

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS
RENOVÁVEIS

Marcos de Jesus Fonseca de Apresentação

**ENERGIA DE BIOMASSA COMO UMA PERSPECTIVA PARA O PROBLEMA
ENERGÉTICO E AMBIENTAL DE SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE**

Sorocaba

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE PESQUISA EM BIOMASSA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USOS DE RECURSOS
RENOVÁVEIS

Marcos de Jesus Fonseca de Apresentação

**ENERGIA DE BIOMASSA COMO UMA PERSPECTIVA PARA O PROBLEMA
ENERGÉTICO E AMBIENTAL DE SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para obtenção do título de Mestre em Planejamento e Uso de recursos Renováveis.

Orientação: Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji

Coorientador: Prof. Dr. Diogo Aparecido Lopes Silva

Financiamento: CAPES

Sorocaba

2021

de Jesus Fonseca de Apresentação, Marcos

Energia de biomassa como uma perspectiva para o problema energético e ambiental de São Tomé e Príncipe / Marcos de Jesus Fonseca de Apresentação -- 2021. 78f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Fábio Minoru Yamaji
Banca Examinadora: João Lúcio de Barros, Gabriela Tami Nakashima
Bibliografia

1. Biomassa e bioenergia. 2. Briquetagem. 3. África . I. de Jesus Fonseca de Apresentação, Marcos. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Marcos de Jesus Fonseca de Apresentação, realizada em 03/03/2021.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji (UFSCar)

Prof. Dr. João Lúcio de Barros (IFSP)

Profa. Dra. Gabriela Tami Nakashima (UFSCar)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação aos meus pais Pascoal Fonseca de Apresentação e Lucrecia de Jesus Fonseca de Apresentação, por todo o apoio dado e que sem eles não seria possível chegar até aqui. Obrigado por acreditarem em mim. As minhas irmãs Maura e Jekline também quero agradecer pela força dada.

AGRADECIMENTO

Agradeço em primeiro lugar ao programa de Pós-graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba. Em segundo lugar, agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji e ao meu Coorientador Prof. Dr. Diogo Aparecido Lopes Silva, por todo o apoio dado e pelos feedbacks. Também quero agradecer a todos os meus colegas de laboratório e de turma pela convivência desses 2 anos e pelos ensinamentos e ajuda dada, em especial ao Elias Padilla por ter me ajudado na parte experimental do meu trabalho. Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo aporte. E por fim, quero agradecer ao governo brasileiro pela oportunidade concedida e ao meus pais por todo o apoio. Obrigado a todos.

RESUMO

Dentre as energias renováveis, a bioenergia é a com maior participação no *mix* energético global, corroborando com os vários estudos realizados na área. Hoje, apenas na *string* de pesquisa *scopus*, existem cerca de 31.000 artigos científicos na área. Para analisar a grande quantidade de literatura na área, foi utilizado o método de revisão bibliográfica sistemática (RBS). O objetivo do primeiro artigo foi compreender o cenário da bioenergia, respondendo as 4 perguntas: Qual o cenário da bioenergia no Mundo e na África; Quais as principais culturas usadas; Quais as tecnologias de aproveitamento estão sendo empregadas; Quais são os principais benefícios e implicações que trazem a sua utilização. Para isso, aplicou-se o modelo proposto por Conforto et al. (2011). Os resultados mostram que, desde o ano 2000, a bioenergia impulsionou-se como fonte alternativa de energia e passou a fazer parte da política, o que tem levado ao contínuo crescimento das pesquisas. Atualmente, as pesquisas no mundo estão focadas em bioenergia de captura e armazenamento de dióxido de carbono (BECCS) e na análise de cenários. Quanto ao continente africano, embora o governo esteja interessado na bioenergia moderna e na implementação de diversos projetos referentes a bioenergia, a biomassa tradicional ainda é a principal fonte de energia. A causa deste problema é a falta de políticas claras e a articulação com os pesquisadores. Em relação à terceira pergunta, as matérias primas mais utilizadas são: resíduos, floresta, madeira, cana de açúcar, alga, jatobá, dendê, capim, milho, carvão, miscanthus. O uso dessas matérias primas para bioenergia traz muitos benefícios, tais como: igualdade de gênero, diminuição da desigualdade social, melhoria das condições de vida, geração de renda, desenvolvimento econômico sustentável, redução dos desmatamentos, diminuição da poluição do ar e melhor destinação desses resíduos. Ponderando estes benefícios, o objetivo do segundo artigo foi analisar o potencial bioenergético das principais culturas energéticas de São Tomé e Príncipe e apontar alguns dos benefícios que podem advir da sua utilização. Para esse cálculo, foi utilizada a fórmula proposta pelo Atlas de Bioenergia do Brasil de 2012, obtendo-se um potencial energético de 4,5 GW/ano, onde 80% desse potencial, foram de duas culturas de cacau e banana. Considerando o potencial destas duas culturas, no terceiro artigo foi proposto a fabricação de briquetes. Para isso, adaptou-se normas da ISO, NBR da ABNT, para a análise imediatas e para as demais análises realizadas. Constatou-se que é possível produzir briquetes com essas duas culturas, sem o uso de aglutinante e temperatura. São Tomé e Príncipe pode beneficiar muito com a bioenergia, aumentando a participação da energia renováveis na sua matriz elétrica, diminuindo a

dependência do diesel importado, diminuindo as perdas na distribuição instalando pequenos sistemas descentralizados e outros benefícios mencionados ao longo deste trabalho.

Palavras-chave: África, energia, desenvolvimento, resíduos, bioenergia.

ABSTRACT

Among renewable energies, bioenergy is the one with the greatest participation in the global energy mix, corroborating with the various studies carried out in the area. Today, in the scopus search string alone, there are about 31,000 scientific articles in the field. To analyze the large amount of literature in the area, the method of systematic bibliographic review (RBS) was used. The objective of the first article was to understand the bioenergy scenario, answering the 4 questions: What is the bioenergy scenario in the World and in Africa; What are the main cultures used; Which harness technologies are being employed; What are the main benefits and implications that its use brings. For this, the model proposed by Conforto et al. (2011). The results show that, since the year 2000, bioenergy has been promoted as an alternative source of energy and has become part of the policy, which has led to the continuous growth of research. Currently, research around the world is focused on carbon dioxide capture and storage bioenergy (BECCS) and scenario analysis. As for the African continent, although the government is interested in modern bioenergy and in the implementation of several projects related to bioenergy, traditional biomass is still the main source of energy. The cause of this problem is the lack of clear policies and coordination with researchers. Regarding the third question, the most used raw materials are: waste, forest, wood, sugar cane, seaweed, jatobá, oil palm, grass, corn, coal, miscanthus. The use of these raw materials for bioenergy brings many benefits, such as: gender equality, reduction of social inequality, improvement of living conditions, income generation, sustainable economic development, reduction of deforestation, reduction of air pollution and better destination of these waste. Pondering these benefits, the objective of the second article was to analyze the bioenergetic potential of the main energy cultures of São Tomé and Príncipe and to point out some of the benefits that may arise from their use. For this calculation, the formula proposed by the Bioenergy Atlas of Brazil in 2012 was used, obtaining an energy potential of 4.5 GW / year, where 80% of this potential was from two cocoa and banana crops. Considering the potential of these two cultures, the third article proposed the manufacture of briquettes. For this, norms of ISO, NBR of ABNT were adapted, for the immediate analysis and for the other performed analyzes. It was found that it is possible to produce briquettes with these two cultures, without the use of binder and temperature. São Tomé and Príncipe can benefit greatly from bioenergy, increasing the share of renewable energy in its electrical matrix, decreasing the dependence on imported diesel, reducing losses in

distribution by installing small decentralized systems and other benefits mentioned throughout this work.

Keywords: Africa, energy, development, waste, bioenergy.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICO

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Esquema da metodologia..... | 22 |
| Figura 2 - Localização geográfica de São Tomé e Príncipe..... | 43 |
| Figura 3- Localização das termoeléctricas e redes de distribuição..... | 53 |
| Figura 4 - Resíduos de casca de cacau e pseudocaule da banana..... | 63 |
| Figura 5 - Preparação dos materiais..... | 64 |
| Figura 6 - MEV dos resíduos de casca de cacau e Pseudocaule da banana..... | 73 |
| Gráfico 1 - Relacionamento entre as palavras e sua faixa temporal..... | 23 |
| Gráfico 2 - Relacionamento entre palavras chaves recentes..... | 26 |
| Gráfico 3 - Percentual de consumo de energia por fonte na África | 27 |
| Gráfico 4 – Fontes de biomassa estudados nos artigos | 30 |
| Gráfico 5 - Processos de biomassa estudados nos artigos | 32 |
| Gráfico 6 - Percentual bioenergético de cada cultura..... | 50 |
| Gráfico 7 - Expansão longitudinal dos tratamentos..... | 72 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1- Benefícios da bioenergia segundo os tripés da sustentabilidade..... | 35 |
| Tabela 2 – Produção agrícola de STP no ano de 2017..... | 43 |
| Tabela 3 – Percentual de resíduos gerados de cada cultura..... | 48 |
| Tabela 4 – Poder calorífico inferior das culturas..... | 48 |
| Tabela 5 – Potencial de energia das principais culturas agrícolas de STP..... | 49 |
| Tabela 6 – Tratamento para produção de briquetes..... | 67 |
| Tabela 7 – Análise imediata das amostras..... | 67 |
| Tabela 8 – Densidade do material e do briquete..... | 69 |
| Tabela 9 – Caracterização físico- mecânica dos briquetes..... | 70 |
| Tabela 10 – Caraterística de empilhamento para cada tratamento..... | 72 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ASTM | Sociedade Americana para Teste e Materiais |
| BECCS | Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono |
| CSV | Comma-Separated Values |
| EMAE | Empresa de Água e Eletricidade São Tomé e Príncipe |
| EPE | Empresa de Pesquisas Energéticas |
| FCR | Fator de Colheita de Resíduos |
| GW/h | Gigawatt Hora |
| ICCO | Organização Mundial do Cacau |
| IEA | Agência Internacional de Energia |
| IRENA | Agência Internacional de Energia Renovável |
| ISO | Organização Internacional de Normalização |
| KGT | Quilograma Força |
| KW/h | Quilowatt Hora |
| MPa | Mega Pascal |
| MEV | Microscópio Eletrônico de Varredura |
| PCI | Poder Calorífico Inferior |
| PCS | Poder Calorífico Superior |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PJ | Peta joule |
| ONU | Organização da Nações Unidas |
| ODS30 | Objetivos do Desenvolvimento Sustentável para 2030 |
| STP | São Tomé e Príncipe |
| RBS | Referências Bibliográfica Sistemática |
| UFSCar | Universidade Federal de São Carlos |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1.1 INTRODUÇÃO | 16 |
| 2 PANORAMA GERAL DA BIOENERGIA NO MUNDO E ÁFRICA | 18 |
| 2.1 INTRODUÇÃO | 19 |
| 2.2 MÉTODO | 21 |
| 2.3 CENÁRIO DA BIOENERGIA NO MUNDO | 23 |
| 2.4 CENÁRIO DA BIOENERGIA NA ÁFRICA | 26 |
| 2.5 PRINCIPAIS CULTURAS E SUAS TECNOLOGIAS | 30 |
| 2.6 BENEFÍCIOS E IMPLICAÇÕES NO USO DA BIOENERGIA | 33 |
| 2.7 CONCLUSÃO | 35 |
| 2.8 REFERÊNCIAS | 36 |
| 3 POTENCIAL BIOENERGÉTICO DE SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE | 39 |
| 3.1 INTRODUÇÃO | 40 |
| 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS | 42 |
| 3.2.1 ÁREA DE ESTUDO | 42 |
| 3.2.2 PRODUÇÃO AGRÍCOLA DAS PRINCIPAIS CULTURAS DE STP | 43 |
| 3.2.2.1 BANANA | 44 |
| 3.2.2.2 CACAU | 44 |
| 3.2.2.3 FRUTA-PÃO | 45 |
| 3.2.2.4 COCO | 45 |
| 3.2.2.5 MANDIOCA | 46 |
| 3.2.2.6 MATABALA | 46 |
| 3.2.2.7 BATATA DOCE | 47 |
| 3.2.2.8 ÓLEO DE DENDÊ | 47 |
| 3.2.3 PERCENTUAL DE RESÍDUOS DAS BIOMASSAS | 47 |
| 3.2.4 PODER CALORÍFICO DAS BIOMASSAS | 48 |
| 3.2.5 CÁLCULO DO POTENCIAL DE BIOENERGIA | 49 |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 49 |

| | |
|--|----|
| 3.4 CONCLUSÃO | 55 |
| 3.5 REFERÊNCIAS | 55 |
| 4 FABRICAÇÃO DE BRIQUETES COM BANANA E CACAU | 59 |
| 4.1 INTRODUÇÃO | 60 |
| 4.2 MATERIAIS E MÉTODOS | 62 |
| 4.2.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA PRIMA | 62 |
| 4.2.2 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA | 63 |
| 4.2.3 ANÁLISE IMEDIATA | 64 |
| 4.2.4 DENSIDADE | 64 |
| 4.2.5 MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV) | 65 |
| 4.2.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÂNICAS | 65 |
| 4.2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA | 66 |
| 4.2.8 CONFECÇÃO DOS BRIQUETES | 66 |
| 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 67 |
| 4.3.1 ANÁLISE IMEDIATA | 67 |
| 4.3.2 DENSIDADE | 69 |
| 4.3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO- MECÂNICA | 70 |
| 4.3.4 EXPANSÃO LONGITUDINAL DOS BRIQUETES | 71 |
| 4.3.5 CARACTERÍSTICA DE EMPILHAMENTO DOS BRIQUETES | 72 |
| 4.3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA | 73 |
| 4.3.7 MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA | 73 |
| 4.4 CONCLUSÃO | 74 |
| 4.5 REFERÊNCIAS | 75 |
| 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS | 77 |
| 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 78 |

1 INTRODUÇÃO

O continente africano sofre com uma enorme crise energética, produzindo apenas 8% da energia primária mundial (AIE, 2019). Esta crise energética se deve pela incapacidade dos governantes de gerir os recursos disponíveis e criar políticas adequadas para sua utilização (KEMAUSUOR et al., 2018). A maioria dos países africanos usam termelétricas e sistemas centralizados para abastecer energia às suas populações. Esta metodologia encarece o fornecimento de energia, além das perdas que ocorrem na transmissão até chegar ao consumidor (EBHOTA, 2019).

Após analisar os cenários de utilização da bioenergia no continente africano, vários autores (Fletcher et al., 2017; Kemausuor et al., 2018; Pastel, 2017; Souza et al., 2016) indicam que a bioenergia tem grande potencial de reduzir à crise energética na África. Sua utilização reduzirá a importação de combustíveis fósseis, o que encarece o sistema energético nacional, inibe a expansão do setor energético para outras partes do país e dificulta o fornecimento contínuo e confiável de energia para quem já tem acesso à energia.

Além disso, a implementação de pequenos sistemas descentralizados, permite fornecer energia às áreas rurais e remotas do país a baixos custos, diferentemente do sistema energético atual centralizado, que exige enormes investimentos para levar energia até esses locais.

Outro benefício do uso da bioenergia, é a redução da utilização de biomassa tradicional (lenha e carvão), que evita o desmatamento que vem ocorrendo em grandes proporções nas florestas nativas dos países africanos, contribui para o aumento dos gases de efeito estufa (DAHUNSI et al., 2020).

Dentre as energias renováveis, a biomassa tem sido vista como a fonte mais promissora, pelo fato de exigir infraestrutura e tecnologias não muito complexas, bem como mão de obra que não exige capacitação específica para sua manipulação. Outro fator está relacionado com a sua disponibilidade em quase todas as partes dos países africanos, bem como não é tão intermitente como a energia solar e eólica. (DASAPPA, 2011; KEMAUSUOR et al., 2018).

O objeto deste estudo são as ilhas de São Tomé e Príncipe, que se pretende propor uma solução para o problema energético, através do uso da bioenergia. Para isso, analisou-se o

potencial bioenergético das principais culturas e empregou-se as de maior potencial para a produção de briquetes. Com isso, pretende-se mostrar ao governo e aos tomadores de decisão um novo caminho de geração de energia barata, que permita resolver o problema e ajudar no desenvolvimento econômico, sanando o *déficit* de emprego e a desigualdade social.

2 ARTIGO 1

PANORAMA GERAL SOBRE A PRODUÇÃO E CONSUMO DE BIOENERGIA NO MUNDO E NA ÁFRICA

Overview of bioenergy production and consumption in the world and in Africa

Resumo

Nos últimos anos, houve um aumento expressivo pelo interesse na área de bioenergia e como consequência, o número de artigos científicos relacionados também aumentou. Hoje, existem cerca de 31.000 artigos somente na *Scopus*. Devido a grande quantidade de literatura científica na área, usou-se o método de revisão bibliográfica sistemática (RBS), com o objetivo de analisar o cenário da bioenergia no mundo e na África, bem como as biomassas mais utilizadas, seus benefícios e implicações. Portanto, foi utilizado o modelo proposto por conforto et al. (2011) que se baseia em três filtros, onde no primeiro foram 896 artigos, segundo 425 artigos e o terceiro e último 276 artigos. Os resultados obtidos indicam que as pesquisas globais em bioenergia estão focadas em como aplicá-la na formulação de políticas voltadas ao cumprimento das metas estabelecidas pelo Acordo de Paris. Para isso, tem se usado a tecnologia de bioenergia de captura e armazenamento de dióxido de carbono (BECCS) e os estudos de cenários. Os estudos de cenários são divididos em três faixas temporais: 2010 a 2020, de 2020 a 2030 e o último até 2050. Na África, a pesquisa se concentra em como os pesquisadores articulam suas pesquisas a fim de contribuir para a formulação de políticas e ações que levem a projetos de bioenergia bem-sucedidos que irão beneficiar a população africana e alcançar um desenvolvimento econômico sustentável. O continente ainda depende fortemente da lenha e carvão e do excesso das termoelétricas a diesel na geração de eletricidade que tem encarecido o sistema. Os benefícios da bioenergia, podem contribuir para resolver estes problemas, além apoiar na eliminação desta crise energética no continente.

Palavras chaves: Crise energética, geração de emprego, energias renováveis, biomassa.

