calor e eletricidade
		Geotérmica	
		Eólica	Electricidade
		Energia das marés e das ondas	

Fonte: Goldemberg & Lucon, 2007

Resíduo sólido: de acordo com a norma Brasileira ABNT NBR 10.004/2004 os resíduos sólidos são definidos como sendo: “Resíduos que se encontram nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de actividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços. Em Moçambique, o decreto-lei n.º 13 /2006 de 15 de Junho que aprova o Regulamento sobre Gestão de Resíduos Sólidos, define resíduos sólidos como sendo substâncias ou objectos que se eliminam, que se tem a intenção de eliminar ou que se é obrigado por lei a eliminar, também designados por lixos.

Biomassa: o termo biomassa se refere, em sua definição mais abrangente, a qualquer tipo de matéria orgânica proveniente de fontes vegetais ou animais ou, ainda, de seus processos de transformação naturais ou artificiais. Estes produtos têm em comum a procedência directa ou indirecta do processo de fotossíntese, sendo, por este motivo, desenvolvido periodicamente e classificados como fontes renováveis (AGUIAR, 2010).

Fortes *et al.* (2019) citando Monjane, Barros (2015); Raposo *et al.* (2015), definem biomassa no contexto energético, o termo “biomassa” refere-se ao material biológico, não fóssil, de origem vegetal, animal ou microbiana, que pode ser convertido em energia (bioenergia). Este material inclui matéria vegetal gerado por fotossíntese, resíduos agrícolas, agro-industriais, florestal, dejectos de animais e a fracção biodegradável dos resíduos urbanos e industriais.”

Na mesma linha de pensamento, Kimura (2010) citado por Tivane (2022), define o termo biomassa como sendo o conjunto de vários materiais naturais e derivados, como madeiras e espécies herbáceas, resíduos de madeira, bagaço, resíduos agrícolas

e industriais, papel usado, resíduo sólido urbano, serragem, biossólidos, grama, resíduos de processamento, resíduos animais, plantas aquáticas, algas, entre outros.

Portanto, a biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. É também, uma fonte sustentável de energia, desde que o dióxido de carbono (CO_2) lançado durante a combustão seja posteriormente retirado da atmosfera pela vegetação para produzir uma nova biomassa.

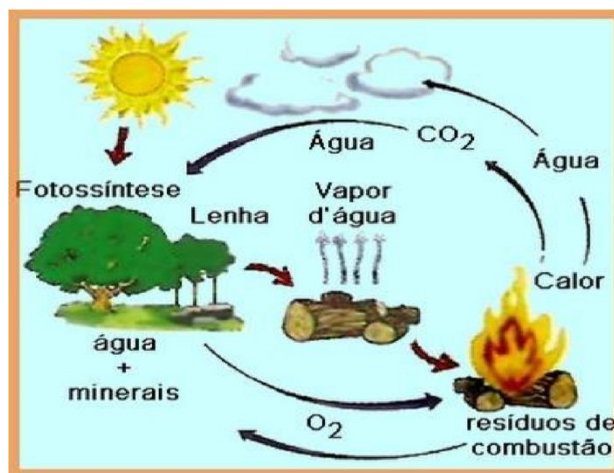


Figura 1: Ciclo do Carbono.

Fonte: <https://www.portalescolar.net/2011/09/ciclo-do-carbono-emissao-fotossintese.html>.

A partir da Figura 1, percebe-se que a renovação da biomassa só é feita por meio do ciclo do carbono, no qual a decomposição ou a queima da matéria orgânica e seus derivados provoca a libertação de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. As plantas, através do processo da fotossíntese, transformam o CO_2 e água nos hidratos de carbono, estes que compõem sua massa viva, libertando deste modo o oxigênio. Assim sendo, a utilização sustentável da biomassa não altera a composição média da atmosfera ao longo do tempo.

Protásio *et al.* (2012) *Apud* Fortes & Baltazar (2020), afirmam que altos teores de carbono e hidrogênio, e baixos teores de oxigênio são desejáveis quando a biomassa é utilizada como fonte de energia devido às correlações existentes entre esses parâmetros e o Poder Calorífico.

2.2. Perfil das energias renováveis em Moçambique

Pela localização geográfica, extensão territorial, as condições geológicas, a biodiversidade e disponibilidade da flora, o País dispõe de uma vasta gama de recursos energéticos renováveis e não renováveis ou fósseis, que provêm condições favoráveis para satisfazer as suas necessidades energéticas e exportar para os países da região. O potencial total de recursos renováveis no País é de 23.026 GW (gigawatt), sendo: energia solar é a mais abundante (Fig.2) e, apesar das ocorrências, as fontes geotérmicas e oceânicas são quase inexploráveis (ALER, 2017; GUEIFÃO *et al.*, 2013) citado por (FORTES, 2019).

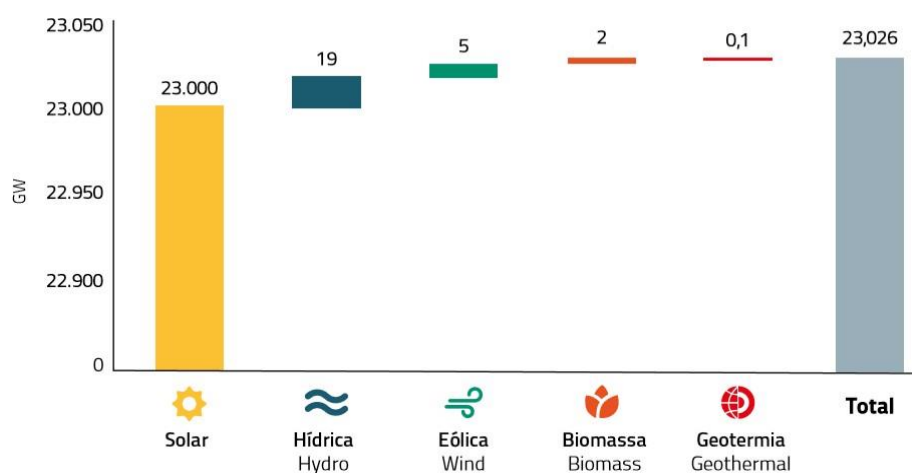


Figura 2: disponibilidade de energia renovável em Moçambique

Fonte: ALER (2017) citado por Fortes (2019)

2.3. Biomassa de origem Agrícola

Segundo Cardoso (2019) a biomassa energética agrícola é definida como os produtos e subprodutos provenientes das plantações não florestais, tipicamente originados de colheitas anuais, cujas culturas são selecionadas segundo as propriedades de teores de amido, celulose, carboidratos e lipídios contidos na matéria orgânica, em função da rota tecnológica a que se destina

As culturas agro-energéticas utilizam principalmente rotas tecnológicas de transformação biológicas e físico-químicas, como fermentação, hidrólise e esterificação, empregadas para a produção de combustíveis líquidos, como o etanol, o biodiesel e óleos vegetais diversos. Integram estas culturas a cana-de-açúcar, o milho, o trigo, a beterraba, a soja, o amendoim, o girassol, existindo uma grande variedade de

oleaginosas a serem exploradas, abaixo estão descritas as biomassas agrícolas com maior destaque no cenário Moçambicano (CARDOSO, 2012:19).

2.3.1. Casca de Amendoim

Nacionalmente, o amendoim (*Arachis hypogaea*), fruto oleaginoso, tem uma grande relevância nutricional, por possuir altos valores calóricos e ampla utilização na indústria alimentícia, a partir do óleo obtido. Dentre os subprodutos do processamento do amendoim, está presente a casca ou pericarpo, resíduo gerado pela degradação na obtenção do fruto, e disponível em grande quantidade.

As cascas possuem diversas aplicações, como por exemplo: na fabricação de gesso, plásticos, abrasivos, e para fins energéticos como um potencial combustível, onde as cascas de amendoim geralmente são queimadas em indústrias para geração de energia, apresentando Poder calorífico inferior (PCI): Poder calorífico superior (PCS) [subtraído o calor de vaporização da água] de 4.190 kcal/kg (DOMALSK *et al.*, 1986 citados por DIAS *et al.*, 2012). A produção de briquetes para uso doméstico como fonte de energia térmica mostra-se como uma boa alternativa de aproveitamento dos resíduos de cascas de amendoim.

2.4. Problemas causados pelo acúmulo e descarte de resíduos agrícolas

De acordo com Tivane (2021) A produção e utilização dessa biomassa são responsáveis pela geração de grandes quantidades de resíduos, que na maioria das vezes é depositada inadequadamente no meio ambiente, resultando em impactos ambientais, perda de matéria-prima e energia, este aumento da geração de resíduos e sua concentração espacial devido ao processo de urbanização reduzem as chances de assimilação dos resíduos pelo meio ambiente.

A contaminação do meio pode afectar tanto a população local assim como a fauna e a flora. Os resíduos provocam impactos tanto de ordem social, com o acúmulo em vias públicas, e a má gestão e destinação destes resíduos e surgimento de uma população “catadora” quanto de ordem ambiental, com a poluição do solo, do ar e dos lençóis freáticos (OSHIRO, 2016).

2.4.1. Impactos ambientais, produção de resíduos e geração de energia.

A utilização da lenha como fonte de energia também vem acarretando grandes problemas ambientais na fauna e flora. O desmatamento das florestas provoca a extinção de espécies nativas, o assoreamento de rios, além de promover o comércio ilegal de lenha. O uso sustentável e a valorização das florestas, como produtoras de bens e serviços ambientais, mantenedoras de emprego e renda, compõem a forma mais adequada de gerar a sua sustentabilidade e a protecção do património florestal (ALVES, 2014).

O autor ainda afirma que perante as necessidades e o abuso da utilização dos recursos naturais, o homem vem desenvolvendo, ao longo das décadas, diversos métodos de aproveitamento dos recursos disponíveis. Podemos dizer então que um dos maiores problemas na vida do homem actual é a busca do bom senso no uso das fontes de energia, seja ela renovável ou não renovável.