Abstract

In recent years, there has been a significant increase in interest in the area of bioenergy and as a consequence, the number of related scientific articles has also increased. Today, there are about 31,000 articles on Scopus alone. Due to the large amount of scientific literature in the

area, the systematic bibliographic review method (RBS) was used, with the aim of analyzing the bioenergy scenario in the world and in Africa, as well as the most used biomasses, their benefits and implications. Therefore, the model proposed by Confort et al. (2011) which is based on three filters, where the first was 896 articles, the second 425 articles and the third and last 276 articles. The results obtained indicate that global bioenergy research is focused on how to apply it in the formulation of policies aimed at meeting the goals established by the Paris Agreement. For this, carbon dioxide capture and storage bioenergy technology (BECCS) and scenario studies have been used. Scenario studies are divided into three time bands: 2010 to 2020, from 2020 to 2030 and the last until 2050. In Africa, research focuses on how researchers articulate their research in order to contribute to the formulation of policies and actions that lead to successful bioenergy projects that will benefit the African population and achieve sustainable economic development. The continent still depends heavily on firewood and coal and on the excess of diesel thermoelectric plants in the generation of electricity that has made the system more expensive. The benefits of bioenergy can contribute to solving these problems, in addition to supporting the elimination of this energy crisis on the continent.

Keywords: Energy crisis, job creation, renewable energies, biomass.

2.1 INTRODUÇÃO

As preocupações com as mudanças climáticas e a segurança energética levaram os países a reconsiderar seu modelo de produção de energia, que dependia inteiramente da energia fóssil antes da virada do século, apostando nas energias renováveis. Portanto, nos últimos anos, a participação dos recursos renováveis nas matrizes energéticas nacionais tem aumentado, tendo a hidroeletricidade e a bioenergia como tecnologias maduras e de maior *mix* nas matrizes, com um aumento nos últimos anos, da participação das fontes solares e eólicas.

Conforme a Agência Internacional de Energia (IEA), em 2019, a geração de eletricidade renovável aumentou 6%, com as tecnologias eólica e solar fotovoltaica juntas respondendo por 64% desse aumento.

Thrän et al. (2020) mencionam que a taxa de crescimento das energias renováveis individuais em uma determinada área do mundo ou país dependerá das condições geográficas,

climáticas e econômicas. Por isso, constata-se que países como o Brasil, apostaram fortemente na hidroeletricidade para a sua matriz elétrica, representando mais de 60% na sua base, isso porque dispõe de recursos hídricos em abundância, além de apostar em biocombustíveis (etanol) para seus veículos. Já a China tem apostado na hidroeletricidade, energia solar e digestores aeróbios para sua matriz energética, enquanto a Alemanha aposta em energia eólica e bioenergia (digestores aeróbicos), bem como o resto da Europa (pellets) (EPE, 2020; IEA, 2019)

Além de fatores geográficos, climáticos e econômicos, fatores relacionados à estabilidade e segurança, custos, aspectos ambientais e oportunidades de emprego, também ajudam a promover o crescimento de uma ou outra energia renovável em um determinado país ou região (THRÄN et al., 2020).

A energia renovável representa 18% do total da energia primária, da qual 14% provém da bioenergia. A bioenergia é responsável por quase 10% do fornecimento mundial de energia (SHARMA; KAUSHAL, 2018). A maior participação da bioenergia se deve ao fato de ela poder ser utilizada na forma sólida ou convertida em líquido ou gás. Em comparação com outras formas de energia renovável, esta é sua grande vantagem, pois ela pode ser utilizada em todo o campo da matriz energética. Diante disso, a biomassa tornou-se um importante substituto dos combustíveis fósseis (DAHUNSI; FAGBIELE; YUSUF, 2020).

Chen et al. (2021) mencionaram que comparada com a energia solar e a eólica, que são fontes de energia intermitentes e são utilizadas apenas para geração de eletricidade, a energia de biomassa não tem essa intermitência e pode ser armazenada na forma sólida, líquida ou gasosa. Além disso, pode ser usado não só na geração de eletricidade, mas também nas áreas de calor, energia e transporte.

Ahorsu et al. (2018) explicam que a biomassa é composta por lignina, celulose e hemicelulose e uma pequena fração de material inorgânico. Sendo definida como toda a matéria orgânica de origem vegetal ou animal, incluindo resíduos de atividades industriais, agrícolas e de saneamento. A biomassa é uma rica fonte de energia, que cobre a maior parte da superfície terrestre e tem um ciclo de vida curto. Portanto, a biomassa é um potencial candidato para o carvão e fontes fósseis como combustível alternativo (CHEN et al., 2021).

A biomassa é considerada neutra na emissão de dióxido de carbono porque durante o crescimento é absorvida. Dessa forma, usá-lo para gerar energia ajudará a reduzir as emissões antrópicas e o uso de combustíveis fósseis (ALBANITO et al., 2016).

Anca-Couce; Hochenauer; Scharler (2021) aponta que a bioenergia desempenha um papel fundamental na redução dos gases de efeito estufa e é um grande contribuinte para a meta da EU 28 para 2020 de que os recursos renováveis representam 20% do consumo total de energia final e 34% da Áustria.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi compreender o cenário atual da bioenergia, respondendo às seguintes perguntas: Qual o cenário de energia de biomassa na África e no mundo? Quais as principais culturas usadas? Que tecnologias de aproveitamento estão sendo empregadas? Quais são os principais benefícios e que impactos trazem sua utilização?

2.2 MÉTODO

Este trabalho seguiu o modelo proposto por Conforto et al. (2011), na qual revisão bibliográfica sistemática (RBS) foi dividida em três filtros. RBS é um método científico que permite aos pesquisadores analisar os dados coletados, resolver conflitos identificados na literatura e descobrir problemas para planejar investigações futuras, e visa integrar a pesquisa empírica para generalização (BIOLCHINI et al., 2007).

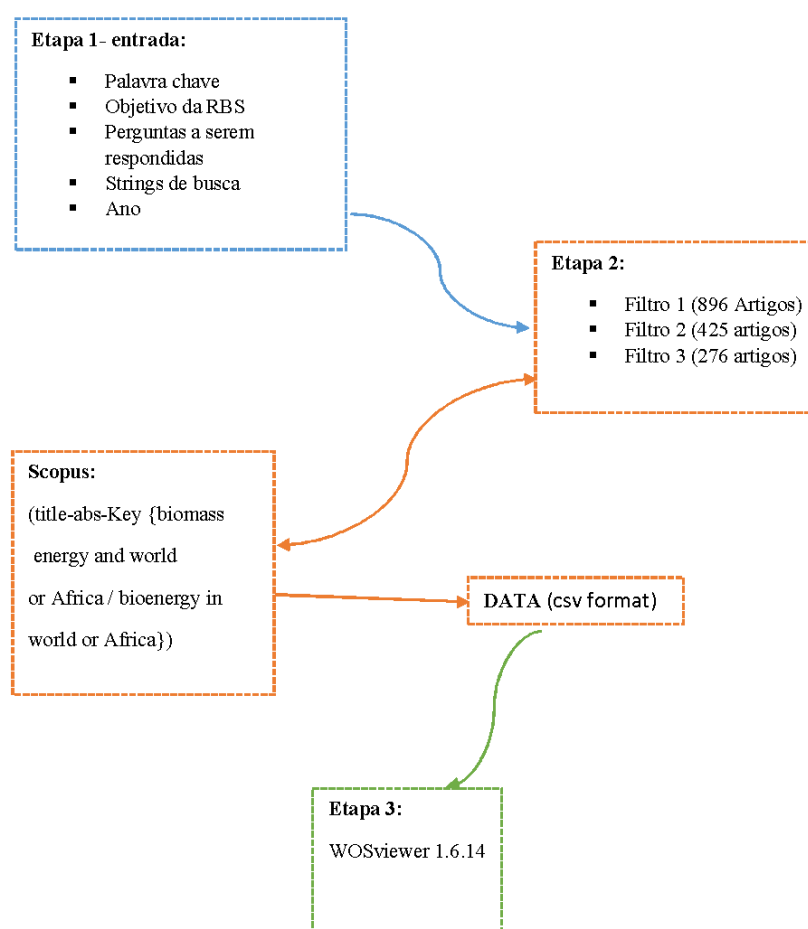
Previamente foi realizada uma primeira etapa denominada de entrada, seguindo o fluxo metodológico da figura 1, onde foram escolhidas as palavras-chaves, as perguntas a serem respondidas, ano, *strings* de busca e critério de inclusão, bem como o objetivo da RBS.

O conjunto de palavras-chave escolhidas foram “*biomass energy*”, “*world*”, “*Africa*” ou “*bioenergy*”, “*Africa*”, “*world*”. O *string* de busca escolhido foi a base de dados *Scopus*, por ser um banco de dados de documentos de revistas científica onde se encontram diversos artigos, revistas, livros, séries monográficas, anais de conferências e patentes de todas as áreas do conhecimento (PEREA-MORENO et al., 2019).

O ano escolhido para este estudo foi 1992, por ter sido um ano marcante para a solução dos problemas ambientais e também o ano da realização da Eco-92, onde diversos acordos

internacionais foram firmados sobre o tema. O foco da Eco-92 foi investigar os problemas ambientais existentes e o progresso feito desde a Conferência de Estocolmo em 1972 e quais seriam as diretrizes futuras. Sua importância se deve à grande participação de diversos chefes de estado e às convenções assinadas por diversos países, como as convenções sobre biodiversidade, mudanças climáticas e Agenda 21. Essas convenções continuam sendo marcos importantes em questões ambientais, assim como para os posteriores acordos assinados. A figura 1 apresenta o esquema metodológico seguido neste trabalho.

Figura 1- Esquema metodológico



As perguntas a serem respondidas com a RBS foram: Qual o cenário de energia de biomassa na África e no mundo? Quais as principais culturas usadas? Que tecnologias de aproveitamento estão sendo empregadas? Quais são os principais benefícios e implicações que trazem sua utilização?

Após a etapa de triagem dos artigos, foi feita a exportação pelo formato *comma-separated values* (csv), desses artigos pelo *Scopus*, no qual foram colocados no *VOSviewer* 1.6.14 para a complementação da análise bibliométrica dos resultados da RBS.

políticas para seu uso. Demonstra que a Rio 92 instigou uma maior consciência ambiental para os problemas causados ao meio ambiente pelo modelo produtivo vigente na época. Neste período, diversos países e pesquisadores científicos buscam formas de gerar eletricidade sem o uso de combustíveis fósseis. Isso confirma o que foi mencionado por Welfle et al. (2020), que os temas estavam mais ligados à própria biomassa.

Essa aposta na bioenergia se deve ao fato de o ser humano manter uma boa relação com a biomassa desde a antiguidade, e também que, naquela época, as tecnologias relacionadas a outras fontes renováveis de energia, como a energia eólica e solar, ainda estavam em seus estágios iniciais. Outro ponto, é que a bioenergia é uma opção energética atraente para todos os estágios de desenvolvimento devido a sua flexibilidade nas múltiplas formas de energia e produtos químicos que pode produzir e, ao contrário de muitas outras energias renováveis, pode fornecer energia que pode ser despachada para equilibrar as demandas dinâmicas, têm alto potencial de integração com as infraestruturas existentes e, fundamentalmente, pode fornecer energia com menos emissões de gases de efeito estufa em comparação com as vias de energia de combustíveis fósseis.

O Protocolo de Kyoto de 2005 promoveu ainda mais pesquisas relacionadas à bioenergia, incentivando-os a encontrar soluções para reduzir as emissões de dióxido de carbono, a fim de cumprir o acordo. Isso ocorre porque a biomassa é considerada neutra em seu ciclo de carbono, pois absorve dióxido de carbono durante seu crescimento (HUANG et al., 2020).

No entanto, com o aumento dos preços dos alimentos em 2007, as preocupações da sociedade com a segurança alimentar começaram a aumentar, o que encorajou os pesquisadores a estudar outros recursos de biomassa que não afetariam o fornecimento de alimentos, o que levou à mudança da pesquisa para a biomassa de segunda geração e a assuntos relacionados aos resíduos biológicos e bioeconomia. Situação que levou ao surgimento da pesquisa relacionada a temas como bioresíduos, economia circular, etc. Antes disso, o número de trabalhos era inferior a 30 e, desde então, cresceu exponencialmente (OBILEKE *et al.*, 2020).

Pode-se observar no gráfico 1 que durante o período iniciado em 2007, as duas palavras-chave, “uso do solo” e “resíduos” foram as mais utilizadas. Confirmado o conteúdo citado por Obileke et al. (2020), em que as pesquisas prestaram mais atenção em como gerar bioenergia sem afetar seus outros usos. A biomassa de segunda geração ou biomassa lignocelulósica como frequentemente é conhecida, é a biomassa que surge dos processos produtivos como resíduos

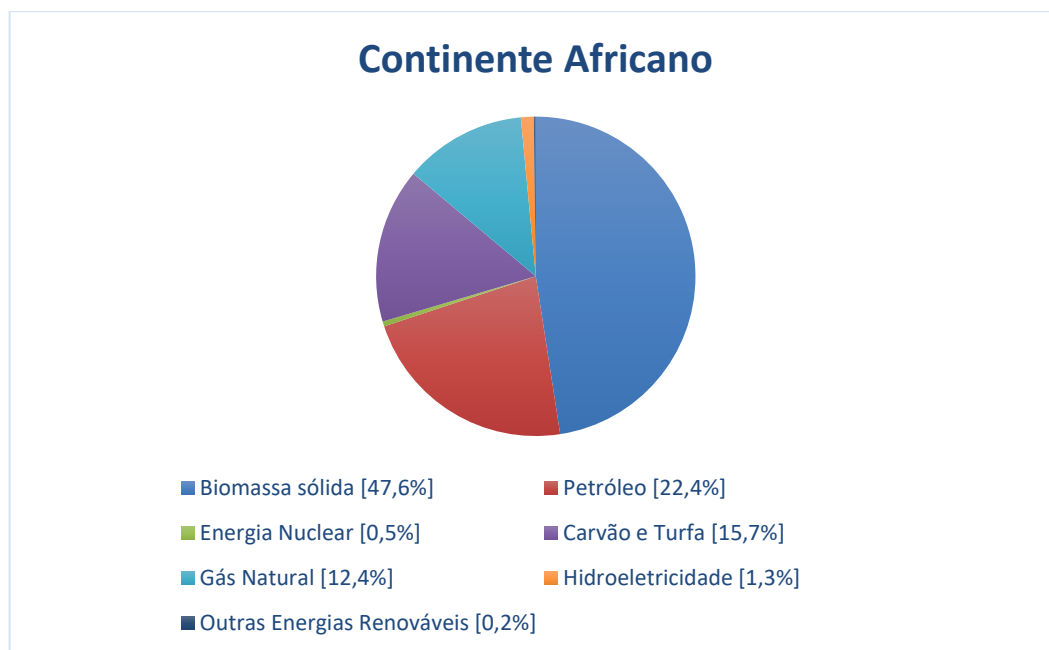
agrícolas e florestais, e de podas urbanas, bem como de florestas plantadas de eucalipto e pinus. É constituído por celulose, contendo quantidades significativas de polissacarídeos e lignina. Por não ter impacto na segurança alimentar, tornou-se uma excelente opção para bioenergia em comparação com a primeira geração. A biomassa de primeira geração é obtida de culturas alimentares como milho, cana de açúcar etc. Também existem as de terceira geração que são as algas, que se encontram em fase de pesquisa (VU et al., 2020).

Seguiu-se esse padrão até 2016, onde notou-se uma desaceleração no tema. O Acordo de Paris de 2015 parece não ter dado uma contribuição substancial para a pesquisa no setor de bioenergia, porque começou-se a questionar se realmente a bioenergia poderia contribuir para a meta de redução de CO₂ exigida, para que as temperaturas globais não aumentem mais de 1,5 °C (HUANG et al., 2020). Situação que levou a uma mudança no foco das pesquisas. Nos últimos anos, houve muitos trabalhos sobre o uso da tecnologia de bioenergia de captura e armazenamento de dióxido de carbono (BECCS). No passado, a pesquisa do BECCS focava principalmente na comparação do desempenho da biomassa com o desempenho do carvão, co-combustão e biomassa usando tecnologias específicas de captura de carbono. A pesquisa BECCS agora está focada na exploração de diferentes tecnologias BECCS, destacando o potencial de mitigação e identificando *drivers* para criar políticas favoráveis para a implantação em larga escala de BECCS. Atualmente, existem três métodos principais de captura de dióxido de carbono: captura pré-combustão, captura pós-combustão, e captura oxcombustível (SAGUES et al., 2020).

Diante deste fato, os últimos trabalhos relacionados à bioenergia têm abordado sobre cenários, nos quais o BECCS é aplicado para analisar como pode contribuir para a realização das metas estabelecidas no Acordo de Paris. No intervalo de tempo da pesquisa de cenários, três ondas diferentes de pesquisa podem ser identificadas: aquelas pesquisas destinadas a 2020 niveladas após 2010. Uma dinâmica semelhante pode ser observada agora para cenários que vão até 2030. O terceiro padrão observável é um rápido aumento de estudos abordando meados do século com cenários que vão até 2050 (HAHN et al., 2020).

Observa-se isso no gráfico 2, onde as palavras chaves mais citadas recentemente se referem a “descarbonização” e “análise de cenários”, colaborando com o que foi mencionado por Hahn et al., (2020).

Gráfico 3- Percentual de consumo de energia por fonte na África



Fonte: Elaborado pelo autor, através dos dados da IRENA, 2013.

A figura 3 mostra a enorme dependência do continente africano na biomassa tradicional, corroborando com o que vem sendo mencionado por vários autores, como Dasappa (2011), Ebhota (2019) e Dahunsi et al. (2020). Duguma et al. (2020) relata que 75% da produção e consumo global de lenha estão na África (35%) e na Ásia (39%). Cerca de 62% do consumo global de carvão vegetal entre 2013 e 2017 foi na África.

Na maioria dos lares africanos, a biomassa tradicional é usada como a principal fonte de energia para cozinhar, secar e aquecer espaços. Milhões de africanos estão envolvidos na produção, distribuição e venda de lenha e carvão vegetal (DASAPPA, 2011).

Ebhota e Inambao, (2016) apontaram que o ritmo lento de desenvolvimento nos países africanos pode ser atribuído ao baixo acesso ao uso moderno de energia na região, como resultado de um alto nível de restrições decorrentes de políticas energéticas desfavoráveis, financiamento inadequado, infraestruturas energéticas ineficientes e baixo ritmo de difusão de tecnológica.

A dependência excessiva da biomassa tradicional e dos combustíveis fósseis levou a uma baixa taxa de eletrificação no continente africano, variando de 25% a 60%, enquanto apenas os países da parte norte do continente africano (como o Egito) têm uma taxa de

eletrificação superior a 90%. Este fato impede que mais de 600 milhões de africanos não tenham acesso à energia (DAHUNSI et al., 2020).

Sarkodie e Adams (2020) apontaram que a desigualdade na distribuição de renda entre as famílias nas economias da África Subsaariana diminui o acesso à eletricidade. Essa desigualdade afeta a escolha da tecnologia de energia. Os pobres geralmente têm menos renda e menos acesso a serviços, por isso não podem pagar por tecnologias de energia mais limpas e modernas.

Por este motivo, os países africanos estão cada vez mais interessados na energia de biomassa moderna porque, entre outras coisas, ajuda a reduzir a pobreza e a aumentar o emprego rural (OZTURK; BILGILI, 2015).

Muitos países africanos (Nigéria, Gana, Moçambique, etc.) com esse intuito, implementaram projetos modernos de bioenergia, mas essas iniciativas falharam devido à falta de políticas claras de apoio a esses projetos e à falta de interesse real do governo (DASAPPA, 2011).

Dahunsi et al., (2020) cita que cerca de 4000 usinas de biogás foram instaladas em toda a África, especialmente na Tanzânia, mas 40% desses números eventualmente falharam por causa de planejamento e construção deficientes, falta de consciência básica da comunidade, práticas de manutenção inadequadas e falta de conhecimento técnico por parte dos usuários.

Esta situação ocorre porque a maioria dos países africanos possui petróleo bruto, que constitui a grande maioria de seu PIB, o que torna os governos africanos mais interessados em desenvolver a geração de energia a partir de combustíveis fósseis. Os produtos petrolíferos respondem por 12% das importações dos países (WEISSER, 2004). Os combustíveis fósseis compõem a maior parte da matriz energética dos países africanos (EBHOTA, 2019).

Este contexto reforça a ausência de uma política consciente e de um quadro regulamentar relacionado com as energias renováveis em África, principalmente devido à falta de liderança governamental para acelerar a implementação destas políticas, afetando assim os setores privado e industrial para expandir o âmbito de investimento no campo das energias renováveis (MAS'UD et al., 2015)

No entanto, para fazer um progresso significativo no desenvolvimento da bioenergia na África, é necessário fortalecer as políticas energéticas existentes e pode ser necessário

introduzir novas políticas para promover a penetração de investidores em energias renováveis em condições de igualdade e com isso, promover o desenvolvimento sustentável do mercado (MOHAMMED; MUSTAFA; BASHIR, 2013).

Os mesmos autores mencionam que os seguintes fatores influenciam a difusão da energia renovável na África Subsaariana: restrições religiosas, experiência educacional, economia instáveis e baixos níveis de investimento estrangeiro, fraco suporte financeiro e altos juros sobre linhas de crédito, política insustentável de energia renovável, demonstrações impraticáveis, ausência de tecnologias essenciais e construção deficiente de capacidade.

Apesar do fraco desenvolvimento da bioenergia nos países africanos, vários estudos (DASAPPA, 2016; DAHUNSI et al., 2020; DUGUMA et al., 2020) têm sido realizados sobre a energia da biomassa na África, mas o problema é que esse trabalho raramente conduz a ações ou políticas que proporcionem o desenvolvimento da bioenergia na África, como na China (EBHOTA; INAMBAO, 2016).

Ebhota e Inambao (2016) ainda mencionam que isso acontece porque a maioria dos governos da região não estabelecem contatos suficientes com pesquisadores acadêmicos para fornecer soluções duradouras para esses problemas. Muitos desses pesquisadores financiaram suas pesquisas, o que causou uma desconexão e acaba afetando o processo de desenvolvimento dos resultados da pesquisa em soluções práticas.

Outro problema é a falta de universidades renomadas no continente africano, o que faz com que muitos estudos sejam realizados por pesquisadores africanos no exterior, o que torna um pouco distorça a sua visão sobre questões locais. Curiosamente, o país com as melhores universidades da África (África do Sul) nessa área é o que mais avançou no desenvolvimento da bioenergia no continente africano.

Este será o cenário das pesquisas sobre a bioenergia na África, onde os pesquisadores tentaram articular suas pesquisas, de forma a proporcionar que contribuam para a criação de políticas e ações, que levem a projetos de bioenergia bem-sucedidos, propiciando assim o bem estar da população africana e ao desenvolvimento econômico sustentável.

Dahunsi et al., (2020) apontam para que os projetos de bioenergia da África sejam estáveis e sustentáveis, as áreas prioritárias que precisam de atenção urgente são: formulação de políticas favoráveis sobre a produção de bioenergia, bem como regulamentos de alinhamento para as partes interessadas; desenvolvimento de ambientes de negócios competitivos para a

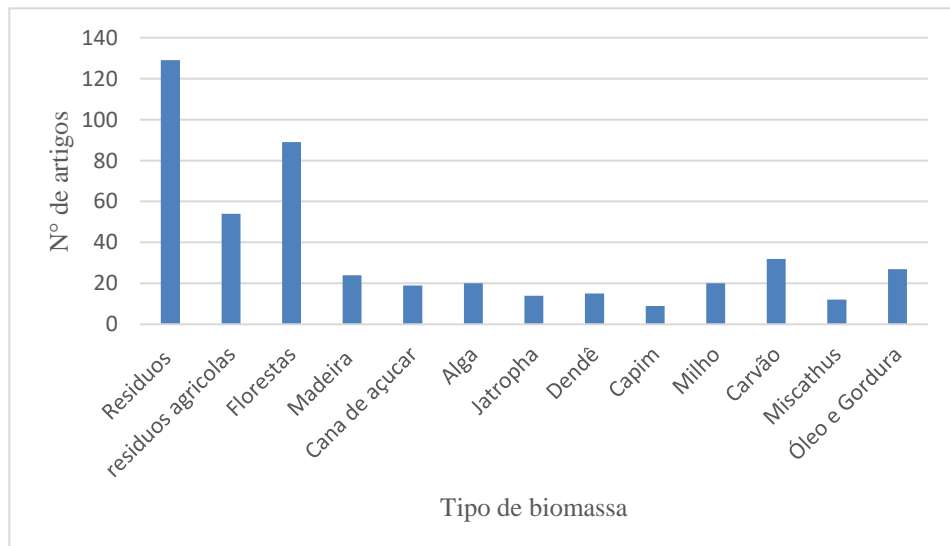
bioenergia e seus produtos; estabelecimento de especialistas apropriados na seleção de matéria prima adequada; introdução de conhecimento técnico de alto nível no setor de bioenergia; prevenção e erradicação de comportamentos antiéticos e predatórios; internalização da mentalidade de sustentabilidade ambiental nos *stakeholders* do setor de bioenergia; instituir sistemas adequados de posse de terra e proteção no setor de bioenergia; minimização/ redução na competição alimento-combustível; erradicação de práticas ambientais nocivas; promoção de usos finais de combustíveis que promovam benefícios sociais e ambientais.

2.5 PRINCIPAIS CULTURAS E SUAS TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO

Vários recursos de biomassa têm sido usados para gerar bioenergia, onde as condições locais são o fator determinante na seleção da biomassa que será mais utilizada na região ou país. Dentre elas se destaca: milho, arroz, dendê, cana de açúcar, beterraba, colza, trigo, soja, *switchgrass*, *miscanthus*, grama, sorgo, eucalipto, pinus, resíduos florestais e agrícolas, lenha (FERRARI et al., 2020).

Segundo Ferrari et al. (2020), a China usa mais palha e casca de arroz; países europeus usam beterraba, colza, trigo, pinus, resíduos florestais e *miscanthus*; Malásia e países do Leste Asiático usam óleo de palma; Brasil usa cana-de-açúcar; Estados Unidos usam milho, soja e *switchgrass*; e África a lenha. O gráfico 4 mostra os tipos de biomassa mais estudados nos artigos analisados nesta RBS:

Gráfico 4- Fontes de biomassa estudados nos artigos



Constata-se que as fontes mais citadas nos artigos são resíduos (que incluem resíduos industriais, urbanos e animais), seguido de floresta (referindo-se a resíduos florestais e de florestas plantadas) e resíduos agrícolas. Isto contrasta o que foi mencionado por Oibileke et al. (2020), que a partir de 2007, houve uma mudança nas pesquisas para biomassa que não causa conflito com a segurança alimentar.

A maioria dos artigos sobre carvão analisados nesta RBS, está na África, mostrando a importância da biomassa tradicional no continente, corroborando com o que já foi exposto anteriormente, no cenário da bioenergia na África. Em relação a floresta (lenha, floresta plantada e outros derivados) a maioria dos artigos encontrados estão relacionados com os países Europeus, visto a importância de seus derivados (briquetes, pellets, lenha) para o aquecimento residencial em muitos países do continente. Isto colabora com o que foi mencionado por Stolarski et al. (2020), dá importância crescente dos biocombustíveis sólidos nos países Europeus.

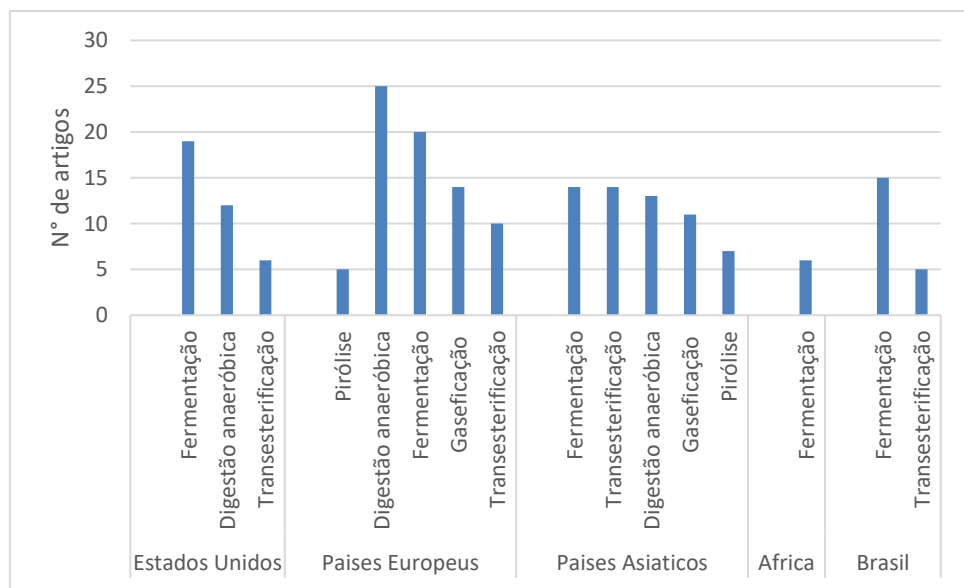
Para utilizar essas biomassas para a produção de energia, são utilizados os seguintes métodos: combustão, gaseificação, pirólise, digestão anaeróbica, peletização, briquetagem, fermentação e transesterificação (PEREA-MORENO et al., 2019).

Combustão é a queima da biomassa na presença de oxigênio; enquanto que a pirólise é a queima da biomassa na ausência de oxigênio, sendo o seu produto a biomassa carbonizada; gaseificação é uma mistura de combustíveis de gases, onde a biomassa é queimada, usando oxigênio insuficiente para a queima completa, ou seja, combustão incompleta da biomassa, sendo que o seu produto é o gás de síntese; a digestão aeróbia é a decomposição da biomassa pelas bactérias em um reator, gerando o biogás que é composto na sua maioria por metano, geralmente é usada para cozinhar ou gerar energia; a briquetagem é o processo de prensagem dos resíduos da biomassa, para que tenham uma maior densidade, sendo usado em fornos, caldeiras para gerar energia ou calor; enquanto que a peletização é a prensagem desses resíduos mas em tamanhos menores que os briquetes para facilitar o armazenamento; a transesterificação é a reação dos triglicerídeos presentes nos óleos vegetais ou gorduras animais com o álcool em presença de catalisador para gerar biodiesel; a fermentação é um processo bioquímico, no qual a matéria orgânica é parcialmente degradada, por fungos, bactérias, onde energia química nela armazenada é liberada e utilizada na produção de moléculas de ATP (adenosina trifosfato), produzindo o etanol (PEREA-MORENO et al., 2019).

Sharma e Kaushal (2018) mencionaram que os processos bioquímicos e termoquímicos são usados principalmente para a extração de energia de biomassa. O processo bioquímico envolve a produção de combustíveis gasosos e líquidos a partir da biomassa por digestão aeróbica e fermentação alcoólica. O processo termoquímico pode ser categorizado em gaseificação de biomassa, combustão e pirólise.

O gráfico 5 mostra os processos mais usados, de acordo com os artigos analisados nesta RBS. A digestão anaeróbica e a fermentação foram os métodos mais empregues.

Gráfico 5- Processos de biomassa estudados nos artigos



O Estados Unidos é o maior produtor de etanol, seguido do Brasil e Alemanha, como é mostrado no gráfico 5, corroborando com o que foi mencionado por Ferrari et al. (2020) e outros autores. Este fato, explica o porquê da fermentação ser o método mais estudado entre processos de bioenergia.

A importância que têm ganhado os digestores anaeróbios na Alemanha, nos últimos anos, tornando o país um dos maiores produtores, como foi mencionado por Stolarski et al., 2020, mostra porque foi o mais estudado nos países europeus.

Conforme mencionado pela Agência Internacional de Energia, o continente asiático é onde a bioenergia tem crescido mais nos últimos anos, corroborando com o gráfico 5, onde se constata um equilíbrio entre as pesquisas relacionadas aos métodos.

2.6 BENEFÍCIOS E IMPLICAÇÕES NO USO DA BIOENERGIA

A bioenergia com as políticas certas pode trazer os seguintes benefícios: desenvolvimento sustentável de base ampla e maiores efeitos multiplicadores, mais oportunidades e meios de subsistência, benefícios ambientais, uso produtivo de grandes quantidades de terras não cultivadas e maiores possibilidades de exportação produtos de alto valor econômico (pellets, briquetes, biocombustíveis) que são compatíveis e complementam outras fontes de energia. Além disso, a bioenergia beneficia a maioria da população agrícola e cria um desenvolvimento de base ampla, que pode estabelecer as bases para um forte crescimento econômico e bem-estar social. Por meio de planejamento e gestão adequados, a bioenergia pode melhorar a sustentabilidade ambiental e ajudar a reverter a degradação ambiental (EJIGU, 2008).

Ejigu (2008) ainda enfatizou que as tecnologias modernas de bioenergia são simples e fáceis de implementar, pois são basicamente os processos de extração de óleo e destilação de álcool familiares aos moradores locais. Além disso, pode ser facilmente operado e mantido no nível da aldeia com as capacidades técnicas existentes, ou pode ser desenvolvido com pouco treinamento. Além de proporcionar a possibilidade de minimizar o tempo de inatividade devido a problemas mecânicos e má manutenção, esse problema costuma ocorrer com painéis solares e bombas de água.

Stolarski *et al.* (2020) mencionaram que, comparada com outros tipos de energia renovável, a bioenergia é um setor relativamente intensivo em mão de obra porque se baseia principalmente em matérias-primas obtidas na agricultura, silvicultura e serviços municipais, sendo que gerou 703,2 mil empregos diretos e indiretos.

Isso significa que as comunidades locais em áreas rurais também podem participar de atividades econômicas, especialmente em centros de coleta e processamento de biomassa, o que eliminará ainda mais a pobreza e reduzirá a migração da população rural para cidades e subúrbios (SALLEH *et al.*, 2020)

Apesar desses benefícios, a bioenergia nem sempre é aceita pelas comunidades rurais. Os estudos mostram que isso se deve em parte à marginalização dos locais e às questões de confiança não resolvidas com os desenvolvedores. Outros estudos de caso mostraram que as

tecnologias nem sempre correspondem às necessidades e realidades das pessoas dos locais (MINAS et al., 2020).

Outra implicação do uso de bioenergia é que, quando os resíduos de biomassa florestal são coletados para a produção de energia e as cinzas queimadas não são mais recirculadas para o mesmo campo, esses nutrientes são removidos do solo. Portanto, esses nutrientes tem que ser substituídos por fertilizantes minerais (LOGANATH; SENOPHIYAH-MARY, 2020).

Esse fato maximiza o impacto da etapa de cultivo, que é causado por fatores como o uso de fertilizantes, o consumo de óleo diesel no transporte e as emissões para a atmosfera e água (PARASCANU et al., 2021).

Hasen et al., (2020) mencionam que para manter os benefícios ambientais, é preciso levar em conta a importância desses resíduos no solo para o retorno de nutriente e do carbono, por isso é importante calcular a taxa de resíduos que ficaram no solo e os que serão usados para a geração de energia para que a bioenergia em vez de trazer benefícios, não acarrete impactos no solo, deixados inférteis.

Portanto, é necessário manter a produção agrícola sustentável, garantir conteúdo suficiente de nutrientes no solo e otimizar fertilizantes minerais de acordo com os padrões agrícolas e ambientais e viabilidade econômica (KYRYZYUK et al., 2020).

A segurança alimentar e o crescimento da população mundial nos próximos anos são outras questões com as quais a comunidade científica vem se preocupando, fazendo com que quase todos concordem que a bioenergia terá um papel importante no cumprimento das metas que os países estabeleceram no Acordo de Paris nos próximos anos. Os pesquisadores destacaram que a partir de 2030 a bioenergia começará a perder peso, ganhando assim vantagem em outras fontes renováveis de energia, como a solar e a eólica. Outro fato é que a bioenergia não permite emissões tão negativas como se precisa para atingir um aumento de 1,5°C que se pretende (HAHN et al., 2020).

Obviamente, esses problemas marcam o desenvolvimento da bioenergia nos próximos anos. Muitos pesquisadores mencionaram a grande contribuição da bioenergia para o desenvolvimento futuro da África.

A tabela 1 apresenta estes benefícios segundo os tripés da sustentabilidade.