2.4.2. Impacto do acúmulo de resíduos

Resíduo, de uma forma geral, é tudo aquilo que sobra de um processo de produção ou exploração, de transformação ou de utilização. É todo material, substância ou produto que seu dono abandona. Existem diversos tipos de resíduos: Urbanos, também chamados de resíduos domésticos; resíduos industriais, que podem ser origem banal (não possui aditivos tóxicos, como a madeira sem tratamento e materiais de origem vegetal) ou especial (inerte, não liberando e nem reagindo com outro tipo de substância; ultimo, sem possibilidades de transformação como as cinzas, tóxico ou perigoso, o qual substâncias tóxicas durante o tratamento ou estocagem, como o resíduo nuclear) (QUIRINO, 2003).

2.5. Biomassa como combustível

Segundo Lourinho (2012), a importância vital da bioenergia ao longo da história é um facto inegável. Desde o amanhecer dos tempos que este recurso tem sido o principal manancial de abastecimento das necessidades energéticas do homem e as civilizações passadas terão sido as primeiras e talvez as maiores testemunhas disso mesmo.

A biomassa foi a fundação sobre a qual as primeiras sociedades se ergueram e pode mesmo dizer-se que as florestas significaram na antiguidade aquilo que o petróleo significa nos dias de hoje (LOURINHO 2012).

2.6. Processos de conversão de biomassa

Segundo Lourinho (2012:27), a biomassa pode ser tratada por diferentes processos termoquímicos que, tal como nome sugere, usam energia térmica e alguns catalisadores químicos para produzir energia numa grande variedade de formas, que vão desde o aquecimento (produção de calor) até ao fornecimento de electricidade. A energia armazenada nas ligações químicas dos componentes que constituem a biomassa pode ser libertada directamente como calor, via combustão, ou transformada em combustíveis sólidos (p. ex. carvão activado), líquidos (p. ex. biocombustíveis), ou gasosos (p. ex. gás de síntese ou amoníaco) via pirólise, liquefação ou gaseificação. (LOURINHO 2012:31).

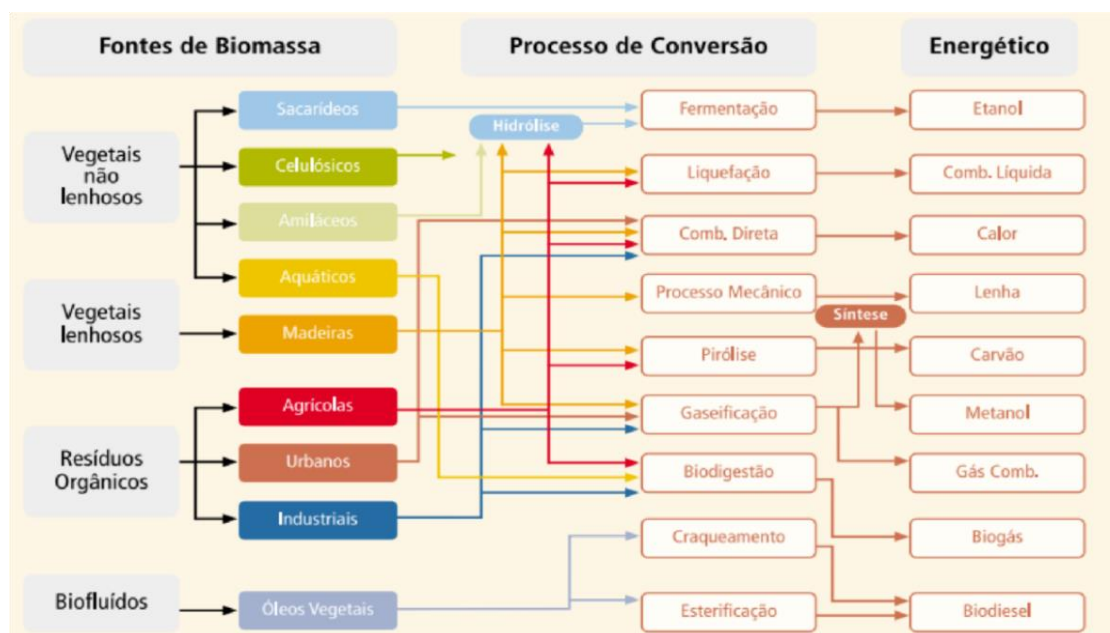


Diagrama 1: Diagrama esquemático dos processos de conversão da biomassa em bioenergia.

Fonte: Atlas de energia eléctrica do Brasil, ANEEL (2008) citado por Cardoso (2012:40)

2.6.1. Combustão

De acordo com Calado (2020), A combustão é uma tecnologia amplamente usada para converter a energia química armazenada na biomassa em calor, energia mecânica ou electricidade. A combustão de biomassa pode ser definida pelas seguintes etapas, remoção da humidade da matéria; desvolatilização, combustão de voláteis e combustão do carbono fixo. Para uma boa combustão, a biomassa deve possuir elevado teor de carbono fixo e material volátil, assim como alto poder calorífico superior.

Quanto maior o teor de carbono e hidrogénio, melhor será a combustão, enquanto altos teores de nitrogénio e enxofre poderão resultar em altos índices de emissões de NO_x e SO_2 . O processo termoquímico de conversão da biomassa em biocombustível por gaseificação transforma a biomassa em monóxido de carbono e hidrogénio através da combustão em condição de escassez de oxigénio, em relação à combustão total em altas temperaturas (LOURINHO 2012).

2.6.2. Pirólise

A pirólise envolve a decomposição térmica de resíduos em ausência de oxigénio.

A pirólise é a degradação térmica de resíduos sólidos na ausência de ar para líquido (muitas vezes denominado como óleo de pirólise), produzir gás (syngas) ou sólido (char, principalmente cinzas e carbono). A degradação térmica é geralmente realizada entre 400°C e 1.000°C . A pirólise é obviamente um método muito impressionante para reduzir e evitar a corrosão e as emissões, retendo álcalis e metais pesados (MALKOW, 2004).

A inovação da pirólise oferece uma chance para a transformação de resíduos sólidos urbanos, resíduos agrícolas, sucata de pneus, plásticos não recicláveis, etc. Em vitalidade limpa. Ele oferece um método atraente para transformar resíduos urbanos em itens que podem ser utilizados de forma viável para a criação de calor, energia e compostos sintéticos. O processo de pirólise compreende respostas síncronas e progressivas quando o material natural rico em carbono é aquecido em um ambiente não receptivo (CHEN *et al.*, 2015).

2.6.3. Gaseificação

Transforma resíduos em gás de síntese, usado em turbinas para gerar eletricidade. Autores como Chen et al. (2018) demonstram seu potencial para redução de resíduos e produção energética. Segundo Verstrepen e Pretorius (2006), o processo de gaseificação é considerado a técnica mais eficaz na produção de gás hidrogénio de biomassa. Técnicas de gaseificação são conhecidas por serem rotas autotérmicas separadas com base no balanço de energia, em contraste com técnicas adicionais de conversão termoquímica.

A gaseificação da biomassa tem se mostrado capaz de recuperar mais energia e maior poder calorífico em comparação com a combustão e a pirólise. Isso se deve ao óptimo

aproveitamento do calor e geração de energia de matéria-prima de biomassa existente.

Devido ao seu sistema complexo, a conversão é fraca de monóxido de carbono e hidrogénio por meio de pirólise e liquefação, altamente dependente das condições de trabalho e da presença de reacções secundárias resultantes de partículas sólidas quentes e voláteis. Devido à fácil conversão de monóxido de carbono e dióxido de carbono por metanação catalítica de gás de síntese para gás natural sintético, acrescenta uma vantagem adicional ao processo de gaseificação (BAI *et al.*, 2008).

2.7. Parâmetros Físico – químicos da biomassa

2.7.1. Teor de Humidade (TU)

O Teor de Humidade pode ser definido como sendo a fracção de água presente na amostra (NUNES, 2019). Este parâmetro pode ser expresso tanto em base húmida assim como em base seca.

Bezerra (2016), ressalta que o Teor de Humidade influencia de forma negativa no valor do Poder Calorífico, pelo que, é de extrema importância que o resíduo apresente baixos valores de humidade, visto que altos valores de humidade impedem que o material alcance bons rendimentos como combustível. Portanto, segundo Carneiro (2012) de modo que a compactação das partículas ocorra com êxito, há uma necessidade que sua humidade esteja na faixa compreendida entre 8 e 15%.

O resíduo que possui valores de humidade abaixo ou acima dos valores estabelecidos pode, de certa forma, comprometer o seu potencial de geração de energia térmica, devido a relação que se estabelece entre a humidade e o poder calorífico.

2.7.2. Teor de Materiais Voláteis (TV)

O Teor de Materiais Voláteis representa 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_4), monóxido de carbono (CO), hidrogénio (H_2) e de gases não combustíveis (BLANCO, 2013).

Portanto, 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.

2.7.3. Teor de Cinzas (TC)

Segundo Ohana (2012) citado por 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. De acordo com Garcias-Perez (2006) *Apud* Blanco (2013), o Teor de Cinzas é composto a grosso modo de carbonatos, sulfatos e fosfatos de sílica e metais do primeiro e segundo grupo da Tabela Periódica dos Elementos, exemplo: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Sódio (Na), Potássio (K). Um maior teor de cinzas não é que necessariamente prejudica a combustão dos resíduos, porém, há indícios de que quantidades menores de teor de cinzas aumentam a resistência do resíduo (QUIRINO & BRITO, 1991). Sendo assim, grandes quantidades de teor de 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.

2.7.4. Teor de Carbono Fixo (TCF)

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. É um importante parâmetro utilizado para todos os cálculos de balanço energético e na caracterização de combustíveis sólidos (BLANCO, 2013).

Portanto, o teor de carbono fixo, expressa a quantidade de resíduo combustível remanescente após a libertação do conteúdo volátil. Este parâmetro é o maior responsável pelo poder calorífico, de acordo com Castro, (2011) citado por Nunes, (2019), sendo que, os teores de carbono fixo, expressos em percentagem, são comumente valores calculados e o seu cálculo pode ser feito a partir do teor de cinzas e de materiais voláteis, como se recomenda.

2.7.5. Potencial Hidrogeniónico – pH

O pH pode ser considerado um bom indicador do estado de decomposição da matéria orgânica. Em caso de acidez, é preciso a correcção do pH para favorecimento da decomposição dos compostos orgânicos. Devido ao aumento do pH, a actividade microbiana é favorecida, aumentando assim, a mineralização da matéria orgânica e consequentemente o aumento da disponibilidade de micro nutrientes como o cobre por exemplo (LOURINHO 2012).

2.7.6. Características Térmicas da biomassa

2.7.6.1. Poder Calorífico (PC)

Para Rodrigues *et al.* (2002) *Apud* Blanco (2013), 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.

Conforme Blanco (2013), o Poder Calorífico pode ser determinado sob duas bases distintas: Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI). O Poder Calorífico Superior (PCS) é aquele que leva em conta também a energia gasta para a vaporização da água presente naquela amostra (GENTIL, 2008). E o Poder Calorífico Inferior (PCI) é aquele em que a água gerada na combustão está no estado de vapor.

Alto Poder Calorífico é obtido quando o combustível apresenta elevada quantidade de carbono e hidrogénio, no entanto, o oxigénio possui efeito inverso, o que significa que, um combustível com maior quantidade de oxigénio tende a possuir menor poder calorífico, explica Banco (2013) baseada em Pereira Jr. (2001). No Sistema Internacional de Medidas (S.I), o valor do PC é dado em MJ/kg.

2.8. Tipos de Bioenergias

Segundo Monjane (2014) citado por Simango (2023), dentre os diferentes tipos de bioenergia altamente eficientes e com baixo custo de produção, destacam-se os seguintes:

2.8.1. Bioetanol: Etanol produzido a partir de biomassa ou fracções biodegradáveis de resíduos para utilização como biocombustível. Este tipo de bioenergia pode ser produzido através de resíduos agro-industriais, como é o exemplo do milho e da cana-de-açúcar.

2.8.2. Biodiesel: O biodiesel é produzido a partir de óleos vegetais ou animais para formar éster metílico ou etílico e representa uma alternativa para o uso do óleo diesel, porém não se trata de um combustível totalmente limpo, pois a sua produção gera emissões de gases poluentes.

2.8.3. Biogás: Usa-se biomassa ou fracção biodegradável de resíduos para produzir um gás combustível, para utilização como biocombustível ou gás de madeira. O Biogás é um combustível de alto poder calorífico, gasoso e constituído principalmente por metano. Este combustível pode ser usado em substituição do gás natural que é proveniente de uma fonte não renovável.

2.8.4. Biometano: É produzido por meio da limpeza e da purificação do biogás e é constituído principalmente por metano. Este tipo de combustível pode ser obtido de resíduos pecuários e aterros sanitários.

CAPÍTULO III

3. Metodologia de pesquisa

Neste capítulo são apresentados e discutidos os materiais, métodos e procedimentos experimentais que vão possibilitar o alcance dos objectivos traçados e realização do trabalho.

3.1. Caracterização da pesquisa

a) Quanto a abordagem

A presente pesquisa enquadra – se na área de Química Ambiental, mas especificamente sobre a energia e o meio ambiente, é de natureza experimental baseando numa abordagem de análise quantitativa.

A abordagem quantitativa, foi escolhida pelo facto de possibilitar traduzir todos os dados obtidos em números e/ou percentagem, em forma de quantificar os resultados, a serem obtidos através das experiências, assim como obter respostas conclusivas por tratar-se de uma avaliação.

Tal como afirma Prodanov & De Freitas (2013:128), a abordagem quantitativa requer o uso de recursos e técnicas de estatísticas, procurando traduzir em números os conhecimentos gerados pelo pesquisador.

Assim sendo, na pesquisa os dados foram recolhidos com base na experimentação que consistiu na determinação dos parâmetros físico-químicos dos resíduos de cápsula de amendoim.

O método experimental, foi escolhido pelo facto de apresentar maior exactidão e ser específico para pesquisas quantitativas em ciências naturais, permitindo sistematizar a influência e interacção entre variáveis em estudo.

b) Quanto a Natureza

Quanto a sua natureza, a presente pesquisa classifica-se como uma pesquisa aplicada, esta que na percepção de Andrade (2017), é motivada por razões de ordem prática, com vista as aplicações práticas, com objectivo de atender exigências da vida moderna. Portanto o objectivo principal deste tipo de pesquisa é contribuir para fins práticos, pela busca de soluções para problemas concretos.

O problema apresentado na presente pesquisa reside no facto de se produzir grandes volumes de resíduos sólidos agrícolas, assim como nos impactos que podem advir da sua má gestão ou acúmulo.

c) Quanto aos procedimentos técnicos

Quanto aos procedimentos técnicos, a presente pesquisa fundamenta-se como sendo uma pesquisa experimental. Segundo Prodanov & De Freitas (2013:128): “*neste procedimento determinamos, um objecto de estudo, seleccionamos as variáveis e definimos as formas de controlo e de observação dos efeitos*” Esta fase consistiu na realização das experiências, onde determinou-se as propriedades físico químicas dos resíduos de cápsula de amendoim, através dos métodos analíticos no laboratório de Química da Universidade Pedagógica de Maputo.

3.2. Descrição do local da colecta de Amostras e critério de amostragem

A amostra foi colhida no distrito de Manhiça, na província de Maputo em uma quinta destinada a actividades agrícolas, uma vez que essa actividade é altamente geradora de resíduos. As amostras foram colhidas baseando-se numa amostragem não probabilística por conveniência. O tempo em que os resíduos encontram – se ao ar livre, com vista a colher a amostra que estiver mais fresca, pois assim, será garantido que os seus componentes voláteis não sejam perdidos na sua maioria.

O distrito de Manhiça localiza-se a cerca de 70 km a norte da cidade de Maputo, na estrada nacional que liga com o norte do país e situada na margem direita do rio incomati. É limitado a norte pelo distrito da Macia (Província de Gaza), a sul pelo distrito de Marracuene, a oeste pelos distritos da Moamba e de Maputo e este é banhado pelo Oceano Índico



Figura 3: Localização do distrito de Manhiça.

Fonte: Google Maps, 2023

3.3. Procedimento de colecta e conservação das amostras

A amostra foi colhida no período de manhã, em uma única fase. Foram considerados como critérios de amostragem o tempo em que os resíduos encontravam-se ao ar livre, onde foram colhidas os resíduos, mais frescos, de modo a garantir que os seus componentes voláteis não fossem perdidos na sua maioria. Os materiais que foram usados para colheita de amostras são sacos plásticos e pá e equipamento de protecção luvas, máscara e botas. As condições Ambientais não foram levadas em consideração durante a colecta, transporte e conservação das amostras, pois de acordo com Boane (2017), as variações de temperatura, pressão atmosférica e humidade do meio não afectam as grandezas de (ST, SF e SV) definidas para o estudo. As amostras colhidas foram colocadas em sacos plásticos e transportadas para o laboratório de química da Faculdade de Ciências Naturais e Matemática, no laboratório foram armazenadas a temperatura ambiente por um período não superior a 10 dias.



Figura 4: acondicionamento dos resíduos

Fonte: Autora (2023)

3.4. Organização de dados

Foram considerados como dados da pesquisa, o poder calorífico superior dos resíduos, matéria mineral (sólidos totais, fixos e voláteis), teor de humidade, Matéria Orgânica, carbono Fixo, teor de cinzas. Assim como o pH dos resíduos, esses dados foram determinados recorrendo: Mufla, estufa, pH metro, também em algumas expressões Matemáticas para determinar os seus valores caloríficos, foram posteriormente organizados em tabelas de Excel na sua última versão (2013).

3.5. Fases do trabalho

A presente pesquisa foi realizada em três principais fases, a saber:

3.5.1. Fase 1: Pré – Campo

Esta Fase consistiu em colectar os dados, em que fez – se um estudo exploratório, buscando diferentes métodos, parâmetros físico – químicos em vista a caracterização dos resíduos em relação aos aspectos energéticos.

3.5.2. Fase 2: Trabalho em campo

Nesta fase definiu – se a amostragem do trabalho e foi feita a colecta, a rotulagem, conservação e transporte das amostras, este processo todo consistiu na aplicação de todas as técnicas e critérios descritos anteriormente.

3.5.3. Fase 3: Trabalho experimental

Esta fase que compreendeu na determinação dos parâmetros, as quais influenciam no potencial energético dos resíduos. Estas análises foram realizadas no Laboratório de química da Faculdade de ciências Naturais e Matemática da Universidade Pedagógica de Maputo.

3.5.3.1. Fases do trabalho Experimental

O trabalho experimental consistiu em duas (2) fases: a primeira destinada à preparação e fraccionamento dos resíduos, a segunda fase destinada à determinação das propriedades físico-químicas. Conforme ilustra o diagrama 2.