Tabela 1- Benefícios da bioenergia segundo os tripés da sustentabilidade

| Tripé da Sustentabilidade | Benefícios |
|----------------------------------|--|
| Social | Igualdade de gênero, Diminuição da desigualdade social, Melhoria das condições de vida |
| Econômico | Geração de renda, Criação de emprego na área rural, Desenvolvimento sustentável do país, Criação de empresas e PIB |
| Ambiental | Redução do desmatamento, Diminuição da poluição do ar, Destinação correta dos resíduos |

2.7 CONCLUSÃO

A bioenergia no cenário mundial, continuará sendo uma importante fonte de energia renovável, possibilitando o cumprimento dos objetivos traçados pelo Acordo de Paris. O ano de 2000 foi um ano marcante para a bioenergia. Foi um marco na intensificação das pesquisas na área. Com o passar dos anos, o foco da área mudou. Em 2007, os pesquisadores começaram a dar atenção aos resíduos biológicos e à biomassa lignocelulósica.

Com a chegada da assinatura do Acordo de Paris, em 2016, parece ter desacelerado as pesquisas na área, mostrando interesse dos pesquisadores por outras fontes de energia renovável.

As BECCS e os estudos de cenários, marcaram as pesquisas relacionadas à bioenergia, sendo o mecanismo para atingir os objetivos traçados de um aumento de 1,5°C das temperaturas globais, durante esse século. Esse parece ser o caminho que as pesquisas mundiais relacionadas à bioenergia tomarão.

Quanto à África, a biomassa tradicional continua tendo grande participação na matriz energética do continente, embora as pessoas tenham grandes esperanças na bioenergia moderna. Os pesquisadores do continente africano ainda enfrentam enormes desafios, como transformar os vários trabalhos que eles têm na área em políticas e projetos claros, de forma a permitir o desenvolvimento da bioenergia no continente. Esses serão os desafios para o setor nos próximos anos.

Os tipos de biomassa mais estudados têm sido os resíduos (agrícolas, florestais e urbanos), dendê, jatobá, cana de açúcar, milho, miscanthus, capim, óleos e gorduras animais, madeira e lenha. Os métodos mais empregados para a utilização dessas biomassas são a fermentação, digestão anaeróbica, transesterificação, gaseificação e pirólise.

A sua utilização tem vários benefícios e efeitos positivos, tais como: a melhoria das condições de vida proporcionada pelo aumento da renda familiar, a correta destinação dos resíduos reduzindo o impacto ambiental, o aumento das oportunidades de emprego, a redução do déficit da dívida externa, e o desenvolvimento econômico e sustentável do país.

2.8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS (IRENA). Publicações. Potencial de biomassa na África. **IRENA**, África, ano 2013, v. 1, ed. 1, p. 1-42, 2013.

AHORSU, R.; MEDINA, F.; CONSTANTÍ, M. Significance and challenges of biomass as a suitable feedstock for bioenergy and biochemical production: A review. **Energies**, v. 11, n. 12, 2018.

ANCA-COUCÉ, A.; HOCHENAUER, C.; SCHARLER, R. Bioenergy technologies, uses, market and future trends with Austria as a case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 135, 2021.

ALBANITO, F. et al. Carbon implications of converting cropland to bioenergy crops or forest for climate mitigation: A global assessment. **GCB Bioenergy**, v. 8, n. 1, p. 81–95, 2016.

BIOLCHINI, J. C. A. et al. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. **Advanced Engineering Informatics**, v. 21, n. 2, p. 133–151, 1 abr. 2007.

CHEN, W.-H. et al. Progress in biomass torrefaction: Principles, applications and challenges. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 82, 2021.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. **Da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. In: 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CNGDP 2011, n. 1998, p. 1–12, 2011, São Paulo. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cbgdp2011/downloads/9149.pdf>. Acessado em: out. de 2019.

DAHUNSI, S. O.; FAGBIELE, O. O.; YUSUF, E. O. Bioenergy technologies adoption in Africa: A review of past and current status. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, 2020.

DASAPPA, S. Potential of biomass energy for electricity generation in sub-Saharan Africa. **Energy for Sustainable Development**, v. 15, n. 3, p. 203–213, 2011.

- DE LA CRUZ-LOVERA, C. et al. Worldwide research on energy efficiency and sustainability in public buildings. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 8, 2017.
- DUGUMA, L. et al. Ecosystem-based approaches to bioenergy and the need for regenerative supply options for Africa. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 20, p. 1–22, 2020.
- EBHOTA, W. S. Power accessibility, fossil fuel and the exploitation of small hydropower technology in sub-saharan africa. **International Journal of Sustainable Energy Planning and Management**, v. 19, p. 13–28, 2019.
- EBHOTA, W. S.; INAMBAO, F. L. Electricity insufficiency in Africa: A product of inadequate manufacturing capacity. **African Journal of Science, Technology, Innovation and Development**, v. 8, n. 2, p. 197–204, 2016.
- EJIGU, M. Toward energy and livelihoods security in Africa: Smallholder production and processing of bioenergy as a strategy. **Natural Resources Forum**, v. 32, n. 2, p. 152–162, 2008.
- ENERGIA RENOVÁVEIS. **Agencia Internacional de Energia (IEA)**, Mundo, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>. Acessado em: 16 de fev. de 2021.
- FERRARI, G. et al. Bibliometric analysis of trends in biomass for bioenergy research. **Energies**, v. 13, n. 14, 2020.
- HUANG, B.-C. et al. Envisaging wastewater-to-energy practices for sustainable urban water pollution control: Current achievements and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 134, 2020.
- KYRYZYUK, S. et al. Crop residue removal: Assessment of future bioenergy generation potential and agro-environmental limitations based on a case study of Ukraine. **Energies**, v. 13, n. 20, 2020.
- LOGANATH, R.; SENOPHIYAH-MARY, J. Critical review on the necessity of bioelectricity generation from slaughterhouse industry waste and wastewater using different anaerobic digestion reactors. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 134, 2020.
- MATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA. **Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE)**, Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acessado: 15 de fev. de 2021.
- MAS'UD, A.; MANAF, N. A. A.; SAAD, N. Testing assumptions of the “slippery slope framework” using cross-country data: Evidence from sub-saharan africa. **International Journal of Business and Society**, v. 16, n. 3, p. 408–421, 2015.
- MINAS, A. M.; MANDER, S.; MCLACHLAN, C. How can we engage farmers in bioenergy development? Building a social innovation strategy for rice straw bioenergy in the Philippines and Vietnam. **Energy Research and Social Science**, v. 70, 2020.
- MOHAMMED, Y. S.; MUSTAFA, M. W.; BASHIR, N. Status of renewable energy consumption and developmental challenges in Sub-Sahara Africa. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 453–463, 2013.

OBILEKE, K. C. et al. Bioenergy from bio-waste: a bibliometric analysis of the trend in scientific research from 1998–2018. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2020.

OZTURK, I.; BILGILI, F. Economic growth and biomass consumption nexus: Dynamic panel analysis for Sub-Sahara African countries. **Applied Energy**, v. 137, p. 110–116, 2015.

PARASCANU, M. M. et al. Life cycle assessment of electricity generation from combustion and gasification of biomass in Mexico. **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, p. 72–85, 2021.

PEREA-MORENO, M. A.; SAMERÓN-MANZANO, E.; PEREA-MORENO, A. J. Biomass as renewable energy: Worldwide research trends. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 3, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/3/863/htm>. Acessado em: Dezembro de 2019.

SAGUES, W. J. et al. Prospects for bioenergy with carbon capture & storage (BECCS) in the United States pulp and paper industry. **Energy and Environmental Science**, v. 13, n. 8, p. 2243–2261, 2020.

SALLEH, S. F. et al. Transitioning to a sustainable development framework for bioenergy in Malaysia: policy suggestions to catalyse the utilisation of palm oil mill residues. **Energy, Sustainability and Society**, v. 10, n. 1, 2020.

SHARMA, M.; KAUSHAL, R. Advances and challenges in the generation of bio-based fuels using gasifiers: a comprehensive review. **International Journal of Ambient Energy**, v. 41, n. 14, p. 1645–1663, 2020.

SARKODIE, S. A.; ADAMS, S. Electricity access, human development index, governance and income inequality in Sub-Saharan Africa. **Energy Reports**, v. 6, p. 455–466, 2020.

STOLARSKI, M. J. et al. Bioenergy technologies and biomass potential vary in Northern European countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 133, 2020.

THRÄN, D. et al. Bioenergy beyond the German “Energiewende”–Assessment framework for integrated bioenergy strategies. **Biomass and Bioenergy**, v. 142, 2020.

VU, H. P. et al. A comprehensive review on the framework to valorise lignocellulosic biomass as biorefinery feedstocks. **Science of the Total Environment**, v. 743, 2020.

WEISSER, D. Costing electricity supply scenarios: A case study of promoting renewable energy technologies on Rodriguez, Mauritius. **Renewable Energy**, v. 29, n. 8, p. 1319–1347, 2004.

WELFLE, D. A.; CHINGAIRA, S.; KASSENOV, A. Decarbonising Kenya’s domestic & industry Sectors through bioenergy: An assessment of biomass resource potential & GHG performances. **Biomass and Bioenergy**, v. 142, 2020.

3 ARTIGO 2

Análise do potencial de bioenergia das principais culturas agrícolas em São Tomé e Príncipe

Analysis of the bioenergy potential of the main agricultural crops in São Tomé and Príncipe

Resumo

Diante da crise energética de longo prazo dos países africanos, muitos países analisaram o seu potencial bioenergético, como um mecanismo para reduzir o uso de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa, e uma forma de aliviar sua crise energética. Para tal, foi utilizado o método proposto pela Atlas Brasil em 2012 para analisar o potencial bioenergético das principais culturas de São Tomé e Príncipe, nomeadamente banana, cacau, óleo de dendê, matabala, coco, batata doce, mandioca e fruta pão. Obteve-se um potencial de 4,5 GW/ ano de energia, correspondendo a 4% da geração atual de energia elétrica. Deste potencial, 80% foram das culturas de cacau e banana. A utilização deste potencial, pode ajudar o país a reduzir sua dependência de combustíveis fósseis (93% da matriz elétrica), e com isso reduzir o *déficit* nas importações do diesel. Com pequenos sistemas descentralizado de energia, as perdas na distribuição (de 40% atualmente) irão diminuir e com isso mais acesso à energia pela população e menos cortes. A desigualdade social e melhoria na renda serão outros benefícios, da utilização deste potencial.

Palavras chaves: África, energia, gestão ambiental, biomassa, sistemas descentralizados.

Abstract

In the face of the long-term energy crisis in African countries, many countries have analyzed their bioenergetic potential, as a mechanism to reduce the use of fossil fuels and greenhouse gas emissions, and a way to alleviate their energy crisis. To this end, the method proposed by Atlas Brazil in 2012 was used to analyze the bioenergetic potential of the main cultures of São Tomé and Príncipe, namely banana, cocoa, palm oil, matabala, coconut, sweet potato, cassava and breadfruit. A potential of 4.5 GW / year of energy was obtained, corresponding to 4% of the current generation of electricity. Of this potential, 80% came from cocoa and banana crops.

The use of this potential can help the country to reduce its dependence on fossil fuels (93% of the electric matrix), and thereby reduce the deficit in diesel imports. With small decentralized energy systems, losses in distribution (currently 40%) will decrease and with this more access to energy by the population and less cuts. Social inequality and improved income will be other benefits of using this potential.

Keywords: Africa, energy, environmental management, biomass, decentralized systems.

3.1 INTRODUÇÃO

A segurança energética e as mudanças climáticas estão promovendo o uso de energia renovável, sendo a bioenergia entre as fontes de energias renováveis com maior participação na matriz energética mundial e a quarta maior fonte de energia. A bioenergia depende da biomassa selecionada e da sua disponibilidade, podendo proporcionar um suprimento constante de energia ao longo do ano, sendo menos intermitente (condições climáticas sazonais) como outras fontes de energia renováveis (SHU, 2017; AHORSU et al., 2018).

Namsaraev et al. (2018) e Uddin et. al. (2018), definem a biomassa, sendo “qualquer matéria orgânica disponível de forma renovável, incluindo culturas e árvores agrícolas, madeira e resíduos de madeira, plantas, algas, ervas, esterco animal, resíduos municipais e outros resíduos”. Esses materiais são usados para gerar: biocombustíveis, carvão, biogás, Syngas, calor, eletricidade, briquete, pellets, biochar, por processos como de pirólise, combustão, gaseificação, briquetagem, peletização, digestão anaeróbica, fermentação e transesterificação.

A combustão é um processo termoquímico usado para a produção de calor, que consiste em uma reação química na qual um combustível é oxidado, gerando uma grande quantidade de energia que é liberada na forma de calor, enquanto a gaseificação é aplicada calor ao material orgânico na presença de menos oxigênio, e a pirólise na ausência de oxigênio (UDDIN et al., 2018).

Grande parte desse consumo de bioenergia, como por exemplo de biocombustíveis, biogás, briquetes, ocorre nos países em desenvolvimento, sendo a China o grande propulsor da bioenergia moderna (derivada de resíduos agrícolas e processados, como palha de arroz, milho,

etc.), e terá um papel muito importante na expansão e no desenvolvimento de novas tecnologias. Os países africanos continuam sendo os grandes consumidores de bioenergia, mas só que a tradicional (lenha), para cozinhar e aquecer. Kebede *et al.* (2010), mencionam que a lenha no período de 1980 à 2005, correspondeu a 70 - 77% do uso total de energia na África, tendo seu pico de 77% em 1995.

O acesso à eletricidade é considerado um fator importante no desenvolvimento em qualquer região. A geração e distribuição centralizadas de eletricidade são tendências essenciais de uma sociedade moderna (DASAPPA, 2011). Este fator tem contribuído para a dificuldade de desenvolvimento na África, levando ao agravamento de vários problemas sociais e ambientais.

A biomassa é empregada como o principal recurso energético da maioria dos lares africanos para cozinhar, secar e aquecer o espaço. Vários milhões de africanos estão envolvidos na produção, distribuição e venda de lenha e carvão vegetal (DASAPPA, 2011).

Como relata Dasappa (2011), a taxa média de eletrificação na África está entre 25% a 60%, tendo os países do norte a maior taxa, em 95,5 %. Apesar de já ter passado quase 10 anos, desde a pesquisa de Dasappa (2011), esta realidade continua ocorrendo e sendo constatada no trabalho de Dahunsi et al. (2020), onde mencionam que mais de 600 milhões de africanos não têm acesso à energia, e que mesmo aqueles que têm acesso, não dispõem de fornecimento confiável e contínuo. Ao analisar o balanço mundial de energia da AIE em 2019, a África só produz 8% da energia mundial.

Kemausuor et al., (2018), mencionam que, a crise energética da África não acontece por falta de recursos, mas pela incapacidade de aproveitar adequadamente os recursos disponíveis, usando tecnologias, infraestrutura e políticas apropriadas. Recursos orgânicos, como resíduos vegetais e animais, águas residuais municipais e industriais e resíduos sólidos municipais, disponíveis em boa quantidade na África, podem ser aproveitados em usinas comerciais de biogás como complemento da matriz energética principal ou como fonte principal nas regiões rurais, contribuindo para reduzir a crise energética no continente.

Por ser de fácil acesso e baixo custo, torna a bioenergia, mais vantajosa em relação a outras fontes de energia renovável na África, além do fato da população já está habituada com a biomassa, e ela exigir pouca capacitação técnica, na sua operação, e ainda ajudar a resolver

os problemas ambientais com os resíduos gerados tanto na agricultura, como na fase do seu processamento.

Para isso, é preciso saber quais são os recursos disponíveis, sua quantidade, para se poder traçar medidas que visem o seu aproveitamento. Com esse intuito vários pesquisadores analisaram o potencial da bioenergia nos seus países, como: Kamel et al. (2018), analisaram o potencial de bioenergia de resíduos no Egito; Namsaraev et al. (2018), que avaliaram o correto potencial da bioenergia na Federação Rússia; Stafford et al. (2017), que analisaram o potencial de bioenergia de plantas invasoras no sudeste da África; Toklu (2017), que analisou o potencial de bioenergia e sua utilização na Turquia; Ozoegwu et al. (2017), analisaram o potencial da resíduos de biomassa da mandioca para a bioenergia em Nigéria; Lauri et al. (2014), avaliaram o potencial da biomassa da madeira em 2050; Butt et al. (2013), analisaram o potencial e consumo da bioenergia no Paquistão; Sang e Zhu (2011), analisaram o potencial de bioenergia na China; Nzila et al. (2010), analisam o potencial da bioenergia de resíduos no Quênia; Okello et al. (2013), analisaram o potencial de resíduos florestal e da Agricultura na Uganda.

O objetivo deste trabalho foi analisar o potencial bioenergético de São Tomé e Príncipe e os benefícios da sua utilização.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 ÁREA DE ESTUDO

São Tomé e Príncipe (STP) (Fig. 2) é um estado insular de constituição democrática, localizado no Golfo da Guiné, composto por duas ilhas (a Ilha de São Tomé e a Ilha do Príncipe) e várias ilhéus, que se localizam nas coordenadas geográficas 0°13'45.41"N e 6°40'08.28"L para a São Tomé e 1°36'35.91"N e 7°27'33.49"L para Príncipe, tendo uma área de 1001 km². Pelo Censo de 2012, a população total era de cerca de 192 mil habitantes, porém estima-se que atualmente seja cerca de 201 mil habitantes.

Figura 2- Localização geográfica de São Tomé e Príncipe

Fonte: Imagem da Google (UOL da olimpíadas de 2008).

3.2.2 PRODUÇÃO AGRÍCOLA DAS PRINCIPAIS CULTURAS DE SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE

A tabela 2 apresenta os valores da produção anual de banana, mandioca, cacau, fruta pão, matabala, coco, batata doce e óleo da palma em STP. Estas culturas foram as mais produzidas no ano de 2017.

Tabela 2- Produção agrícola de STP no ano de 2017.

| Culturas agrícolas | Produção (t) |
|---------------------------|---------------------|
| Cacau | 3372 |
| Banana | 45569 |
| Coco | 799 |
| Fruta pão | 5088 |
| Mandioca | 1487 |
| Matabala | 9695 |
| Óleo de palma (dendê) | 166* |
| Batata doce | 1937 |

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Pesca de São Tomé e Príncipe.

*A produção de óleo de palma está em mil litros.

3.2.2.1 BANANA

A banana é um nome comum para uma espécie de herbácea do gênero *Musa*, encontrada com abundância nas regiões tropicais e subtropicais, em latitudes 30N a 30S, existindo 25 a 80 espécies do gênero *Musa*. O clima ideal para a bananeira é na temperatura média de 80°F (26,67 °C) e média precipitação de 4 polegadas (10 cm) por mês. Não deve haver mais de 3 meses de estação seca. A banana requer de 10 a 12 meses desde seu plantio até a colheita, sendo plantada num espaçamento de 3m em 3m com a densidade de 700 a 900 plantas por hectare, tendo altura que varia de 0,8 à 7,5 m. Os cachos inteiros pendurados pesam de 30 a 50 kg, com médias de frutas de 125g cada um com aproximadamente 75% de teor de água e 25% de teor de matéria seca (TOCK et al., 2010).

Uma das grandes vantagens da bananeira, é que só dá fruto uma vez, e que após a colheita tudo vira resíduo, podendo ser empregado na geração de energia. O bom do seu uso é que não há conflito entre alimentos versus energia.

A banana é muito consumida em São Tomé e Príncipe, fazendo parte da alimentação diária da população, sendo um dos pratos típicos da região.

3.2.2.2 CACAU

O cacau pertence ao gênero *Theobroma*, sendo a espécie *Theobroma cacao*, a mais conhecida. Se originou a milhões de anos na América do Sul, a leste de Andres. Foi levado para São Tomé e Príncipe pelos colonizadores portugueses em 1822, vindas do Brasil. Após a sua introdução se tornou uma das culturas importantes, junto com o café na era colonial, e ainda tendo grande peso na exportação agrícola do país. Se adapta bem em temperaturas médias máxima de 30 – 32 °C, e mínima de 18 – 21 °C, entre as latitudes 10N e 10S do Equador. É uma árvore de clima tropical úmido, não podendo ter mais de 3 meses de seca, onde a chuva afeta muito a sua produção. Tendo a Costa do Marfim, Gana e Indonésia como os maiores produtores (ICCO, 2020).

O cacau é uma das culturas industrialmente importantes, o seu grão é usado para fabricar chocolate. Cada tonelada de cacau seco gera 10 toneladas de resíduos, e estes têm causado passivos ambientais, devido ao manejo inadequado. A utilização desse material para produção

de bioenergia irá permitir gerar valor agregado e ainda mitigar os passivos ambientais (MANSUR et al., 2014).

Syamsiro et al. (2012), relatam que a casca de cacau é deixada no campo na Indonésia, para virar fertilizante após sua decomposição, ou são usados na fabricação de ração animal.

3.2.2.3 FRUTA-PÃO

Fruta-pão (*Artocarpus altilis*) é uma fruta redonda e *amiláceo*, de origem Polinésia, tendo um diâmetro entre 12 a 35 cm. A parte comestível corresponde a 88,64 g/100 g (RINCÓN; PADILLA, 2004).

A fruteira são árvores de crescimento rápido, com 15 a 30 metros de altura. A fruta pão pesa de 1 a 3 kg, sua casca no início é áspera, recoberta por placas poligonais. No Brasil é encontrada nos Estados de Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e na parte extremo norte de São Paulo. É uma espécie de clima tropical que se desenvolve melhor em regiões baixas e chuvosas, com solos fértil, húmido, profundo, bem drenado e com bom teor de umidade (CALZAVARA, 1987).

É um fruto muito consumido em São Tomé e Príncipe, como podemos observar na tabela 1, onde é a terceira cultura mais produzida no país. Faz parte da culinária do país, sendo consumida com peixe e carne suína salgada. Além disso, também é usada na alimentação de animais em criação como suínos.

3.2.2.4 COCO

Coco é um fruto da espécie *Cocos Nucifera* e gênero *Cocos*, de clima tropical, encontrado em larga escala na África, Ásia, Região Pacífica e América Latina, estando presente em 86 países. A sua grande importância se deve a produção de óleo, como cultura de subsistência para pequenos agricultores (fornecendo alimento, bebidas, combustíveis, ração animal e abrigo), bem como as fibras de sua casca são usados na fabricação de estofamento para carros, enchimentos de colchões, tapeçarias e fabricação de pinceis. Além desses

benefícios econômicos, o coqueiro ajuda na sustentabilidade de ecossistemas frágeis (SIQUEIRA et al., 2002).

O coco é encontrado em qualquer parte da ilha de São Tomé e Príncipe, sendo muito consumido pela população local, além de servir como ingrediente de diversos pratos da culinária local.

3.2.2.5 MANDIOCA

A mandioca é o arbusto perene da família *Euphorbiaceae*, da espécie *Manihot*, apresentando uma ampla diversidade genética (resultante da facilidade de polinização cruzada da espécie), concentrando-se na América Latina e Caribe. O arbusto maduro tem de um a dois metros, podendo chegar a quatro metros dependendo da espécie. Amadurecem entre 8 a 10 meses após o cultivo (OZOEKWU et al., 2017). As cultivares da mandioca podem ser classificadas como doces ou amargas dependendo do ácido cianídrico, sendo as amargas destinadas à indústria. As suas folhas são simples formadas por lâminas e pecíolos. Devido o seu desenvolvimento em solo pobre, é frequentemente plantada por roças agricultura nativa, sendo resistente a pragas e doenças e se adapta a diferentes regiões edafoclimáticas (TOMICH et al., 2008).

É muito consumida em São Tomé e Príncipe, ficando atrás de culturas como arroz, banana, fruta pão.

3.2.2.6 MATABALA

Matabala é um tubérculo da família *Dioscoreaceae*, do gênero *Dioscorea*, mais cultivado comercialmente na região nordeste. A *Dioscorea* são espécies típicas do clima tropical, de solo com alto teor de matéria orgânica, tolerante às condições de secas. Seu ciclo vegetativo é de 6 a 8 meses, com uma produtividade média de 20 t/ha. A composição química varia conforme espécie cultivada, tendo alto valor energético e proteico (MOURA et al., 1982).

O *Dioscorea* produz melhor em solos que foram deixados em décadas sem cultivar (pousio), requerendo cuidados intensivos. Como remoção de ervas daninhas durante o crescimento e maturidade (OZOEGWU et al., 2017).

3.2.2.7 BATATA DOCE

A batata doce é uma hortaliça tuberosa, da família *Convolvuláceas*, da ordem das *Solanales*. Ela é de ampla adaptação, de fácil cultivo e tolerante a alta seca, sendo uma planta rústica. Demora de 4 a 5 meses do plantio até sua colheita. É cultivada nas latitudes 40N a 40S, exigindo temperaturas relativamente altas, não tolera geadas, onde tenha alta luminosidade, fotoperíodos longos e suficiente umidade no solo. Produz bem em regiões com 750 a 1000 mm anuais de chuva (SILVA et al., 1995).

3.2.2.8 ÓLEO DE DENDÊ

Óleo de palma (*Elaeis guineenses*) ou óleo de dendê como é conhecido popularmente no Brasil, é uma espécie que pertence à família *Arecaceae* (antiga família *Palmae*), do gênero *Elaeis*. É nativa do continente africano, existe na forma selvagem e semisselvagem, sendo cultivada no Trópico Equatorial, na África, Sudeste da Ásia e América Central e Sul. A Malásia e a Indonésia são os maiores produtores. Tem a produtividade de 3,68 toneladas por hectare (DE ALMEIDA et al., 2012).

3.2.3 PERCENTUAL DE RESÍDUOS DAS BIOMASSAS

A Tabela 3 mostra o percentual de resíduos gerados por cada cultura, com base em dados da literatura científica. Para o de resíduo da banana, foi usado o fator de colheita de resíduos (FCR) sugerido por Tock et al. (2010), que analisaram o potencial de bioenergia da banana na Malásia. Em relação a mandioca, foi utilizado o FCR sugerido por Ozoegwu et al. (2017), que analisaram o resíduo de mandioca na Nigéria. Para a fruta pão, usou-se FCR sugerido por Rincón Padilla (2005), no estudo da fruta pão na Venezuela. Para matabala e batata doce foi assumido o FCR de 30% que normalmente é aplicado para resíduos agrícolas.

Tabela 3- Percentual de resíduos gerados de cada cultura

| Culturas Agrícolas | FCR (%) | Toneladas de resíduos |
|--------------------------|---------|-----------------------|
| Banana | 30 | 13670,61 |
| Cacau | 12,38 | 41749,75 |
| Coco | 60 | 479,22 |
| Fruta pão | 11,36 | 578,01 |
| Mandioca | 17,35 | 257,99 |
| Batata doce | 30 | 581,1 |
| Óleo de palma (Dendê) | * | - |
| Matabala | 30 | 2908,5 |

*Se encontra em litros

3.2.4 PODER CALORÍFICO DAS BIOMASSA

O valor do poder calorífico inferior (PCI) de cada cultura foi baseado em dados da literatura, conforme mostrado na Tabela 4. Para o da matabala, batata doce, mandioca, foi aplicado o valor apresentado por Inna et al. (2015), no seu artigo sobre potencial energético dos resíduos de alguns produtos alimentares do norte do Camarões. Da fruta pão, aplicou-se o valor apresentado por Oulai, et al. (2013), no seu artigo sobre o efeito do tempo de cozimento na composição mineral e proximal da fruta pão, cultivada em Abidjan (Costa do Marfim). Para as demais culturas usou-se o poder calorífico empregado nas Altas de bioenergia do Brasil 2012 e do Equador de 2014.

Tabela 4- Poder calorífico inferior das culturas

| Culturas Agrícolas | PCI (MJ/Kg) |
|--------------------------|-------------|
| Banana | 12,625 |
| Cacau | 15,526 |
| Fruta pão | 14,1581 |
| Coco | 19,0785 |
| Mandioca | 12,52 |
| Batata doce | 25,03 |
| Óleo de palma (Dendê) | 0,78* |
| Matabala | 18,32 |

*O valor se encontra em MW/h

3.2.5 CÁLCULO DO POTENCIAL DE BIOENERGIA DAS PRINCIPAIS CULTURAS EM SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE

Para o cálculo do potencial bioenergético das principais culturas de São Tomé e Príncipe empregou-se a metodologia proposta no Atlas de Bioenergia do Brasil de 2012. Para cada cultura usou-se a fórmula abaixo, variando a quantidade de resíduos, fator de colheita de resíduos e o poder calorífico inferior, referente a cada.

$$Potencial (MW/ano) = \frac{[(t \text{ de resíduos} \times FCR) \times PCI \frac{MJ}{kg} \times 0,15]}{(860 \times 8322)} \quad (1)$$

Onde:

- 0,15: fator de conversão para eficiência adotada pelo Atlas de Bioenergia do Brasil (2012).

- 8322: total de horas de operação do sistema durante um ano (corresponde a 95% das horas anuais).

- 860: Conversão de kcal/ kg para MJ/ kg.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 5 lista o potencial bioenergético das culturas de banana, cacau, matabala, batata doce, mandioca, óleo de palma, coco e fruta pão para São Tomé e Príncipe.

Tabela 5- Potencial de energia das principais culturas agrícolas de São Tomé e Príncipe.

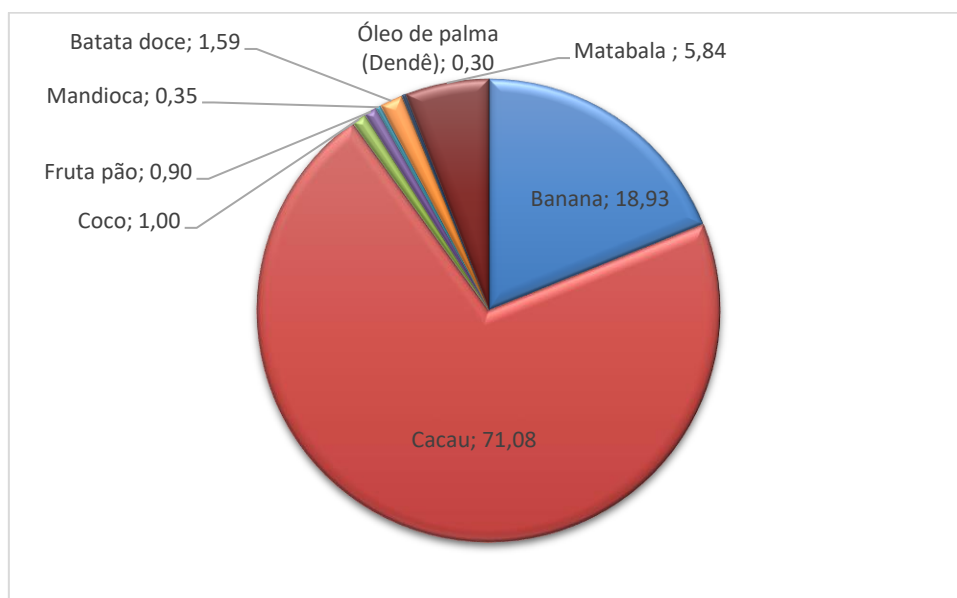
| Culturas Agrícolas | Potencial (MW/ano) |
|---------------------------|---------------------------|
| Banana | 864 |
| Cacau | 3245 |
| Coco | 46 |
| Fruta pão | 41 |
| Mandioca | 16 |
| Batata doce | 73 |
| Óleo de palma (Dendê) | 14 |
| Matabala | 267 |
| Total | 4565 |

A Tabela 5 mostra que as principais culturas agrícolas podem gerar 4565 MW/ano de energia. A utilização desse potencial além de aumentar a participação das energias renováveis na matriz energética de São Tomé e Príncipe, permitiria impulsionar o setor agrícola do país, que tem sofrido quedas na produção nos últimos anos.

Outro fato é a preocupação com a insustentabilidade dos sistemas tradicionais de produção de carvão de base florestal e a necessidade iminente de combustíveis alternativos. Aproximadamente 80% a 90% dos domicílios urbanos da maioria dos países africanos dependem de fontes insustentáveis de carvão vegetal para cozinhar e aquecer (KEBEDE *et al.*, 2010). Embora não exista registro oficiais, o mesmo acontece em São Tomé e Príncipe, levando o governo a estar preocupado com o desmatamento, que vem ocorrendo na parte norte do país (Distrito de Guadalupe e Lembá).

Shonhiwa (2013), obteve o potencial de 13 889 GW/ano para os resíduos de cultura agrícola no Zimbabué. Outros autores analisaram o potencial bioenergético de outros países da África como Vasco e Costa (2009), que analisaram o potencial de resíduos florestais na província de Maputo e obtiveram 5 GW/ano. O gráfico 6 mostra o percentual bioenergético de cada uma das principais culturas.

Gráfico 6- Percentual bioenergético de cada cultura.



A banana e o cacau detêm 80% desse potencial, como pode ser observado no gráfico 6. De acordo com Tock et al. (2010), a bananeira é uma excelente cultura para ser usada na geração de energia, visto que tem crescimento rápido e que depois de produzir seus frutos, todo o resto

virá resíduos. Estes resíduos são na proporção de 30% para cada planta da bananeira. Alguns trabalhos (Karimibavani; Sengul; Asmatulu, 2020; Nazari; San; Atan, 2019; Ku Ahmad; Sazali; Kamarolzaman, 2017; Withatanang, et al., 2017) tem usado os resíduos da bananeira para gerar energia, através do método de digestores anaeróbicos na sua maioria, e alguns por briquetagem.

Quanto aos resíduos de cacau, existe uma carência de trabalhos científicos que o usem para a geração de energia. Como observado no gráfico 6, há um grande potencial desta biomassa (71%), mostrando que mais pesquisas sobre essa biomassa para geração de energia são essenciais. A sua casca normalmente é deixada no campo, causando impactos ambientais e sendo como vetores de insetos (MANSUR et al., 2014).

Em 2016, a produção de energia elétrica de São Tomé e Príncipe foi de 120 GW/ano, 93% da qual proveniente de termelétricas a diesel, apenas 7% da matriz proveniente de energias renováveis, sendo 6% hidroelétrica e 1% solar (APRESENTAÇÃO Et al., 2018). Esse cenário foi observado em quase todos os países africanos, por Dasappa (2011) e Ebhota (2019), onde os combustíveis fósseis compõem a maior parte da matriz energética dos países. Isso leva ao encarecimento da energia três vezes mais do que o observado nos países desenvolvidos. Ebhota e Inambao (2016), mencionaram que os grandes problemas estão no uso de materiais, tecnologias, capacidade técnica de fora, que leva ao encarecimento dos projetos de energia nos países africanos, inviabilizando a modernização do setor e o aumento da produção de energia.

Weisser (2004) mencionou que devido à baixa demanda e ao afastamento geográfico de muitas ilhas, os bens importados são caros e vulneráveis a flutuações extremas. Esta situação torna o preço de importação dos combustíveis fósseis 200 - 300% superiores aos preços do mercado mundial, o que consome uma quantidade desproporcional dos recursos financeiros disponíveis para os governos dos pequenos países insulares em desenvolvimento como São Tomé e Príncipe. Portanto, a obtenção de recursos em moeda estrangeira para financiar os serviços de energia tornou-se outro obstáculo que as pequenas ilhas em desenvolvimento precisam superar para o desenvolvimento econômico. Porque costumam produzir muito pouco, resultando em PIB menor e, portanto, *déficit* devido ao baixo poder aquisitivo.

Ebhaota (2019), apontou também, que muitas das infraestruturas do setor de distribuição de energia dos países africanos são da década de 1990, precisando ser substituídos por novos urgentemente. Mas isso não tem ocorrido, devido à falta de investimento e ao baixo poder econômico dos países, desencadeando perdas de energia durante a transmissão e encarecendo o custo. Um cenário que é observado em São Tomé e Príncipe.

Mwampamba *et al.* (2013), menciona que vários países da África subsaariana têm enfrentado crises de energia, resultando em graves cortes de energia e racionamento de energia. As crises não só destacaram o mau estado da infraestrutura existente para a geração de eletricidade, mas também a má gestão do setor de energia como um todo.

Existe nos países africanos, a necessidade de uma transição energética que se expanda massivamente e forneça acesso a serviços modernos de energia (GUJBA *et al.*, 2012).

A bioenergia dos resíduos de culturas agrícolas, poderá proporcionar esses serviços modernos de energia para São Tomé e Príncipe. Aumentará a participação das fontes de energias renováveis na matriz elétrica do país (segundo dados oficiais é zero), diminuindo a dependência das termoelétricas e as emissões de gases de efeito estufa, além de gerar emprego e renda.