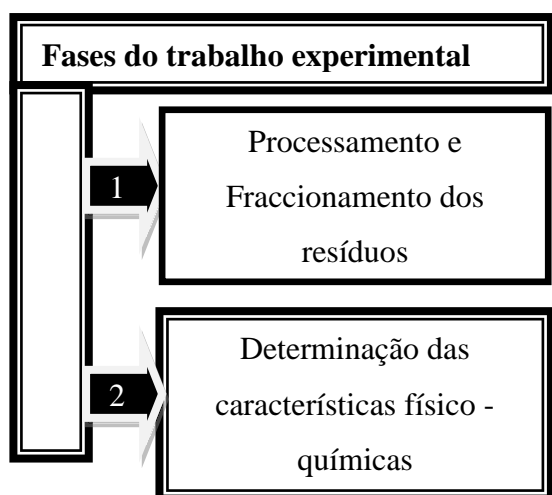


Diagrama 2: Fases do trabalho experimental

Fonte: Autora (2023)

3.6. Desenho experimental

O diagrama a seguir, resume o trabalho experimental realizado no trabalho:

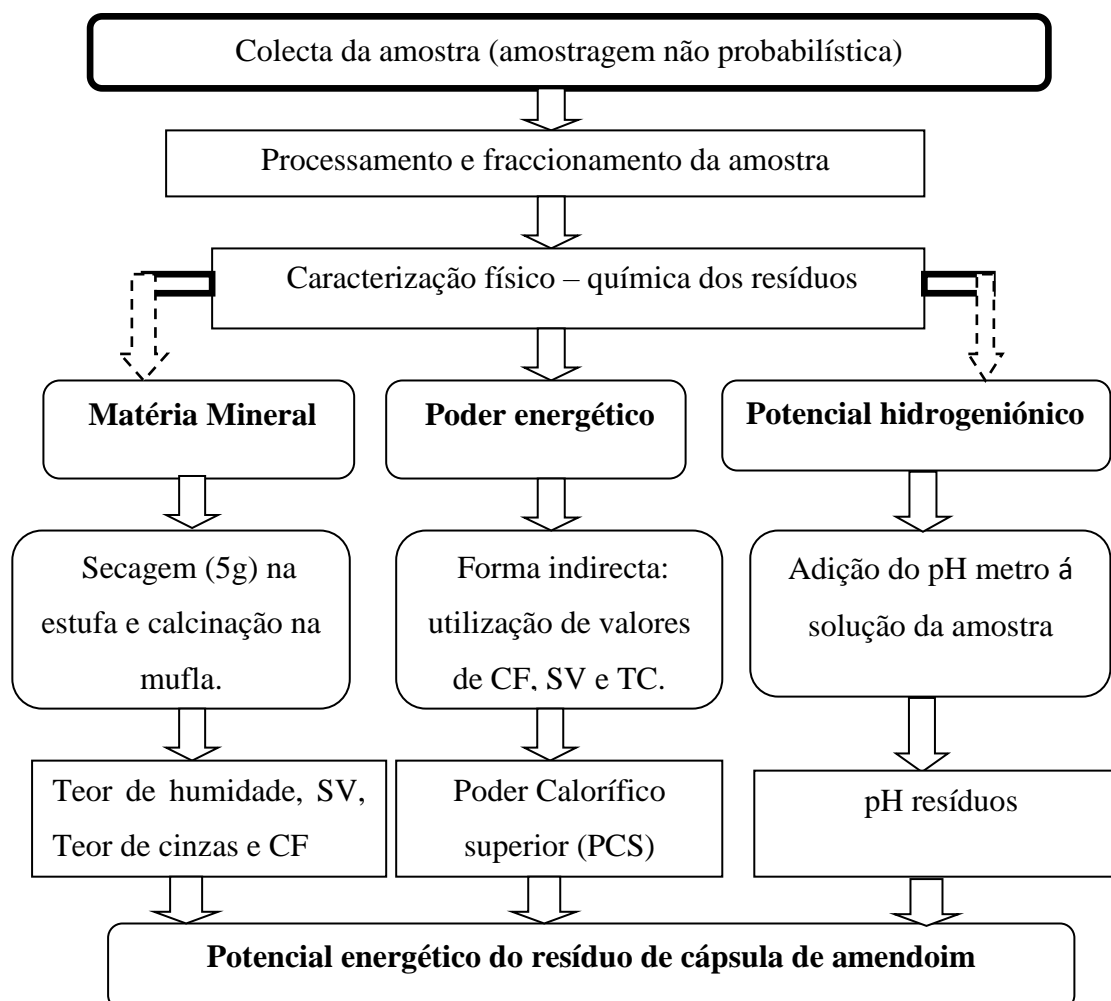


Diagrama 3: Desenho experimental do trabalho

Fonte: Autora (2023)

3.6.1. Descrição do trabalho experimental

A seguir, descreve – se com detalhe as actividades desenvolvidas em cada fase do trabalho experimental do trabalho.

3.6.2. Preparação e fracionamento das amostras.

Esta fase tinha como objectivo preparar as amostras para as análises, neste caso, houve necessidade de uniformização das partículas da amostra, a qual compreendia na trituração e moagem, com o auxílio de um liquidificador foi possível reduzir o tamanho da amostra.



Figura 5: Preparação da amostra

Fonte: Autora (2023)

3.6.3. Determinação parâmetros físicos – químicos

Nesta fase foram caracterizados aspectos físico-químicas do resíduo em estudo, onde foram analisados os teores Humidade, sólidos totais, sólidos voláteis, sólidos fixos, teor de cinzas pH.

I. Determinação do teor de humidade

O teor de humidade foi determinado baseando-se nas normas ABNT NBR 1429-0, que consiste na diferença entre as massas da amostra antes e logo após ser submetida a secagem. Para tal, inicialmente, os cadinhos previamente preparados e enumerados, foram colocadas, a estufa a uma temperatura de 105°C. Em seguida foram retiradas da estufa para o dessecador. Após isso pesou-se cerca de 5,0 g de amostra e submeteu-se novamente a estufa a mesma temperatura por 2 horas, após esse tempo os cadinhos foram retirados da estufa e colocados em dessecador por 10 minutos. E em seguida pesou-se novamente os cadinhos para obter a massa após secagem.



Fonte: Autora (2023)

O teor de humidade foi determinado recorrendo a seguinte equação

$$TH = \frac{M(inicial) - M(final)}{M(inicial)} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

TH = Teor de humidade em percentagem (%)

M (inicial) = a massa da amostra antes da secagem em gramas (g)

M (final) = a massa da amostra após a secagem, em gramas

II. Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado baseando-se com as normas ABNT NBR 133999-03, onde pesou-se cerca 5g de amostra, levou-se os cadinhos com as amostras e realizou-se a pré - incineração no bico de Bunsen, isto como forma de eliminar ou reduzir a quantidade de matéria orgânica existente na amostra (este procedimento foi cauteloso pois, as amostras não podiam pegar fogo), durante 5 minutos. Em seguida, os cadinhos com as amostras já transformadas e carbonizadas foram introduzidos na Mufla por três horas a 550°C, em seguida foram resfriados em dessecador e foi pesado a massa final (cinzas).



Figura 7: Determinação do teor de cinzas

Fonte: Autora (2023)

O teor de cinzas foi determinado recorrendo a seguinte equação

$$TC = \frac{M(inicial) - M(final)}{M(amostra)} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde

TC = Teor de cinzas (%)

M (inicial) = Massa inicial, M (cadinho) + M (amostra) em gramas (g)

M (amostra) = Massa final do teor de humidade em gramas (g)

M (final) = massa final de cinzas após queima na Mufla em gramas (g)

III. Determinação do teor de ST, SF e SV

Esses parâmetros foram determinados em uma única fase, primeiro foi determinado o teor de sólidos totais, em seguida o teor de sólidos fixos, o teor de sólidos voláteis foi calculado pela diferença entre os dois parâmetros (ST e SF). Inicialmente as cápsulas de porcelanas foram calcinadas na Mufla por 1h a 550° C, depois de serem arrefecidos no dessecador as cápsulas foram pesadas para obter o peso de cápsulas sem a amostra. Em seguida, foram pesadas 5g da amostra e colocada na respectiva cápsula de porcelana, em seguida as cápsulas contendo a amostra foram submetidas a carbonização no bico de Bunsen de modo a diminuir a matéria orgânica, feito isso, as amostras foram colocadas na Mufla por um período de 6h a 550°C, depois de serem retiradas da Mufla foram colocadas no dessecador até atingir a temperatura ambiente e foram pesadas.



Figura 8: Determinação do teor de sólidos totais

Fonte: Autora (2023)

O teor de sólidos totais foi determinado de acordo com a seguinte equação

$$ST (\%) = \frac{(p_1 - P_0)}{P_a (g)} \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

Onde

ST= Sólidos totais (%)

P₁ = Peso dos cadinhos com a amostra em gramas (g)

P₀ = peso da cápsula vazia em gramas (g)

P_a = Peso da amostra em gramas (g)

O material obtido na análise anterior (sólidos totais), foi colocado na Mufla novamente por um período de 30min a 550°C, depois de serem retiradas foram colocadas no dessecador até obter a temperatura ambiente e foram pesadas. De modo a obter o teor de sólidos fixos.



Figura 9: Determinação do teor de sólidos Fixos

Fonte: Autora (2023)

O teor de sólidos fixos foi determinado de acordo com a seguinte equação 2:

$$SF (\%) = \frac{(P2-p1)}{Pa (g)} \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde

SF = sólidos Fixos

P0 = peso do cadinho vazio

P2 = peso da amostra dos sólidos totais

Pa = peso da amostra.

O teor de sólidos voláteis, foi calculado pela diferença entre sólidos totais e fixos. De acordo com a seguinte expressão recorrendo a seguinte equação 3:

$$SV = ST - SF \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde

SV = Sólidos voláteis

ST = Sólidos Totais

SF = Sólidos Fixos

IV. Determinação do pH dos resíduos

Foram pesadas cerca de 5g de amostra na balança analítica e foram colocadas em copo de Becker, depois foram adicionados 20ml de água destilada, em seguida foi mexida a solução com ajuda de uma vareta de vidro e deixada repousar por um período de 1h. Antes da leitura as amostras foi mexida novamente com vareta de vidro. Em seguida procedeu-se com a leitura de pH da cada amostra, introduzindo o eléctrodo na suspensão homogeneizada, para análise de pH foi utilizado um pH metro já calibrado com as soluções tampão, as análises foram realizadas em triplicata.