Stolarski *et al.* (2020) apontou que a bioenergia gerou 703,2 mil empregos diretos e indiretos. Em comparação com outros tipos de energia renovável, é um setor de mão de obra intensiva porque se baseia principalmente em matérias-primas obtidas na agricultura, silvicultura e serviços municipais. Como resultado, pode-se tirar partido dos custos laborais relativamente baixos na África subsaariana e do fornecimento de eletricidade pouco fiável e frequentemente caro (MWAMPAMBA *et al.*, 2013).

Conforme a Atlas de bioenergia da África (2017), 60% da população do país (São Tomé e Príncipe) tem acesso à energia. O suprimento de energia é considerado altamente instável e não confiável. A utilização da bioenergia permitiria melhorar o suprimento de energia, ou dar acesso à energia à população das áreas rurais. Cerca de 40% da energia gerada, é perdida na distribuição (APRESENTAÇÃO *et al.*, 2018).

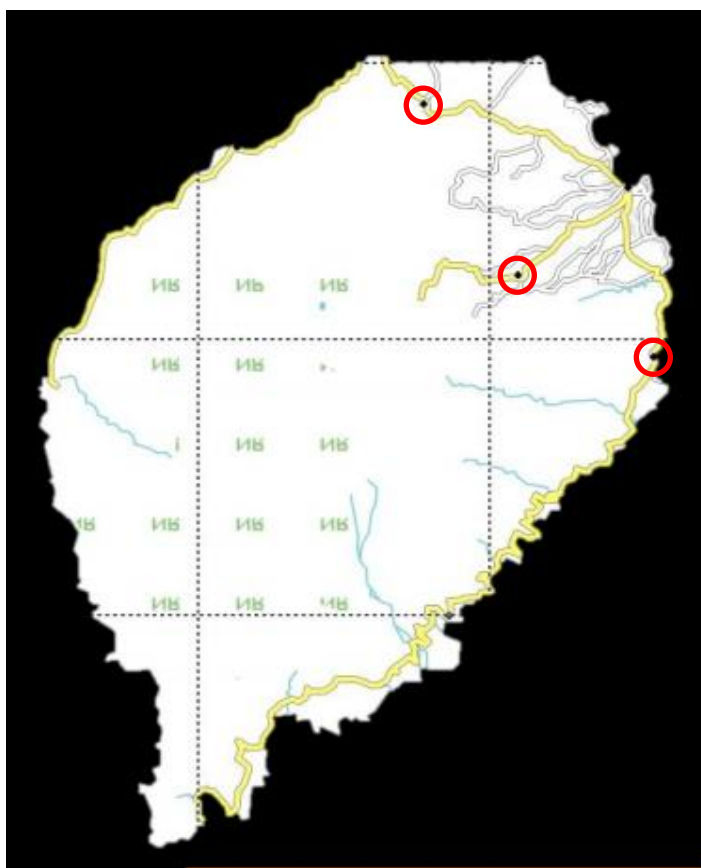
A instalação de pequenas centrais de bioenergia ao longo do país (São Tomé e Príncipe), permitiria diminuir essas perdas. Desde modo, é imperativo que a expansão do acesso à energia seja voltada para trajetória de baixo carbono que dependerá mais de fontes e tecnologias de energia menos poluentes, evitando o aprisionamento em tecnologias que consomem muito carbono (GUJBA *et al.*, 2012).

As tecnologias de energia descentralizada geram eletricidade onde ela é necessária, ao contrário da geração central como é atualmente em São Tomé e Príncipe (figura 3), onde a energia gerada nas três principais termelétricas, são transportadas por longas distâncias até onde serão usadas (OYEDEPO, 2014).

Em comparação com a geração de energia central e seus sistemas de transmissão e distribuição de energia de apoio, a geração de energia descentralizada reduzirá a necessidade desses investimentos e com os custos de sua manutenção. A energia descentralizada está ganhando cada vez mais reconhecimento em todo o mundo. Além disso, a geração de energia descentralizada pode reduzir os custos de eletricidade, reduzir a poluição, a emissão de gases de efeito estufa, aumentar a disponibilidade de eletricidade e reduzir a vulnerabilidade dos sistemas elétricos sob condições climáticas extremas (OYEDEPO, 2014).

A figura 3, apresenta a localização das três centrais térmicas e as distâncias percorridas pelas redes de distribuição. Analisando-a, verifica-se que a parte sul (Distrito de Caué) e a parte norte (Distrito de Lembá), a energia percorre longas distâncias desde o centro de produção (termelétricas) até estas áreas. Curiosamente, são os Distritos com menos taxa de eletrificação e maiores horas de corte no fornecimento.

Figura 3- Localização das termelétricas e das redes de distribuição.



Fonte: Empresa de Água e Eletricidade de São Tomé e Príncipe (EMAE).

Legenda. Os círculos vermelhos representam a localização das termelétricas e a linha em amarelo as distâncias percorridas pelas redes de distribuição.

Outro benefício da utilização desses resíduos agrícolas para geração de energia, é que evita graves riscos ambientais causados pelo descarte inadequado destes resíduos. Esses resíduos quando decompostos, produzem sérios gases nocivos, como sulfeto de hidrogênio, amônia, metano, etc (TOCK *et al.*, 2010).

Grande parte desses resíduos são deixados no campo para virarem adubos orgânicos após sua decomposição, tornando-se propagadores de doenças, devido ao enorme volume deixado no campo (SYAMSIRO *et al.*, 2012). Em STP, esses resíduos acabam sendo queimados, ou descartados em terrenos baldios ou no lixão.

Hansen *et al.* (2020) relata que vários trabalhos têm abordado sobre o uso de resíduos para a geração de energia, e que esse mecanismo ajudaria na qualidade ambiental e nos problemas causados pelo excesso de resíduos e sua destinação correta. Mas, para manter os benefícios ambientais, é preciso levar em conta a importância desses resíduos no solo para o retorno de nutriente e do carbono, por isso é importante calcular a taxa de resíduos que ficaram no solo e os que serão usados para a geração de energia para que a bioenergia em vez de trazer benefícios, não acarrete impactos no solo, deixados inférteis. Assim, transformar esses resíduos em matéria-prima de biomassa oferece a melhor forma de gerenciar esses resíduos e também fonte de geração de energia.

Outras vantagens do ponto de vista socioeconômico, é que gera emprego e renda a população local, principalmente da área rural, melhorando suas condições de vida e evitando o êxodo rural.

Quanto ao cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável traçados pela ONU para 2030, São Tomé e Príncipe tem a oportunidade de utilizar este potencial para concretizar alguns desses objetivos, como os objetivos: erradicação da pobreza (1); agricultura sustentável (2); saúde e bem estar (3); igualdade de gênero (5); energia limpa e acessível (7); trabalho decente e crescimento econômico (8); redução das desigualdades (10); cidades e comunidades sustentáveis (11); consumo e produção responsável (12); e ação contra a mudança global climática (13).

3.4 CONCLUSÃO

O potencial bioenergético das principais culturas em São Tomé e Príncipe foi 4,6 GW/ano, correspondendo a 4% da matriz elétrica. Desse potencial, 80% vem de duas safras, resíduos de banana e cacau.

A utilização plena desse potencial pode trazer vários benefícios para o país, como aumentar a participação de energias renováveis na sua matriz energética, bem como impulsionar o setor agrícola do país, que tem entrado em declínio.

Outro benefício é que isto permitirá a implantação da produção descentralizada de energia, o que reduzirá as perdas na distribuição e proporcionará mais energia aos usuários finais, reduzindo assim o número de pessoas sem acesso à energia e o número de horas de corte.

Ademais, com a demanda de mão de obra que gera com o uso da bioenergia, poderá ajudar com o problema de escassez de emprego vivenciado no país, e com isso melhorar a renda e o bem estar da sua população bem como contribuir para o desenvolvimento econômico do país.

Outro fato importante é que permitirá que São Tomé e Príncipe cumpra com os objetivos acordados da ODS 30 da ONU, dentre eles, o Objetivo 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 12 e 13.

3.5 REFERÊNCIAS

AHORSU, R.; MEDINA, F.; CONSTANTÍ, M. Significance and challenges of biomass as a suitable feedstock for bioenergy and biochemical production: A review. **Energies**, v. 11, n. 12, 2018.

APRESENTAÇÃO, Marcos de Jesus Fonseca. **Proposta de Gestão Ambiental considerando Recursos Renováveis para São Tomé e Príncipe**. Orientador: Mario Vito Comar. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Gestão Ambiental) - Faculdade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.

ATLAS bioenergético del Ecuador. 5. ed. Ecuador: **Instituto Nacional de Preinversión**., 2014. 154 p., maps, tpls. Disponível em: <http://biblioteca.olade.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=5720>. Acesso em: mar. de 2020.

BUTT, S.; HARTMANN, I.; LENZ, V. Bioenergy potential and consumption in Pakistan. **Biomass and Bioenergy**, v. 58, p. 379–389, 2013.

- CALZAVARA, B. B. G. Fruticultura tropical: a fruta-pão (*Artocarpus altilis* (PARK.) Fosberg: **Embrapa Amazônia Oriental.**, Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, p. 24, 1987. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/383722/1/DOCUMENTOS41CPATU.pdf>. Acesso em: abr. de 2020.
- CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Org. COELHO, S. T. et al. **Atlas de bioenergia do Brasil**. São Paulo: CENBIO, 2012.
- DASAPPA, S. Potential of biomass energy for electricity generation in sub-Saharan Africa. **Energy for Sustainable Development**, v. 15, n. 3, p. 203–213, 2011.
- DAHUNSI, S. O.; FAGBIELE, O. O.; YUSUF, E. O. Bioenergy technologies adoption in Africa: A review of past and current status. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, 2020.
- DE ALMEIDA, S. et al. Recursos Genéticos de Palma de Óleo (*Elaeis guineenses* Jacq.) e Caiaué (*Elaeis oleífera* (H.B.K.) Cortés), **Embrapa.**, 2012. Disponível em: www.cpaa.embrapa.br.
- EBHOTA, W. S. Power accessibility, fossil fuel and the exploitation of small hydropower technology in sub-saharan africa. **International Journal of Sustainable Energy Planning and Management**, v. 19, p. 13–28, 2019.
- EBHOTA, W. S.; INAMBAO, F. L. Electricity insufficiency in Africa: A product of inadequate manufacturing capacity. **African Journal of Science, Technology, Innovation and Development**, v. 8, n. 2, p. 197–204, 2016.
- GUJBA, H. et al. Financing low carbon energy access in Africa. **Energy Policy**, v. 47, n. SUPPL.1, p. 71–78, 2012.
- ICCO- Organização Internacional do cacau. **Cultivo do cacau: Origens do cacau e sua propagação pelo mundo**. Costa do Marfim: ICCO, 2013. 1 p. Disponível em: <https://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html>. Acesso em: abr. de 2020.
- INNA, S.; JIOKAP, N. Y.; KAMGA, R. Potencial energético dos resíduos derivados de alguns produtos alimentares no norte dos Camarões. **Revista Internacional de Energia e Engenharia de Potência**. Vol. 4, n. 6, 2015, pp. 342 - 352 . do i: 10.11648 / j.ijepe.20150406.13
- KAMEL, S. et al. Bioenergy potential from agriculture residues for energy generation in Egypt. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 28–37, 2018.
- KARIMIBAVANI, B.; SENGUL, A. B.; ASMATULU, E. Converting briquettes of orange and banana peels into carbonaceous materials for activated sustainable carbon and fuel sources. **Energy, Ecology and Environment**, v. 5, n. 3, p. 161–170, 2020.
- KEBEDE, E.; KAGOCHI, J.; JOLLY, C. M. Energy consumption and economic development in Sub-Sahara Africa. **Energy Economics**, v. 32, n. 3, p. 532–537, 2010.
- KEMAUSUOR, F.; ADARAMOLA, M. S.; MORKEN, J. A Review of Commercial Biogas Systems and Lessons for Africa. **Energies**, v. 11, n. 11, 2018.
- KU AHMAD, K.; SAZALI, K.; KAMAROLZAMAN, A. A. Characterization of fuel briquettes from banana tree waste. In: *Materials Today: Proceedings*, 10, **Anais...2018**.

- LAURI, P. et al. Woody biomass energy potential in 2050. **Energy Policy**, v. 66, p. 19–31, 2014.
- MANSUR, D. et al. Conversion of cacao pod husks by pyrolysis and catalytic reaction to produce useful chemicals. **Biomass and Bioenergy**, v. 66, p. 275–285, 2014.
- MOURA, L. L.; CARVALHO, M. da P. M. de; SIQUEIRA, F. A. R. de. Proteína e composição em aminoácidos em inhame *Dioscorea spp.*, **Embrapa Agroindústria de Alimentos**, p. 15, 1982.
- NAMSARAEV, Z. B. et al. Current status and potential of bioenergy in the Russian Federation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 625–634, 2018.
- NAZARI, M. M.; SAN, C. P.; ATAN, N. A. Combustion performance of biomass composite briquette from rice husk and banana residue. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 9, n. 2, p. 455–460, 2019.
- NZILA, C. et al. Biowaste energy potential in Kenya. **Renewable Energy**, v. 35, n. 12, p. 2698–2704, 2010.
- OKELLO, C. et al. Bioenergy potential of agricultural and forest residues in Uganda. **Biomass and Bioenergy**, v. 56, p. 515–525, 2013.
- OYEDEPO, S. O. Towards achieving energy for sustainable development in Nigeria Renewable and Sustainable Energy. **Reviews Elsevier**, v. 34, p. 255-272, 2014.
- OULAI, S.F.; GONNETY, J. T.; FAULET, B. M.; DJE, K. M.; KOUASSI-KOFFI, J. D.; AHI, A. P.; KOUAME, L. P. Effect of Cooking Time on the Proximate and Mineral Composition of Breadfruit (*Artocarpus altilis*) Grown in Abidjan, Côte D’Ivoire. **Pakistan Journal of Nutrition**, 12: 768-774, 2013.
- OZOEGWU, C. G. et al. Biomass and bioenergy potential of cassava waste in Nigeria: Estimations based partly on rural-level garri processing case studies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 625–638, 2017.
- RINCON, Alicia Mariela; PADILLA, Fanny C. Propriedades físico-químicas do amido da fruta-pão (*Artocarpus Altilis*) da ilha de Margarita, Venezuela. **ALAN**, Caracas, v. 54, n. 4, p. 449-456, dez. 2004. Disponível em <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000400013&lng=es&nrm=iso>. acessado em: abr. de 2020.
- SANG, T.; ZHU, W. China’s bioenergy potential. **GCB Bioenergy**, v. 3, n. 2, p. 79–90, 2011.
- SHU, K. et al. Reconciling Food and Bioenergy Feedstock Supply in Emerging Economies: Evidence from Jiangsu Province in China. **International Journal of Green Energy**, v. 14, n. 6, p. 509–521, 2017
- STAFFORD, W. et al. Bioenergy potential from invasive alien plant biomass in South Africa. In: Proceedings of the Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy, ICUE, **Anais...2017**.
- SILVA, J. B. C. da; et al. Cultivo da Batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). **Embrapa**, p. 18, 1995.

SIQUEIRA, L. A.; ARAGÃO, W. M.; TUPINAMBÁ, E. A. Introdução do coqueiro no Brasil. Importância histórica e agrônômica. **Documentos**, v. 47, p. 24, 2002.

SYAMSIRO, M. et al. A preliminary study on use of cocoa pod husk as a renewable source of energy in Indonesia. **Energy for Sustainable Development**, v. 16, n. 1, p. 74–77, 2012.

TOCK, J. Y. et al. Banana biomass as potential renewable energy resource: A Malaysian case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 798–805, 2010.

TOKLU, E. Biomass energy potential and utilization in Turkey. **Renewable Energy**, v. 107, p. 235–244, 2017.

TOMICH, R. G. P.; SALIS, S. M. de; FEIDEN, A.; TOMICH, T. R.; CURADO, F. F.; SANTOS, G. G. Etnovariedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivadas em assentamentos rurais de Corumbá, MS., Corumbá: **Embrapa Pantanal**, p. 27, 2008.

UDDIN, M. N. et al. An overview of recent developments in biomass pyrolysis technologies. **Energies**, v. 11, n. 11, 2018.

VASCO, H.; COSTA, M. Quantification and use of forest biomass residues in Maputo province, Mozambique. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 9, p. 1221–1228, 1 set. 2009.

WITHATANANG, K. et al. Production of briquette fuel using wastewater sludge and banana peel waste. **Asia-Pacific Journal of Science and Technology**, v. 22, n. 1, 2017.

4 ARTIGO 3

FABRICAÇÃO DE BRIQUETES COM RESÍDUOS DE CACAU E BANANA PARA SÃO TOMÉ E PRÍNCIPE

Manufacture of briquets with cocoa and banana waste for São Tomé and Príncipe

Resumo

A lenha e o carvão continuam sendo as principais fontes de energia na África, e a utilização de resíduos agrícolas usando a técnica de briquetagem podem auxiliar a diminuir essa tendência. Para tal, pretende-se com este trabalho fabricar briquetes a partir de duas culturas com maior potencial bioenergético de São Tomé e Príncipe: resíduos de banana e cacau. Foram produzidos 10 briquetes para cada um dos 5 tratamentos (T1 100% cacau; T2 75% cacau e 25% banana; T3 50% de cada; T4 25% cacau e 75% banana; e T5 100% banana), sem o uso de aglutinante e teor de umidade de 16%. Durante o processo de briquetagem, foi aplicada uma pressão de 1250 kgf/cm² por 30 segundos. Os resultados da análise química imediata, mostraram que o pseudocaule da bananeira e a casca de cacau apresentaram valores de 6,6% e 8,1% para cinzas, 77,1% e 71,8% para voláteis, 20,1% e 16,3% para carbono fixo, respectivamente. Estes resultados estão dentro da faixa obtida em outros trabalhos. Apesar dos baixos resultados alcançados nos testes de compressão (0,09-0,13 MPa) e durabilidade (10-36%), é possível e viável fabricar briquetes com essas duas culturas, sem aglutinantes, com baixo custo e baixa capacidade técnica, fundamental para as ilhas.

Palavras Chaves: África, bioenergia, biomassa, desmatamento, prensagem.

Abstract

Firewood and charcoal remain the main sources of energy in Africa, and the use of agricultural waste using the briquetting technique can help to reduce this trend. To this end, the aim of this work is to manufacture briquettes from two crops with greater bioenergetic potential in São Tomé and Príncipe: banana and cocoa residues. 10 briquettes were produced for each of the 5 treatments (T1 100% cocoa; T2 75% cocoa and 25% banana; T3 50% each; T4 25% cocoa and 75% banana; and T5 100% banana), without using of binder and moisture content of 16%. During the briquetting process, a pressure of 1250 kgf/cm² applied² for 30 seconds. The results

of the immediate chemical analysis showed that the banana pseudostem and the cocoa peel showed values of 6.6% and 8.1% for ashes, 77.1% and 71.8% for volatiles, 20.1% and 16.3% for fixed carbon, respectively. These results are within the range obtained in other studies. Despite the low results achieved in the compression tests (0.09-0.13 MPa) and durability (10-36%), it is possible and viable to manufacture briquettes with these two cultures, without binders, with low cost and low technical capacity, fundamental for the islands.

Keywords: Africa, bioenergy, biomass, deforestation, pressing.

4.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, devido ao crescimento populacional no continente africano, as áreas florestais dos países africanos sofreram forte desmatamento. Segundo dados da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), o continente africano consome 47,6% da biomassa sólida no processo de produção de energia.

A demanda por biomassa na maioria dos países da África Subsaariana é diretamente proporcional ao crescimento populacional. No entanto, isso requer encontrar fontes alternativas de energia para superar o *déficit* esperado e garantir o abastecimento e a segurança energética (NGUSALE *et al.*, 2014).

Kebede *et al.* (2010) mencionaram que a biomassa é responsável por mais de 30% do consumo de energia do continente africano e mais de 80% nos países da África subsaariana. Por exemplo, na Nigéria, a taxa de desmatamento é de 400.000 hectares/ano, seguindo esse nível até 2020, quase não há floresta no país.

Portanto, novas fontes alternativas de biomassa têm sido buscadas, e os resíduos têm se tornado uma alternativa interessante devido ao seu grande volume, queima inadequada e problemas causados pelo seu descarte incorreto. Porém, devido à sua baixa densidade e formas diversas, dificultando o manuseio, transporte e armazenamento, o resíduo tem sido adensado para melhorar suas propriedades físicas e químicas (KHORASGANI *et al.*, 2019).

Khorasgani et al. (2019) destacam que, geralmente, materiais como resíduos de baixa densidade podem facilmente pegar fogo. Os materiais de maior densidade têm a temperatura de ignição mais alta. Ademais, eles terão um perfil de ignição mais consistente.

Existem várias técnicas de densificação, as mais utilizadas são a peletização e a briquetagem. A peletização é a prensagem desses resíduos, mas em tamanhos menores que os briquetes para facilitar o armazenamento, geralmente não superior a 30 mm (PEREA-MORENO, M.; SAMERÓN-MANZANO; PEREA-MORENO, A., 2019). A briquetagem é um método de aglomeração para aprimorar a biomassa sólida e produzir produtos finais com propriedades e características padronizadas (KPALO et al., 2020).

A densificação é afetada pelo teor de umidade, temperatura de prensagem, tamanho e formato das partículas, espaços vazios, tipos de agentes de ligação e ponto de fusão dos compostos em biomassa (KHORASGANI et al., 2019).

Gilvari et al. (2019) relata que independentemente do tipo de material, os fatores que costumam afetar as propriedades físicas dos produtos densificados podem ser divididos em quatro categorias: matérias-primas, condições de preparação, processos de densificação e condições de armazenamento.

Alguns outros autores chegaram à mesma conclusão, como Kpalo et al. (2020), e mencionam que a qualidade dos briquetes depende da matéria-prima e do processo de briquetagem. A combustão e a segurança ambiental dependem principalmente da natureza das matérias-primas.

Para o processo de briquetagem, quatro categoria amplas de equipamento de briquetagem estão disponíveis, em ordem crescente de custo: aglomerador, extrusora de parafuso, briquetador de almofada e prensa de pistão/êmbolo (MWAMPAMBA et al., 2013).

Segundo Mwampamba et al. (2013), na África subsaariana, a briquetagem é quase exclusivamente realizada usando aglomerados e extrusoras de parafusos porque são os únicos equipamentos de briquetagem que podem ser fabricados no país a um preço competitivo com os importados.

Kpalo et al. (2020) apontaram que para os países em desenvolvimento, a disponibilidade de resíduos não representa um problema, no entanto, a otimização dos tratamentos químicos e mecânicos necessários para a maioria das inúmeras matérias primas permanece um desafio.

Kpalo et al. (2020) também mencionam que a tecnologia de briquetagem é nova nos países africanos, enquanto que na Ásia, América e Europa está bem consolidada. Nessas nações avançadas, foram registrados sucessos na produção e utilização de briquetes, mas o mesmo não pode ser dito na maioria dos países em desenvolvimento, incluindo a África.

Apesar desse atraso, já se registra produção de briquetes em países como Quênia, Ruanda, Uganda e Tanzânia, na sua maioria usando pó de carvão como matéria prima. O objetivo foi fabricar briquetes com resíduos de pseudocaule da banana e casca de cacau, duas das culturas de maior potencial de bioenergia em São Tomé e Príncipe e assim, contribuir para o desenvolvimento de briquetes nos países africanos.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

As matérias-primas utilizadas no processo de briquetagem são resíduos de cacau e o pseudocaule da bananeira. Foram coletados 2 kg de resíduos do fruto do cacau da Ilha de São Tomé. O cacau é uma espécie de clima tropical, originalmente cultivado na América do Sul. Tem um bom crescimento a uma temperatura de 18 a 32 °C, não resiste a secas prolongadas e pertence ao gênero *Theobroma* (ICCO, 2020).

O pseudocaule da bananeira foi obtido no quintal de uma pequena plantação de banana na cidade de Sorocaba-SP para consumo pessoal. É também uma espécie de clima tropical, de crescimento rápido (10 - 12 meses), composta por 75% de água e 25% de matéria seca. É muito indicada para zonas de clima chuvoso. O tempo de seca não pode ultrapassar os 3 meses. Pertence ao gênero *Musa* (TOCK et al., 2010). A figura 4 ilustra os resíduos do cacau e o pseudocaule da bananeira.

Figura 4- Resíduos de casca de cacau e pseudocaule da banana usados para confecção dos briquetes.



Fonte: Imagem da Google (ONU News)



Fonte: Autor

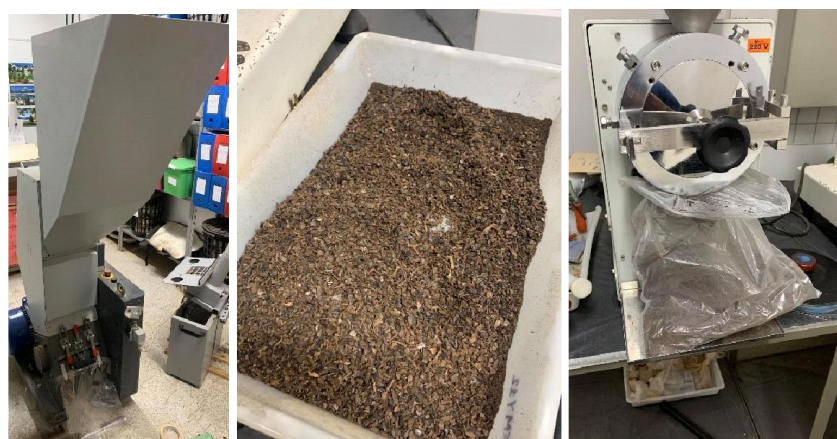
Legenda. A esquerda se encontra os resíduos do cacau e a direita o pseudocaule da bananeira.

4.2.2 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

As cascas do cacau são deixadas ao sol por três semanas para perder a umidade inicial. Em seguida, o material foi colocado no triturador Lippel (Figura 5a), e o resíduo triturado passou pela peneira de 12 mm do equipamento. Por ser difícil de prensar neste tamanho (Figura 5b), o material foi colocado no moinho de facas tipo Willey da marca Marconi modelo MA-340 (Figura 5c). A peneira utilizada foi de 1 mm.

Quanto ao pseudocaule de bananeira, foi colocado na secadora por uma semana, na temperatura de 65°C. Antes, pesou-se o material para determinar a quantidade de massa úmida que perderá. Após isso, o material foi levado ao moinho de facas, tipo Willey do modelo MA-340 da marca Marconi, usando uma peneira de 1 mm. A figura 5 ilustra as etapas realizadas na preparação dos materiais.

Figura 5- Preparação dos materiais



a)

b)

c)

Legenda. a) Triturador Lipper; b) casca de cacau triturada; c) Moinho de facas

4.2.3 ANÁLISE IMEDIATA

Após esse processo, foi realizada a análise imediata dos materiais, onde para a umidade adaptou-se (ASTM D-3173-11), cinzas (ISO 18122), materiais voláteis (ISO 18123). Para o cálculo do carbono fixo, subtraiu-se de 100% a soma dos teores de voláteis e cinzas. O poder calorífico superior (PCS) foi obtido com auxílio de uma bomba calorimétrica IKA C200, com base na norma (ABNT NBR 8633/84). Todas as análises se deram na forma de triplicata.

4.2.4 DENSIDADE

A densidade foi calculada por triplicata de cada material, na qual foram pesadas em um béquer graduado de 1000 ml, em uma balança analítica. Anotou-se os valores, e usou-se a fórmula de densidade que se encontra a baixo e tirando a média dos valores obtidos. A metodologia seguida foi adaptada da norma (ASTM E873-13).

$$D = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Para a densidade aparente dos briquetes, foram usadas 10 amostras de cada tratamento e tirou-se a média.

4.2.5 MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV)

O MEV foi empregado para analisar os elementos químicos que compõem o material. Para isso foi usado o MEV do modelo TM3000 da marca HITACHI, operando seguindo os procedimentos de utilização apontados pelo fabricante.

4.2.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÂNICAS

A expansão longitudinal foi feita medindo todos os briquetes com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. As medições seguiram as repetições de 1, 2, 4, 8, 24, 48, 96 horas, com o intuito de acompanhar a expansão dos briquetes. O procedimento foi baseado no trabalho de Padilla et al. (2016).

A análise de compressão foi realizada utilizando máquina universal de ensaios EMIC - DL 30000, com célula de carga de 500 kgf, a uma velocidade constante de 3 mm/min. O ensaio foi realizado adaptando a norma (ABNT NBR 7222).

Em relação à altura empilhamento, foi calculada seguindo a metodologia proposta por Silva et al. (2015), usando as seguintes fórmulas:

$$N_{emp} = \frac{(F Mrup)}{(Fs * 0,020)} \quad (3)$$

N_{emp} – N° de briquetes empilhados

FM_{rup} – Força máxima de ruptura

F_s – Fator de segurança

0.020 – Massa média das amostras

$$Hemp = \frac{(Nemp * 3,5)}{100} \quad (4)$$

Hemp – Altura de empilhamento

Nemp – N° de briquetes empilhados

3,5 – Média do diâmetro das amostras

A porcentagem de durabilidade foi realizada por meio do ensaio de resistência ao impacto e abrasão, seguindo a (ISO 17831) para determinação da durabilidade mecânica para pellets e briquetes. Foi usada uma rotação de 42 rpm, em um ensaio de 12 minutos. Foram usadas 6 amostras para cada ensaio. Ao fim do ensaio, separou-se com uma peneira de 850 mm (20 mesh) a massa da biomassa ainda compactada. E essa massa foi pesada e comparada com a massa inicial.

4.2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas com a assistência do excel 2016 e o programa pastprogram. Foi aplicado o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das amostras (variância). Quando o resultado de p-valor foi menor que o nível de significância de 0,05% ($\alpha=0,05$), constatou-se que as amostras apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os desvios padrão. Quando não houve diferença estatística significativa entre os desvios padrão, continuou-se com as demais análises estatísticas, aplicando o método da ANOVA e o método de comparação das médias Turkey.

4.2.8 CONFECÇÃO DOS BRIQUETES

Antes da confecção do briquete, foi ajustado o teor de umidade do pseudocaule da bananeira para 16%, o mesmo usado para a casca de cacau. Apesar da faixa ótima de teor de

umidade relatada é de 8 a 12% (Li & Liu, 2000; Silva et al. 2015), escolheu-se essa (16%), por ser aquela encontrada na casca de cacau após a secagem natural. O intuito foi simular uma situação real.

Para a confecção dos briquetes, pesou-se 20g do material, colocando-o em moldes cilíndricos de aço inox com diâmetro de 3,5 cm e altura de 16 cm, aplicando uma pressão de 1250 kgf/cm² e tempo de prensagem de 30s. Na prensagem não foram utilizados agentes aglutinantes e nem aquecimento. O processo de compactação do material em forma de briquete foi realizado em uma prensa hidráulica (Marconi - MA 098/CP). Foram realizados 5 tratamentos com 10 repetições para cada tratamento, como mostrado na tabela 6.

Tabela 6- Tratamentos para produção de briquetes

| Tratamento | Pseudocaule da bananeira (%) | Casca de cacau (%) |
|------------|------------------------------|--------------------|
| T1 | 0 | 100 |
| T2 | 25 | 75 |
| T3 | 50 | 50 |
| T4 | 75 | 25 |
| T5 | 100 | 0 |

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 ANÁLISE IMEDIATA

A tabela 7 apresenta os dados obtidos para cinza, materiais voláteis, carbono fixo e umidade para as amostras da casca de cacau e pseudocaule da bananeira. Os dados foram obtidos seguindo as metodologias já descritas acima.

Tabela 7- Resultados da análise imediata das amostras

| Material | Cinzas | σ (\pm) | Voláteis | σ (\pm) | Carbono fixo | PCS (MJ.kg) |
|--------------------------|--------|--------------------|----------|--------------------|--------------|-------------|
| Casca de cacau | 8,1% | 0,08 | 71,8% | 0,54 | 20,1% | 15,09 |
| Pseudocaule da bananeira | 6,6% | 0,05 | 77,1% | 1,74 | 16,3% | 13,87 |

Legenda. σ é o desvio padrão dos resultados obtidos.

Os dados obtidos para cinzas e matérias voláteis para o pseudocaule da bananeira foram quase parecidos com os logrados por Maia et al. (2017). Sendo que para cinzas foi 7,42% e para

voláteis foi 74,5%. Estes dados corroboram com os obtidos neste trabalho, indicando que para os pseudocaules de bananeira, independentemente do método (normas técnicas) utilizado, esta é a faixa para os conteúdos de cinzas e voláteis com uma umidade entre 8 a 16%.

Os conteúdos de cinzas para os dois materiais estão dentro do estabelecido pela norma de no máximo 10%. Este resultado é importante porque, como mencionou Maia et al. (2017), quantidade de cinzas é importante quando a biomassa é queimada na caldeira, porque em alta temperatura, pode derreter e causar incrustações no equipamento. A cinza residual é indesejável, e quanto menor teor de cinzas, melhor será a qualidade do combustível.

Syamsiro et al. (2012) no seu trabalho sobre casca de vagem do cacau como fonte de energia renovável para Indonésia, obteve na análise imediata, 49,9% para material voláteis, 13,5% para cinzas, 20,5% para carbono fixo e poder calorífico de 17,0 MJ/kg, em uma umidade de 16,1%. Desconhecendo exatamente como foi realizada a análise, fica difícil saber exatamente o porquê desta diferença com este trabalho. Uma hipótese pode ser pelo fato de os autores no seu trabalho só terem usado a casca do cacau e neste o fruto inteiro (casca, semente). Outro fato pode ser a espécie usada ou o procedimento baseado para a análise. O mesmo fato foi constatado no trabalho de Ofori e Akoto (2020), que obteve para cinzas 3,2% e voláteis 31,5%. Mas neste caso a casca de cacau foi carbonizada.

Kpalo et al. (2020) destacam que a carbonização ou pirólise da biomassa antes ou depois da briquetagem melhora o conteúdo de cinzas e materiais voláteis do material, bem como a durabilidade dos briquetes.

Nazari, San e Atan (2019) mencionam que, maior conteúdo de material voláteis, leva a biomassa a inflamar mais facilmente e tendo uma taxa de combustão mais rápida. A porcentagem de voláteis é proporcional ao tamanho das partículas, sendo que maior tamanho de partículas gera mais material volátil. Comparando este trabalho com o de Ofori e Akoto (2020), os resultados foram diferentes. Apesar de terem utilizado um tamanho de partícula maior (2 mm) em relação a este trabalho (1 mm) seu conteúdo de voláteis foi menor. A possível razão é a carbonização da casca do cacau no seu trabalho.

Padilla *et al.* (2016) também obteve um valor semelhante para materiais voláteis (alto) em seu trabalho, quando produziu e caracterizou a biomassa de fibra de coco e palha de cana de açúcar para briquetagem. O mesmo foi averiguado no trabalho de Silva et al. (2015), quando caracterizou e briquetou resíduos de serragem de eucalipto, pinus, bagaço de cana de açúcar e

palha de cana de açúcar, tendo um alto valor para materiais voláteis e baixo para cinzas. Só a palha de cana de açúcar que teve um conteúdo de cinzas maior (12%). Este fato pode ser característico das biomassas que não passaram pelo processo de carbonização.

Quanto ao teor de carbono fixo, os dados obtidos neste trabalho foram diferentes dos dados obtidos no trabalho de Ofa e Akoto (2020) e Syamsiro et al. (2012) para os resíduos de casca de cacau. Portanto, a causa é a diferença entre os voláteis e as cinzas. Para pseudocaule os resultados foram similares ao trabalho de Maia et al. (2017). Baixo teor de carbono fixo tende a prolongar o tempo de aquecimento, devido à baixa liberação de calor (NAZARI; SAN; ATAN, 2019).

4.3.2 DENSIDADE

A tabela 8 mostra os resultados da densidade a granel dos resíduos de pseudocaule da bananeira e da casca do cacau e dos briquetes confeccionados.

Tabela 8- Densidade do material e do briquete.

| Material | Densidade a granel | | Densidade do briquete a granel (kg/m ³) |
|--------------------------|----------------------|--------------------|---|
| | (kg/m ³) | σ (\pm) | |
| Casca de cacau | 272 | 3,56 | 470 |
| Pseudocaule de bananeira | 348 | 2,63 | 520 |

Legenda. σ é o desvio padrão dos resultados obtidos.