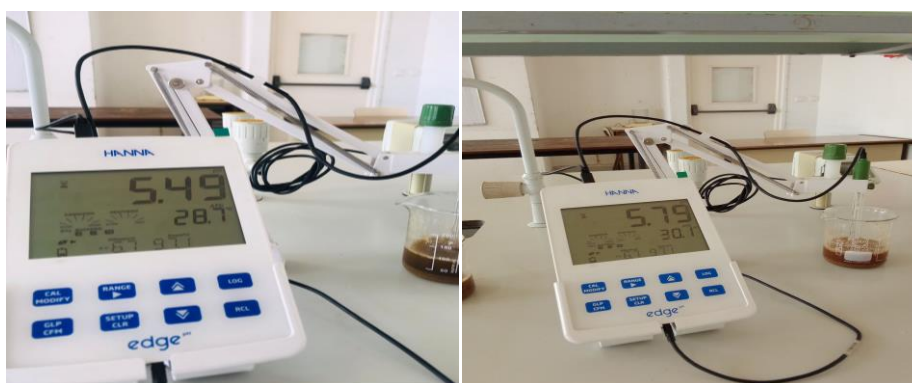


Figura 10: Determinação do pH dos resíduos

Fonte: Autora (2023)

V. Determinação do carbono fixo

Calculou-se o teor de carbono fixo, subtraindo o total (100%) a soma dos teores de sólidos voláteis (SV) e o teor de cinzas (TC), de acordo com a seguinte equação

$$CF = 100 - (SV + TC) \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

CF = teor de carbono fixo (%)

SV = teor de Sólidos voláteis (%)

TC = teor de cinzas (%)

VI. Determinação do poder calorífico

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).

$$PCS = 84,5104 \times (CF) + 37,2601 \times (SV) - 1,8642 \times (TC) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

PCS = poder calorífico superior em quilo calorias por quilograma

CF = teor de carbono Fixo (%)

SV = teor de sólidos voláteis (%)

TC = teor de cinzas (%)

A tabela (2) resume os métodos, as condições de ensaios e equipamentos utilizados

Tabela 3: Métodos, condições de ensaios e equipamentos utilizados

Análises	Métodos	Amostragem	Temperatura	Equipamentos
Teor de humidade %	ABNT NBR 14929-03	≅ 5,0g	105 ± 3°C	Balança analítica e estufa
Sólidos totais (%)	Termogravimétrico (Lol)	≅ 5,0g	80°C/30' e 550°C /6H	Balança analítica, estufa e Mufla
Sólidos Fixos (%)	Termogravimétrico (Lol)	≅ 5,0g	80°C/30' e 550°C/6H:20'	Balança analítica, estufa e Mufla
Sólidos Voláteis	Termogravimétrico (Lol)	Por diferença	-	-
Teor de Cinzas (%)	ABNT NBR 13999-03	≅ 5,0g	525±25	Balança analítica e estufa e Mufla
Carbono fixo (%)	DIN EN14918-14	Por diferença	-	
pH	Potenciómetro	≅ 10,0g		pH metro
PCS (MJ/Kg)	ABNT NBR 8112-86	Por diferença	-	-

Fonte: Silva et al (2020) citado por Simango & Boane (2023)

CAPÍTULO IV

4. Apresentação, análise e Discussão dos Resultados

Neste capítulo são apresentados e discutidos todos os resultados obtidos das experiências realizadas para avaliação do potencial energético da cápsula de amendoim

Os resultados experimentais do estudo estão organizados em três (03) partes. A primeira corresponde aos resultados da determinação das características físico-químicas do resíduo, características, essas que ditam o poder energético da biomassa. A 2ª Parte refere-se aos resultados da análise das características físico químicas, isto é a influência que cada propriedade exerce sobre o poder energético da biomassa. A 3ª parte corresponde aos resultados da sustentabilidade ambiental e energético do uso desses recursos.

4.1. Resultados da determinação das características físico-químicas dos resíduos

A tabela 2, apresenta os resultados que correspondem as análises experimentais

Tabela 2: Resultados das análises físico-químicas

Parâmetros	Número de réplicas			Resultados (valores médios ± desvio padrão)
	1	2	3	
Sólidos totais (%)	47.8931	48.3192	50.002	48.7381±1.11
Sólidos Fixos (%)	34.8906	33.8957	36.28	35.0221±1.19
Sólidos voláteis (%)	13.0017	14.424	13.7223	13.716±0.71
Teor de humidade (%)	4.218	3.9958	3.8912	4.035±0.16
Teor de cinzas (%)	2.099	2.061	2.314	2.158±0.04
Carbono fixo (%)	84.8993	83.515	83.9637	84.126±0.70
Poder calorífico superior (MJ/Kg)	32.0512	31.7839	31.8327	31.8892±0.14
pH	6.89	5.49	5.75	6.04±0.98

Fonte: Autora (2023)

4.2. Análise das características físicas químicas

4.2.1. Análise do teor de Carbono fixo (CF)

O teor de carbono, expressa a quantidade de resíduo combustível remanescente após a liberação do conteúdo volátil. Segundo Castro (2011) é o parâmetro responsável pelo poder calorífico.

Segundo Alves (2014) citado por (Simango & Boane, 2023), a análise do carbono fixo determina a quantidade de biomassa queimada no estado sólido. Para uma combustão maior, percentuais de carbono fixo são preferíveis, pois indicam que a queima do material é mais lenta.

Com os dados da pesquisa, verifica-se que a biomassa de cápsula de amendoim apresenta altos teores de carbono fixo cerca de 80%. Deste modo a cápsula de amendoim torna-se favorável quanto ao tempo de permanência na combustão deste resíduo.

No estudo desenvolvido por Tivane & Massango (2021), analisando também o potencial energético da casca de amendoim tiveram um teor de carbono fixo de 15%, essa diferença significativa deve-se ao facto de que, no estudo foi feito a análise do teor de carbono fixo após briquetagem do resíduo, diferente da presente em que foi feito a análise do resíduo sem a briquetagem (*in natura*). Também pode-se se justificar esses dados pela diferença de metodologias usadas.

Porém no estudo feito por silva et al (2020), obteve um teor de carbono fixo com cerca de 70% para casca de amendoim. Dado este que é próximo ao encontrado na presente pesquisa. Entretanto, Os combustíveis com altos teores de carbono apresentam queima mais lenta, como resultado, apresenta mais tempo de permanência nos Equipamentos de queima tornando, quando comparados com os combustíveis de menor teor de voláteis.

4.2.2. Análise do teor de Sólidos voláteis (SV)

Segundo Blanco (2013) citado por Macamo (2013) o teor de sólidos voláteis de um combustível é o vapor libertado quando o combustível é aquecido, isto é, representa a parte do combustível que se separa na forma de gases quando combustível é submetido a um teste padrão de aquecimento. Assume papel importante durante a ignição e as etapas iniciais de combustão da biomassa, já que determina os teores de combustão gasosa e a chama (SANT'ANNA *et al.*, 2012).

Com os dados da pesquisa verifica-se que a biomassa de cápsula de amendoim apresenta um valor médio de sólidos voláteis cerca de 13.7%. Este resultado torna-se satisfatório pois segundo Silva et al (2020), o teor de voláteis representa a parte da biomassa que evapora (incluindo humidade) por aquecimento, baixos teores de sólidos voláteis tendem a altos teores de carbono fixo, ou seja eles poderão requerer longo tempo de residência na fornalha para queima total.

No estudo desenvolvido Alves (2014) analisando também a casca de amendoim foi achado um valor de 19.2%, é um dado próximo ao encontrado na análise, porém essa ligeira diferença pode se justificar pela diferença de metodologias usadas e isso pode estar relacionado com o facto de a análise ser feita após a briquetagem.

Importa aqui salientar que o teor de material volátil é inversamente proporcional ao valor do parâmetro analisando anteriormente (Carbono fixo), isto é, combustíveis com potencial de queima lento possuem altos teores de carbono fixo e baixos teores de material volátil e vice-versa (BRAND, 2010) citado por (TIVANE & MASSANGO, 2021).

Entretanto os voláteis são constituintes indesejados para os combustíveis pelo facto destes reduzirem o seu poder calorífico. No entanto, considerando esse valor encontrado, contribuirá para um maior potencial energético, pois os materiais voláteis, tendem a evaporar mais rápido reduzindo assim o tempo de permanência do combustível.

4.2.3. Análise do teor de Cinzas (TC)

Segundo Simango & Boane (2023), as cinzas geradas na queima de combustível informam a quantidade de energia, produzida pela biomassa, ou seja, quanto mais cinzas são produzidas, menos eficiente deverá ser a queima deste resíduo, em função de um maior teor de elementos minerais presentes, comprometendo a qualidade do produto devido a diminuição da eficiência de queima de resíduo.

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 oxigénio para fazer derreter as cinzas, facto que obviamente, acaba afectando a transferência de calor. (OSHIRO, 2016:32).

No trabalho desenvolvido por Tivane & Massango (2021), foi achado 2.4% para o teor de cinzas, dado este, próximo ao encontrado na pesquisa. Também verifica-se que no estudo feito por Silva (2020), o valor achado foi de cerca de 4% para casca de amendoim, também um valor próximo ao valor da presente pesquisa.

Portanto, para este parâmetro baixos teores de cinzas são preferíveis, pois altos teores de cinzas levam a uma diminuição da eficiência da queima.

4.2.4. Análise do teor de humidade (TH)

A humidade é uma característica que influi, de forma negativa para a viabilidade da utilização da biomassa para a geração de energia. Assume um papel importante, pois um alto teor de humidade faz com que o processo de combustão seja mais baixo, necessitando de mais energia para vaporizar a água, deste modo fornecendo menos energia para a queima, levando à redução do poder calorífico e aumento do consumo de combustível.

Com os dados da pesquisa verifica-se que o teor de humidade é baixo, cerca de 4.035% esse dado é favorável pois, tal afirma Lourinho (2012), um teor de humidade deve estar entre 10 a 15% pois este valor é considerado baixo em relação a lenha convencional e não causa a sua eficiência na estabilidade,

Na pesquisa desenvolvida por Tivane & Massango (2021), analisando diferentes biomassas residuais, para a casca de amendoim achou um valor médio de 8.78% de teor de humidade, valor praticamente semelhante ao encontrado no trabalho, essa diferença pode ser pela influência da origem do resíduo. O autor ainda afirma que altos teores de humidade fornecem menos energia para a queima, levando à redução do poder calorífico e aumento do consumo de combustível.

4.2.5. Poder calorífico superior (PCS)

O poder calorífico superior (PCS) é definido como a quantidade de calor libertado por unidade de massa (ou volume) de combustível, quando da sua combustão, incluindo o calor latente de vaporização da água. No fundo trata-se da quantidade máxima de energia térmica potencialmente recuperável de uma fonte de biomassa.

Com os dados da pesquisa, verifica-se um alto poder calorífico dos resíduos, o valor médio do poder calorífico encontrado foi de 31.8892 MJ/Kg (cerca de 7616.55 kcal/kg).

O poder calorífico é um bom indicador do potencial energético, pois é a energia térmica contida na biomassa antes mesmo de qualquer tipo de conversão.

4.3. Análise do potencial energético da amostra

O gráfico 1 ilustra de forma resumida a potencialidade energética dos resíduos de cápsula de amendoim, a partir dos parâmetros determinados, como MM, poder calorífico, análise imediata.

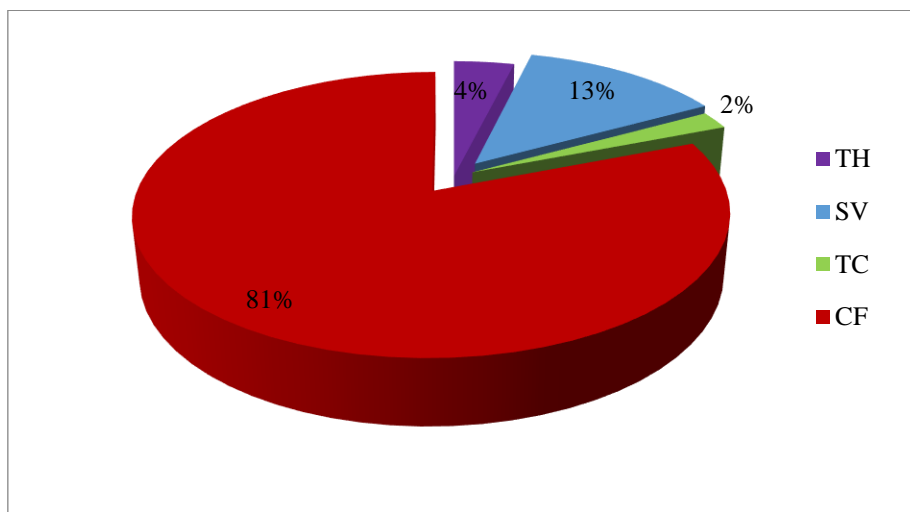


Gráfico 1: Análise do potencial energético da cápsula de amendoim

Fonte: Autora (2023)

De acordo com as estatísticas do gráfico verifica-se altos percentuais de carbono fixo, conforme dito anteriormente, o teor de carbono influencia directamente no poder calorífico, ou seja quanto mais o teor de carbono fixo, melhor é a qualidade da biomassa.

Tal como afirma Silva *et al.* (2020), quanto maior o Carbono fixo melhor qualidade possui a biomassa, pois maior é a capacidade de acender ou permanecer nos queimadores por mais tempo e conseqüentemente maior energia libertada por unidade de massa.

O teor de sólidos voláteis achados no trabalho ocupa a segunda posição, com maior percentagem, a quantidade de sólidos voláteis define a reactividade do combustível, ou a facilidade com a que a biomassa queima, no entanto esse teor é importante pois ajuda a manter a chama da combustão.

O teor de humidade encontra-se na terceira posição como sendo, o dado de maior percentual no que concerne a análise imediata. Importa referir que altos valores de humidade comprometem no poder calorífico, uma vez que impede que o material alcance bons rendimentos como combustível.

Como pode se verificar no gráfico 1, o teor de humidade não apresenta assim um valor alto, pois tal como recomenda Alves (2014) o teor de humidade nas amostras, inferior a 15%, indica condição favorável para conservação destes resíduos. Então para o estudo o teor de humidade encontra-se na faixa recomendada para um bom combustível sólido.

O teor de cinzas, afecta negativamente no poder calorífico, pois reduz a eficiência energética da biomassa, o que acaba comprometendo na sua qualidade como combustível. Para o estudo Verificou-se baixos teores de cinzas, o que favorece mais uma vez como um combustível de qualidade.

Portanto no resumo descrito acima, podemos constatar que os dados resultantes da análise imediata da amostra, evidenciam um expressivo potencial energético da cápsula de amendoim, para o uso doméstico como combustível principalmente na zona rural, atendendo as características que apresentam no estudo, desse pode minimizar o uso da lenha que é resultante do desmatamento das florestas.

4.4. Resultados da sustentabilidade do uso dos resíduos de cápsula de amendoim na geração de energia

Com base nas características físico-químicas, dos resíduos encontradas no estudo, consideremos a sustentabilidade do uso dos resíduos de cápsula de amendoim em duas vertentes: sócio – económico e ambiental.

4.4.1. Sustentabilidade Ambiental

Reaproveitando esses resíduos pode ajudar na gestão e destinação correcta desses resíduos, consequentemente evitando perda de matéria-prima, assim como a reduzir gradualmente o incremento progressivo do desflorestamento, preservando desta forma o meio ambiente, pois tal como Declara Estocolmo, (2016) Citado por Boane, (2017) a protecção e o melhoramento do meio ambiente humano é uma questão fundamental que afecta o bem-estar dos povos e o desenvolvimento económico do mundo inteiro. No entanto, esses eixos podem melhorar na preservação do meio ambiente atrelando o desenvolvimento ao crescimento sustentável.

O estudo realizado por Goldermerg, (2007), afirma com razoável grau de certeza que a existência da raça humana sobre a terra cria mudanças climáticas, causadas pelo aumento nas concentrações atmosféricas dos gases que causam o aumento do efeito.

4.4.2. Estimativa do Potencial de Geração de Energia Eléctrica

Após a estimativa em relação às características dos resíduos e posteriormente o PCS, foi possível calcular a quantidade de energia eléctrica produzida e distribuível. Para este efeitos, primeiramente foi realizado o cálculo da potência térmica da usina considerado a possibilidade de incinerar 1 tonelada desses resíduos por hora e um PCS de 7371.7431 kcal/kg (cerca de 30961 KJ/kg), levou em consideração também, que a usina funcione 30 dias e 24horas (720 horas).

A potencia térmica atingida com os resíduos será de

$$Pt \text{ (Mwt)} = Qt. \text{ (t.h)} \times \text{PCS (kcal/kg)}$$

$$Pt \text{ (Mwt)} = 1 \text{ (t.h)} \times 31989.51 \text{ kJ/kg} \times 1\text{h}/3600\text{s} \times 1000 \text{ (kg/t)}$$

$$Pt \text{ (Mwt)} = 8.8860 \text{ Mwt.}$$

Para os cálculos de Potência foi considerado o factor de conversão de unidades, em que: 1 MWt equivale a 1000 kJ/s.

Segundo Simango & Boane (2023), a partir desta etapa é possível estimar a quantidade de energia eléctrica produzida. Considerando a realidade Moçambicana, onde as residências não possuem a necessidade de energia térmica nas residências para o aquecimento nos períodos inverniais. Foi calculada apenas a geração de energia. Considera-se o rendimento para a energia eléctrica aproximadamente 30% Para o cálculo da potência eléctrica do gerador:

$$Pe \text{ (Mwe)} = Pt \text{ (Mwt)} \times 30\%$$

$$Pe \text{ (Mwe)} = 8.8860 \text{ (Mwt)} \times 30\%$$

$$Pe = 2.665 \text{ Mwt}$$

Esse dado é o valor da potência eléctrica concedida à rede, considerando a incineração de 1 tonelada de resíduos por uma hora. De seguinte calculou-se a potência eléctrica mensal, ou seja, considerando que a usina funcione durante 720 horas (30 dias e 24 horas), verifica-se a potência eléctrica (Pe) mensal.

Cálculo da potência eléctrica mensal dos resíduos

$$Pe \text{ (Kwe/mes)} = (\text{Kwe}) \times 720\text{h}$$

$$Pe \text{ (Kwe/mes)} = 3165.46 \text{ Kwe} \times 720\text{h}$$

$$Pe \text{ (Kwe/mes)} = 2.279.131.2\text{kwh/mês}$$

De acordo com as estatísticas da electricidade de Moçambique, nas zonas rurais a demanda de energia de cada residência é de 280KWh/mês por unidade consumidora. Assim sendo os resíduos de cápsulas de amendoim teriam capacidade de produzir energia eléctrica para aproximadamente oito mil e cento e trinta e nove (8139) Residências. Considerando a razão entre a potência eléctrica mensal e a demanda de energia por cada residência.

Portanto, de acordo com Gutta (2021) Esta quantidade é um valor estimado, para valores exactos, outros aspectos devem ser estudados como por exemplo, a utilização por cada habitante, consumo nos horários de pico, capacidade e estruturas da rede de distribuição, etc.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÃO

Deste modo, conclui-se que:

- A biomassa residual de cápsula de amendoim apresenta características físico-químicas favoráveis como combustível sólido alternativo para atender a demanda de energia e o consumo nas zonas rurais.
- Quanto maior for o teor de carbono fixo e menor for teor de cinzas, teor de voláteis, teor de humidade melhor é qualidade da biomassa como combustível

- A biomassa residual de cápsula de amendoim apresenta um expressivo potencial energético uma vez que indicou um alto poder calorífico superior
- Com base nas características dos resíduos e adoptando a tecnologia WTE é possível aplicar a estratégia a qual; seria suficiente para gerar 2.739.131,2 kwh/mês de energia elétrica, conseqüentemente atendendo cerca de 8139 residências mensalmente

5.1. PROPOSTAS

Para as **futuras pesquisas**, propõem que sejam analisadas as diversas biomassas residuais de origem agrícola, pois são vários recursos que são descartados sem o conhecimento do poder energético.

Propõe-se também analisar o potencial dos mesmos resíduos em estudo, em diferentes regiões, para verificar se a origem influencia no poder potencial calorífico.

A Universidade Pedagógica de Maputo/FCNM, Departamento de Estudos e Tecnologias Ambientais: Propõe-se que se crie na UPM um centro de bioenergia para as pesquisas contínuas nesta área com vista a maximizar os conhecimentos na mesma, também que se adquira um aparelho que análise de poder calorífico (bomba calorimétrica).

6. Referências Bibliográficas

- ✓ ADENE/INETI. *Fórum Energias Renováveis em Portugal, Relatório síntese*. 2001
- ✓ ALER. Energias renováveis em Moçambique: *Relatório Nacional do ponto de situação*. 2. ed. Maputo: ALER – Associação Lusófona de Energias Renováveis, 2017.
- ✓ ALVES, Darline Albuquerque; *Avaliação do potencial energético de resíduos de produção agrícola provenientes do beneficiamento da mandioca e do milho*, dissertação de mestrado para obtenção do grau académico de Mestre, Universidade Federal de Alagoas, 2014. 80p.

- ✓ AMADE, Neves Alfredo e 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
- ✓ AMISSE, Ássia; e BOANE, Alberto A. *Avaliação o potencial energético do lodo da estação de tratamento de águas residuais no infulene*. Monografia científica para obtenção do grau académico de licenciatura em engenharia ambiental e gestão de descartes, Faculdade de Ciências Tecnológicas, Universidade Técnica de Moçambique, Maputo, 2021. 89p
- ✓ ANDRADE, Maria Margarida de. *Introdução à Metodologia do Trabalho Científico*. 10 ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- ✓ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR. 8112/83, *carvão vegetal – análise imediata*.
- ✓ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR. 8112/86, *determinação do poder calorífico*.
- ✓ BARROS, V. R. De. *Briquetes produzidos com resíduos de poda urbana e embalagens cartonadas*. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais-Brasil, 2013. 44 Páginas.
- ✓ BAVARESCO *et all*, *Acesso a electricidade e sustentabilidade social em Moçambique*. Maputo, 2017.
- ✓ 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 (Graduação Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. CARNEIRO, A. de C. O., *Aproveitamento de Resíduos Agrícolas e Florestais para Produção de Briquetes para Geração de Energia*. Viçosa, 2012.
- ✓ BLANCO, K. M., *Aproveitamento da biomassa remanescente da colheita de cana-deaçúcar para cogeração*. Dissertação (Pós-Graduação em Bioenergia). Universidade Estadual de Maringá-UEM, Maringá, 2013.
- ✓ BOANE, Alberto; *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. 111p
- ✓ BORGES, Joane L. *Diagrama de Fontes de Hidrogénio*, Rio de Janeiro, 2009.

- ✓ BUDUA. *Geração de Biogás a partir de Excremento Bovino no Centro Zootécnico de Chobela: Um Estudo comparativo entre o gado leiteiro e de corte*. Maputo, 2014.
- ✓ CARDOSO, *Avaliação do impacto ambiental: Unidade de produção de 5000 suínos*. Maputo, 2012.
- ✓ DIAS, J. M. C. De Sousa; SOUZA, D. T. de; BRAGA, M.; ONAYAMA, M. M. *et al. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais*. Embrapa Agroenergia, Brasília-DF. 2012.
- ✓ FAO, *Florestas e fauna bravia na segurança alimentar, nutrição e alívio a pobreza. policybriefing*. Maputo. 2007.
- ✓ FIGUEIREDO, E. R.; CANDEIA, R. A.; FARIAS, E. T. do R. *et al., Preparação e Caracterização de briquetes obtidos da vagem de moringa e do papel celulose*, ed, São José dos Pinhais, Brazilian Journals Publicações de Periódicos e Editora, 2020.
- ✓ FORTES, António G.; MUTENDA, F. M.; RAIMUNDO, B. *Energias Renováveis em Moçambique: disponibilidade, geração, uso e tendências futuras*. Revista Brasileira Multidisciplinar. 2019.
- ✓ FORTES, António; *Importância das energias renováveis no quotidiano: percepções dos alunos da escola secundária de anguabe sede*, Maputo, 2019.
- ✓ FUNAE, disponível em <https://www.funae.co.mz/index.php/pt/recursos/recurso-biomassa>. 2014
- ✓ GENTIL, L. V., *Produção e uso de energético de biomassa e resíduos agroflorestais*.
- ✓ GOLDEMBERG, J. LUCON, O. *Energia e meio ambiente no Brasil*. Estudos avançados. 2007.
- ✓ LOURINHO, Gonçalo; *Avaliação do potencial energético em Biomassa de alto Alentejo*, Porto Alegre, 2012
- ✓ MACAMO, Florência João; e BOANE, Alberto 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 académico de licenciatura em ensino de Química. Faculdade Ciências Naturais Matemática, Maputo, universidade pedagógica, 2021.99p.
- ✓ MANIO - *Avaliação do potencial de biomassa da região do Algarve*. Relatório final. Maio 2020.
- ✓ MARAFON, et al; *Uso da biomassa para geração de energia*, são Paulo, 2016

- ✓ MASSINGUE, J., RAFAEL, G *Agricultura, nutrição e segurança alimentar: Progressos e perspectivas de desenvolvimento. Relatório de Pesquisa. Maputo: Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural. 2012.*
- ✓ MONJANE, A. A. R.; BARROS, J. A. P. DE. *Potencialidades bioenergéticas em Moçambique.* Revista Eletrônica de Energia, v. 5, n. 1, p. 5–12, 2015.
- ✓ MONJANE, A., *Manual de Química Ambiental*, Maputo, 2014
- ✓ 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>
- ✓ OSHIRO, Thaís Liemi. *Produção e caracterização de briquetes produzidos com resíduos lignocelulosicos.* Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR. Londrina, 2016.
- ✓ PECORA, Vanessa. *Implementação de uma unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP: estudo de caso.* 2006. 152 p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006
- ✓ PRODANOV e FREITAS. *Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.* 2ª Edição. Rio Grande do Sul. 2013
- ✓ PROTÁSIO, T. de P.; BUFALINO, L.; MENDES, R. F. *et al.*, *Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16 (11), 2012.
- ✓ QUIRINO, W. F., *Utilização energética de resíduos vegetais.* Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis- IBAMA, Brasil, 2003.
- ✓ QUIRINO, W. F. *et al.*, *Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira.* Scientia Forestalis, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.
- ✓ RAPOSO, F. L. Q.; MARTINS, V.; SAMPAIO, C. H. *et al.*, *Aproveitamento de biomassa resultante da serragem e painagem da madeira em Moçambique.* SENAFOR-Porto Alegre / RS - Brazil, 2015.
- ✓ RAPOSO, Fortunato *et al.* *Aproveitamento de Biomassa Resultante da Serragem e Paisagem da Madeira em Moçambique.* 2015
- ✓ ROTTAVA, Willian, *Estimativa de Produção de Hidrogénio para Aplicação em Células a Combustível-Estudo de Caso: Granja Colombari, Paraná, 2013.*

- ✓ SANT'ANNA, M. C. S.; LOPES, D. F. C.; CARVALHO, J. B. R. *et al.*, *Caracterização de briquetes obtidos com resíduos da agroindustria*. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.14, n. 3, p. 289-294, 2012.
- ✓ SILVA. *Estimativa de potencial de geração de biogás a partir de resíduos de animais: Estudo de caso de uma granja localizada em Videira*, Florianópolis, 2018.
- ✓ SIMANGO, Abnel J. & BOANE, Alberto A.: *Análise E do potencial calorífico dos resíduos sólidos agrícolas (RSA): Um estudo comparativo entre pé-de-milho e pé-de-feijoeiro*. Monografia científica para obtenção do grau acadêmico de licenciatura em ensino de química. Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo, Universidade Pedagógica 2023. 77p
- ✓ TAIMO, Eudinelia José; e BOANE, Alberto A.: *Avaliação do potencial bioenergético da biomassa pecuária: um estudo comparativo entre excremento bovino e suíno*. Monografia científica para obtenção do grau acadêmico de licenciatura em ensino de química. Faculdade de Ciências Naturais e Matemática. Maputo, Universidade Pedagógica 2021. 69p
- ✓ TIVANE, Geraldo Carlos; *Estudo do potencial energético de briquetes produzidos a partir de resíduos de cascas de amendoim e da serradura da madeira*. Monografia científica para obtenção do grau acadêmico de licenciatura em ensino de Física. Faculdade de Ciências Naturais e Matemática, Maputo, Universidade Pedagógica, 2022. 88p.
- ✓ VALE, A. T. do; ARAÚJO, T. A. de; FORTES, M. M. *et al*, *Qualificação de briquetes produzidos com mistura de rejeitos sólidos urbanos*.

Apêndices

Apêndice 1: Guião experimental

Tema: Avaliação do potencial energético da biomassa residual de cápsula de amendoim

Nome: Lúcia José Chachuaio

Objectivos:

- Caracterizar físico-quimicamente a biomassa de cápsula de amendoim
- Determinar os valores caloríficos superior e inferior;
- Discutir a sustentabilidade energética do uso da biomassa residual de cápsula de amendoim na geração de energia.

Experiência 1: Determinação do teor de MM dos resíduos

Reagentes	Equipamentos e Vidrarias
Amostra de resíduos cápsula de amendoim	Estufa Mufla Balança analítica 3 Cadinhos de Porcelana 1 Dissecador 1 Pinça Metálica e de madeira

a) Determinação dos sólidos totais

- ✓ Calcinar as cápsulas de porcelanas a 550° na Mufla por 1 hora: as cápsulas devem ser calcinadas como forma de esterilizar
- ✓ Após 1 hora retira-se as cápsulas e coloca-se num dessecador: elas devem ser colocadas no dessecador para que as cápsulas não absorvem humidade e não interfira no peso
- ✓ Deixar as cápsulas em repouso, com auxílio de uma pinça retira-se as cápsulas do dessecador e realiza-se as pesagens (P_0)
- ✓ Pesar aproximadamente 5g da amostra e secar na Mufla por 30 minutos a 80° C, para retirar a humidade das amostras
- ✓ Retirar as cápsulas e deixar resfriar em dessecador e fazer a segunda pesagem das cápsulas com a amostra
- ✓ Colocar as cápsulas na estufa a uma temperatura (105 ± 10) °C por 6 horas
- ✓ Retirar as cápsulas da estufa e deixar em dessecador e pesar em balança (P_1)
- ✓ Determinar, com a seguinte expressão:

$$ST (\%) = \frac{(P_1 - P_0) \times 100}{p_a}$$

Onde:

ST = Sólidos Totais em percentagem (%)

P₀ = Peso cápsula vazia em gramas (g)

P₁ = peso da cápsula com a amostra em

Pa = peso da amostra.

b) Determinação dos sólidos Fixos

- ✓ Levar o material obtido na análise anterior (sólidos totais) e calcinar em mufla a 550°C por 30 minutos
- ✓ Retirar da mufla e deixar esfriar em dessecador e realizar a pesagem (P₂)
- ✓ Proceder ao cálculo, com a seguinte expressão:

$$SF = \frac{(P_2 - P_0) \times 100}{P_a}$$

Onde:

SF = Sólidos Fixos, em percentagem (%)

P₀ = Peso da cápsula vazia

P₂ = Peso da amostra dos sólidos totais

Pa = Peso da amostra em gramas (g)

c) Determinação dos sólidos voláteis

- ✓ Fazer a diferença dos valores encontrados nas análises anteriores (sólidos totais e sólidos fixos)

$$SV = ST - SF$$

Onde:

SV = Sólidos Voláteis

ST = Sólidos Totais

SF = Sólidos Fixos

d) Determinação do teor de humidade

- ✓ Colocar os cadinhos vazios na estufa a (105 ± 10) °C, durante meia hora,
- ✓ Retirar da estufa e colocar em dessecador
- ✓ Pesar cerca de 5.0g de amostra e colocar na estufa a (105 ± 10) °C por 2 horas
- ✓ Retirar da estufa e deixar em dessecador

- ✓ Pesar a massa após a secagem.
- ✓ Calcular a percentagem do teor de humidade pela seguinte expressão:

$$TH = \frac{M(inicial) - M(final)}{M(inicial)} \times 100$$

Onde:

TH = Teor de humidade em percentagem (%)

M (inicial) = a massa da amostra antes da secagem em gramas (g)

M (final) = a massa da amostra após a secagem, em gramas (g)

Experiência 2: Determinação das características térmicas

Reagentes	Equipamentos e Vidrarias
Amostra de resíduos cápsula de amendoim	Estufa Mufla Balança analítica 3 Cadinhos de Porcelana 1 Dissecador 1 Pinça Metálica e de madeira

a) Determinação do teor de Cinzas

- ✓ Pesar cápsulas com as amostras e realizar a pré incineração no bico de Bunsen (proceder com a incineração até obter a massa de carbono) NB; ter muito cuidado para que a amostra não pegue o fogo
- ✓ Em seguida colocar as cápsulas na Mufla por 6h, após isso colocar no dessecador por 10 min
- ✓ Pesar novamente as cápsulas com a amostra incinerada
- ✓ Calcular a percentagem do teor de cinza, pela seguinte expressão:
- ✓ M (final) = massa final de cinzas após queima na Mufla em gramas (g)

$$TC = \frac{M(inicial) - M(final)}{M(amostra)} \times 100$$

Onde

TC = Teor de cinzas (%)

M (inicial) = Massa inicial, M (cadinho) + M (amostra) em gramas (g)

M (amostra) = Massa final do teor de humidade em gramas (g)

M (final) = massa final de cinzas após queima na mufla em gramas (g)

b) Determinação do teor de carbono fixo

Procede-se com a seguinte Expressão

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

Onde:

CF = teor de carbono fixo (%)

SV = teor de Sólidos voláteis (%)

TC = teor de cinzas (%)

c) Determinação do poder calorífico

O poder calorífico superior das amostras é estimado recorrendo a seguinte

$$PCS = 84,5104 \times (CF) + 37,2601 \times (SV) - 1,8642 \times (TC)$$

Onde:

PCS – Poder calorífico superior em kcal/kg

CF – teor de carbono fixo (%)

SV – sólidos voláteis (%)

TC – teor de cinzas (%)

Experiência 3: Determinação do pH

Reagentes	Equipamentos e Vidrarias
Amostra de resíduos de cápsula de amendoim;	3 Copos de Becker (50,0 mL) Vidro de relógio

	pH metro Espátula Balança analítica
--	---

- ✓ Enumerar os copos e introduzir 20 mL de água destilada em cada copo.
- ✓ Pesar cerca de 10g de amostra e adicionar em 20 mL de água destilada
- ✓ Agitar a mistura e deixar em repouso por 5 minutos
- ✓ Introduzir o pH metro em cada copo já calibrado
- ✓ Registrar o resultado.

Apêndice 2: Dados resultantes das análises

Resultados das análises

Parâmetros	Número de réplicas			Resultados (valores médios)
	1	2	3	

				± desvio padrão)
Sólidos totais (%)	47.8931	48.3192	50.002	48.7381±1.11
Sólidos Fixos (%)	34.8906	33.8957	36.28	35.0221±1.19
Sólidos voláteis (%)	13.0017	14.424	13.7223	13.716±0.71
Teor de humidade (%)	4.218	3.9958	3.8912	4.035±0.16
Teor de cinzas (%)	2.099	2.061	2.314	2.158±0.04
Carbono fixo (%)	84.8993	83.515	83.9637	84.126±0.70
Poder calorífico superior (MJ/Kg)	32.0512	31.7839	31.8327	31.8892±0.14
pH	6.89	5.43	5.02	5.78±0.98

Dados resultantes da análise de teor de sólidos totais (ST)

N ° de Medições				
	P0 (g)	P1 (g)	Pa (g)	ST (%)
1	16.7443	19.1391	5.0003	47.8931
2	16.8128	19.2291	5.0007	48.3192
3	16.6134	19.1138	5.0006	50.002
Media				48.7381

$$ST (\%) = \frac{(P1 - P0) \times 100}{pa}$$

Onde:

ST = Sólidos Totais em percentagem (%)

P₀ = Peso cápsula vazia em gramas (g)

P₁ = peso da cápsula com a amostra em gramas após interacção em Mufla.

Pa = Peso da amostra.

Dados resultantes da análise de teor de sólidos Fixos (SF)

N ° de	

Medições	P0 (g)	P2 (g)	Pa (g)	SF (%)
1	16.3792	16.6689	5.0002	34.8886
2	16.2470	16.5678	5.0012	33.8957
3	15.8876	16.2550	5.0021	36.28
Media				35.0221

$$SF = \frac{(P2 - P0) \times 100}{Pa}$$

Onde:

SF = Sólidos Fixos, em percentagem (%)

P₀ = Peso da cápsula vazia

P₂ = Peso da amostra dos sólidos totais, calcinados na mufla.

Pa = Peso da amostra em gramas (g)

Dados resultantes da análise do teor de sólidos voláteis (SV)

N ° de Medições			
	ST (%)	SF (%)	SV (%)
1	47.8923	34.8906	13.0017
2	48.3197	33.8957	14.424
3	50.0023	36.28	13.7223
Media			13.716

$$SV = ST - SF$$

Onde

SV = Sólidos Voláteis

ST = sólidos Totais (%)

SF = Sólidos Fixos (%)

Dados resultantes da análise do teor de humidade (TU)

N ° de	

Medições	P cadinhos (g)	P1 (g)	P2 (g)	TU (%)
1	16.8792	5.0004	3.8584	4.218
2	16.7470	5.0001	4.1693	3.9958
3	15.9876	5.0001	4.0131	3.8912
Media				4.035

$$TU (\%) = \frac{(p1-p2)}{p1} \times 100$$

Onde:

P = peso dos cadinhos

P1 = massa inicial da amostra antes da secagem

P₂ = peso dos cadinhos com as amostras secas a 105°C

Dados resultantes da análise do teor de Cinzas (TC)

N ° de Medições				TC (%)
	P1(g)	P2 (g)	P3 (g)	
1	17.3221	20.2142	18.0450	2.099
2	16.7074	19.7094	17.3217	2.061
3	16.9876	20.9896	18.0042	2.314
Media				2.158

$$TC (\%) = \frac{(p3-p1)}{p2} \times 100$$

Onde:

TC = teor de cinzas em (%)

P1 = peso do cadinho em gramas (g)

P2 = peso das amostras húmidas

P3 = peso de cinzas.

Dados resultantes da análise do teor de carbono fixo (CF)

N ° de Medições			
	TC (%)	SV (%)	CF (%)
1	2.099	13.0017	84.8993
2	2.061	14.424	83.515
3	2.314	13.7223	83.9637
Media			84.126

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

Onde:

CF = teor de carbono fixo (%)

SV = teor de Sólidos voláteis (%)

TC = teor de cinzas (%)

Dados resultantes da análise do teor de poder calorífico superior (PCS)

N ° de Medições				
	CF (%)	SV (%)	TC (%)	PCS (kcal/kg)
1	84.8993	13.0017	2.099	7655.4054
2	83.515	14.424	2.061	7591.4836
3	83.9637	13.7223	2.314	7687.2967
Media				7616.55

$$PCS = 84.5104 \times (CF) + 37.2601 \times (SV) - 1.8642 \times (TC)$$

Onde:

PCS – Poder calorífico superior em kcal/kg

CF – teor de carbono fixo (%)

SV – Sólidos voláteis (%)

TC – teor de cinzas (%)

Dados resultantes da análise do teor de acidez pH

N ° de Medições		pH
1	6.89	
2	5.43	
3	5.02	
Media		5.78