Os dados mostram que o pseudocaule da bananeira tem uma maior densidade que a casca de cacau, isto pode ser explicado pela análise da imagem no MEV (figura 6), em que pseudocaule da bananeira, exibiu uma característica fibrosa, o que pode ter conferido uma maior densidade. A briquetagem do material aumentou a densificação do material em 160%, correspondendo a quase 2 vezes da densidade original. Esse é o efeito que se procura obter com a briquetagem do material, visto que *in natura*, o material tem baixa densidade, que acaba inviabilizando a sua utilização direta como combustível. Li e Liu (2000) abordaram esse fato no seu trabalho.

Panwar et al. (2011) menciona que a densidade aparente da biomassa pode ser aumentada em várias vezes da sua densidade original. O mesmo foi relatado por Khorasgani et al. (2020).

4.3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO- MECÂNICA

A tabela 9, apresenta os resultados do teste de compressão e durabilidade dos briquetes de casca de cacau e pseudocaule da bananeira.

Tabela 9- Caracterização físico- mecânica dos briquetes.

| Ensaio | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Teste de Durabilidade (%) | 36 | 26 | 16 | 11 | 19 |
| Teste de compressão (MPa) | 0,133 | 0,128 | 0,108 | 0,093 | 0,124 |

Os dados mostram que os briquetes 100% de casca do cacau tiveram melhor durabilidade, em relação quando se diminuiu a sua proporção nas amostras em outros tratamentos, indicando que a durabilidade diminui com a diminuição da porcentagem dos resíduos de casca de cacau nos tratamentos.

Portanto, durante a compactação das amostras com os resíduos da bananeira e do cacau, não há uma forte ligação entre as suas partículas, no preenchimento dos espaços vazios entre elas. A utilização de temperatura para a sua briquetagem, pode melhorar esse aspecto com a ativação da lignina com a introdução de temperatura. Situação que poderia passar com a adição de agente aglutinante, que melhoraria a ligação entre essas partículas. O mesmo fenômeno ocorreu com o teste de compressão.

Sellin et al. (2013) em seu trabalho obteve um valor de 9,50 para 15,03 MPa para o teste de resistência à compressão, com o aumento do tempo de compactação para o pseudocaule da bananeira. Este valor é 9 vezes maior que o obtido neste trabalho. Esse fato pode ser explicado pelo teor mais baixo de umidade utilizado (8 a 15%), e também pelo tamanho das partículas usadas (2,5 mm). Foi também usada uma pressão maior na prensagem dos briquetes.

Este resultado também foi constatado nos trabalhos de Maia et al. (2017) para briquetes de pseudocaule da banana, e também no trabalho de Ahmad, Sazali e Kamarolzaman (2017). Isto mostra que fatores como pressão de compactação diferente, tempo de prensagem diferente, tamanho das partículas, metodologia usada na confecção dos briquetes, influenciam no teste de compressão dos briquetes dos mesmos resíduos.

Padilla et al. (2015) também obtiveram valores (0,24 a 0,37 MPa) diferentes dos obtidos por Sellin et al. (2013), Maia et al. (2017) e Ahmad, Sazali e Kamarolzaman (2017), analisando outros materiais. Seus resultados se assemelham aos deste trabalho. Em relação ao teste de durabilidade, obtiveram melhores resultados, apresentando melhor durabilidade do que os briquetes deste trabalho. Apenas a durabilidade dos briquetes 100% cacau (tabela 9) se assemelham com o obtido por Padilla et al. (2015) com briquetes de palha de cana (menor valor dentre os tratamentos).

Silva et al. (2015), caracterizaram os resíduos de algumas culturas para briquetagem, obteve um valor quase similar (0,270 MPa) no teste resistência à compressão, para os briquetes de bagaço de cana. Esse valor foi similar ao obtido por Padilla et al. (2015) para o briquete de palha de cana. Isto mostra que os resíduos de cana, cacau e banana, têm baixa resistência à tensão-deformação em relação a resíduos de madeira.

Um fato constatado, que mesmo os resíduos de melhor resistência à tensão-deformação nos trabalhos citados acima, não alcançaram a resistência de 9 a 15 MPa obtidas no trabalho de Sellin et al. (2013), Maia et al. (2017) e Ahmad, Sazali e Kamarolzaman (2017). Isto mostra que as condições de produção dos briquetes influenciam muito nos testes de durabilidade e resistência à compressão.

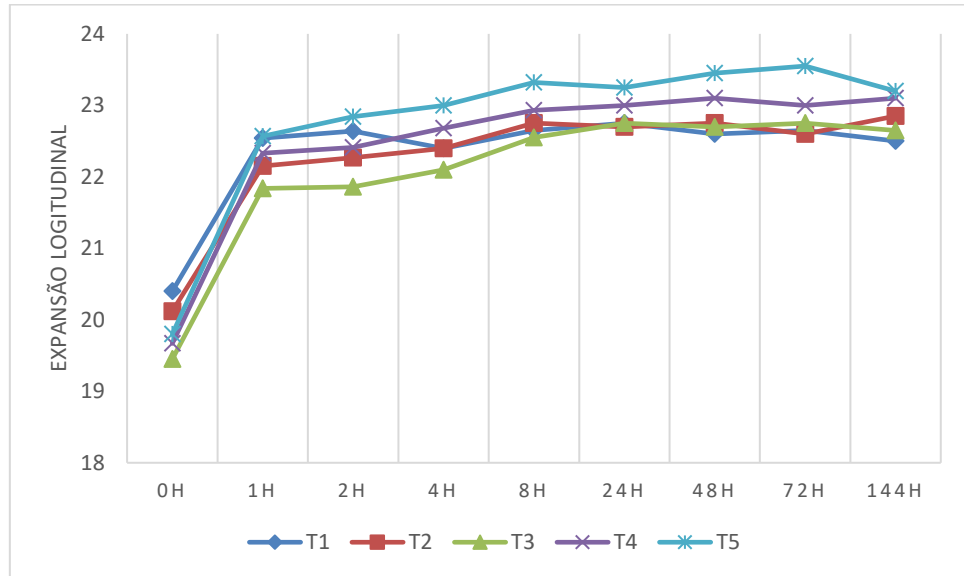
Kaliyan e Morey (2008), mencionam que os testes de resistência à compressão, resistência à abrasão e resistência à impacto não podem ser comparados entre si, por que não se sabe qual componente de tensão fez o briquete falhar.

4.3.4 EXPANSÃO LONGITUDINAL DOS BRIQUETES

O gráfico 7 mostra a expansão longitudinal dos briquetes dos 5 tratamentos, horas depois após a briquetagem. Em todos os tratamentos a maior expansão ocorreu no intervalo de 1 hora após a briquetagem, como se observa no gráfico 7. Esta expansão foi na ordem de 90% aproximadamente. Após esse período de uma hora, foi ocorrendo pequenas expansões, havendo pequenas oscilações como podemos constatar no gráfico. Os briquetes do tratamento 5, foram os que tiveram maior expansão dentre os tratamentos, mostrando que as ligações para o preenchimento dos espaços vazios entre as partículas de pseudocaule da banana são fracas. Estes dados colaboram com os resultados dos dados do teste de tamboramento e teste de compressão, que com o aumento da proporção dos resíduos de pseudocaule, diminuía a durabilidade e baixa resistência à tensão-deformação.

Li e Liu (2000), constataram no seu trabalho que a maior expansão dos briquetes ocorre minutos depois após a briquetagem, que depois desse período vai ocorrendo a expansão, mais em pequena porcentagem até os briquetes ficarem estáveis.

Gráfico 7- Expansão longitudinal dos tratamentos.



4.3.5 CARACTERÍSTICA DE EMPILHAMENTO DOS BRIQUETES

A tabela 10 mostra os resultados dos cálculos dos números de briquetes empilhados e das alturas de empilhamento.

Tabela 10- Característica de empilhamento para cada tratamento.

| Tratamento | FMrup (kgf) | Nemp | Hemp (m) |
|------------|-------------|------|----------|
| 1 | 17,38 | 290 | 10 |
| 2 | 16,44 | 274 | 10 |
| 3 | 14,11 | 235 | 8 |
| 4 | 12,29 | 205 | 7 |
| 5 | 16,39 | 273 | 10 |

Legenda. Força máxima de ruptura (FMrup); Número de briquetes empilhados (Nemp); Altura de empilhamento (Hemp).

A altura máxima de empilhamento pode ser observada na tabela 10, em que o tratamento com menor resistência mecânica T4 (25% casca de cacau e 75% pseudocaule da bananeira) teve a altura de 7 metros. Visto que como mencionou Silva et al. (2015) que normalmente a

altura de um galpão é menor que 10 metros, então pode-se considerar que esses briquetes apresentam condições favoráveis para empilhamento.

No seu trabalho, Silva et al. (2015), obteve uma altura máxima de empilhamento de 87 metros e mínima de 20 metros, mostrando a melhor condição para empilhamento dos briquetes do seu trabalho em relação a este.

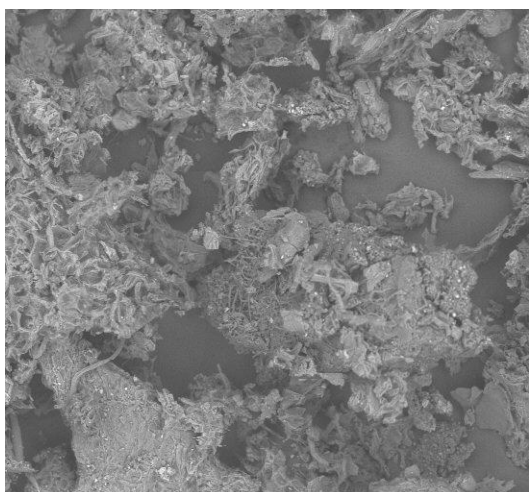
4.3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos dados por meio do teste de Bartlett mostrou que, para todos os testes realizados, não houve diferença estatisticamente significativa entre os desvios-padrão.

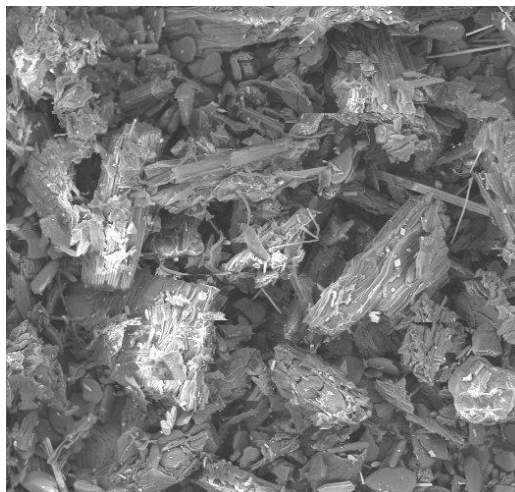
4.3.7 MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA

A figura 6, apresenta a análise do material pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV), onde podemos constatar que os resíduos de casca de cacau exibem uma estrutura com aspecto mais ásperos, com aparência de barro molhado e com partículas de tamanho maiores em relação ao pseudocaule da banana. O pseudocaule da banana exibe um aspecto mais fibroso e rugoso, com partículas na forma de pequenas pedrinhas e com pouco espaço entre elas, em relação à casca de cacau que o espaço é maior.

Figura 6- MEV dos resíduos de casca de cacau e Pseudocaule da bananeira.



a) Casca de cacau



b) Pseudocaule da bananeira

Essa pequena porosidade do pseudocaule da bananeira e partículas menores em relação às partículas dos resíduos da casca de cacau, fizeram com que a ligação entre essas partículas

não fosse suficientemente forte em comparação quando se densifica 100% de cada material. Isto se deve que as partículas da casca de cacau não conseguiram preencher os espaços entre as partículas de pseudocaulé da bananeira, por serem maiores que os poros existentes. Este fato explica, porque com o aumento da proporção de pseudocaulé da bananeira, nos testes de durabilidade e compreensão, os valores dos resultados foram diminuindo, levando a uma menor durabilidade dos briquetes e menor resistência à tensão-deformação.

Quanto aos elementos químicos presentes nos materiais, nenhum é composto por elementos que causem problemas nas caldeiras ou fornos durante a sua queima ou que gerem gases nocivos à saúde dos trabalhadores. Os materiais são compostos por 96% de carbono e oxigênio, sendo outros 4% por potássio para o resíduo de casca de cacau e cálcio para o pseudocaulé da bananeira.

4.4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados deste trabalho, pode-se concluir que é viável a produção de briquetes a partir de resíduos de pseudocaulé de bananeira e casca de cacau, com baixo teor de cinzas e sem necessidade de ligantes. Esse fato mostra que briquetes feitos a partir desses resíduos podem ser produzidos com baixo custo. Isso é muito importante para países africanos como São Tomé e Príncipe, que têm baixa capacidade técnica e nenhuma experiência em briquetagem. Outro fato é que são resíduos abundantes nas ilhas e estão disponíveis o ano todo.

Este trabalho também colabora para que outros pesquisadores da África tentem produzir briquetes com outros resíduos locais abundantes nos respectivos países, reduzindo assim o uso de pó de carvão na produção de briquetes como é feito atualmente no continente africano.

Outro aspecto importante é que a briquetagem desses resíduos, permitirá uma melhor destinação desses resíduos, que atualmente é deixada nos campos ou descartados em terrenos baldios. Este facto contribuirá para a melhoria da saúde local e para o surgimento de novas políticas que visem a melhoria da gestão ambiental do país, e finalmente São Tomé e Príncipe vai se aliar a ações globais de combate ao aquecimento global.

4.5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D317. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E873. Standard Test Method for Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels. 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8633. Carvão vegetal: Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7222. Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. 2011.

CHUNGCHAROEN, T.; SRISANG, N. Preparation and characterization of fuel briquettes made from dual agricultural waste: Cashew nut shells and areca nuts. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, p. 120-434, 2020.

ICCO- Organização Internacional do cacau. **Cultivo do cacau: Origens do cacau e sua propagação pelo mundo**. Costa do Marfim: ICCO, 2013. 1 p. Disponível em: <https://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html>. Acesso em: abr. de 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 18122. Solid biofuels — Determination of ash content. 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 18123. Solid biofuels — Determination of the content of volatile matter. 2013.

KALIYAN, N.; VANCE MOREY, R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 3, p. 337–359, 2009.

KEBEDE, E.; KAGOCHI, J.; JOLLY, C. M. Energy consumption and economic development in Sub-Saharan Africa. **Energy Economics**, v. 32, n. 3, p. 532–537, 2010.

KHORASGANI, N. B.; SENGUL, A. B.; ASMATULU, E. Briquetting grass and tree leaf biomass for sustainable production of future fuels. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 10, n. 4, p. 915–924, 2020.

KPALO, S. Y. et al. A review of technical and economic aspects of biomass briquetting. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 11, 2020.

KU AHMAD, K.; SAZALI, K.; KAMAROLZAMAN, A. A. Characterization of fuel briquettes from banana tree waste. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 10, p. 21744–21752, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.07.027>. Acessado em: out. de 2020.

GILVARI, H.; DE JONG, W.; SCHOTT, D. L. Quality parameters relevant for densification of bio-materials: Measuring methods and affecting factors - A review. **Biomass and Bioenergy**, v. 120, p. 117–134, 2019.

LI, Y.; LIU, H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, n. 3, p. 177–186, 2000. Disponível em: <https://www->

sciencedirect.ez31.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S096195340000026X?via%3Di hub. Acessado em: out. de 2020.

MAIA, B. G. O. et al. Characterization and production of banana crop and rice processing waste briquettes. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, v. 37, n. 4, p. 1266–1273, 2018. Disponível em: <https://aiche-onlinelibrary-wiley.ez31.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1002/ep.12798>. Acessado em: out. de 2020.

MWAMPAMBA, T. H.; OWEN, M.; PIGAHT, M. Opportunities, challenges and way forward for the charcoal briquette industry in Sub-Saharan Africa. **Energy for Sustainable Development**, v. 17, n. 2, p. 158–170, 2013.

NAZARI, M. M.; SAN, C. P.; ATAN, N. A. Combustion performance of biomass composite briquette from rice husk and banana residue. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 9, n. 2, p. 455–460, 2019.

NGUSALE, G. K.; LUO, Y.; KIPLAGAT, J. K. Briquette making in Kenya: Nairobi and peri-urban areas. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 749–759, 2014.

NURIANA, W.; SURYANTO, A.; KAMAL, M. Calorific value analysis, reduction of period weight, reaction rate, activation energy of old coconut, young coconut waste briquette burning, cocoa. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1, **Anais...**2019. Disponível em: <https://iopscience-iop.ez31.periodicos.capes.gov.br/article/10.1088/1757-899X/588/1/012004>. Acessado: out. de 2020.

SELLIN, N. et al. Use of banana culture waste to produce briquettes. **Chemical Engineering Transactions**, v. 32, p. 349–354, 2013. Disponível em: <https://www.aidic.it/cet/13/32/059.pdf>. Acessado em: out. de 2020.

SILVA, D. A. et al. Caracterização de biomassas para a briquetagem. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 713–722, 2015.

OFORI, P.; AKOTO, O. Production and Characterisation of Briquettes from Carbonised Cocoa Pod Husk and Sawdust. **OALib**, v. 07, n. 02, p. 1–20, 2020.

PADILLA, E. R. D. et al. Production and physical-mechanical characterization of briquettes from coconut fiber and sugarcane straw. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 5, p. 1334–1346, 2016.

PANWAR, V.; PRASAD, B.; WASEWAR, K. L. Biomass residue briquetting and characterization. **Journal of Energy Engineering**, v. 137, n. 2, p. 108–114, 2011. Disponível em: <https://ascelibrary-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1061/%28ASCE%29EY.1943-7897.0000040>. Acessado: jul. de 2020.

TOCK, J. Y. et al. Banana biomass as potential renewable energy resource: A Malaysian case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 798–805, 2010.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos próximos anos, a bioenergia pode tornar-se uma importante fonte de energia para São Tomé e Príncipe. Analisando o potencial das principais culturas agrícolas, pode-se obter um potencial energético de 4,5 GW/ano, o que pode ajudar muito o país a reduzir sua dependência excessiva de combustíveis fósseis. Além disso, existem deficiências na gestão ambiental do país e, à medida que esse potencial seja utilizado, mudará a percepção dos governantes.

Embora não haja dados oficiais, o país tem sofrido forte desmatamento para a produção de lenha e carvão, sendo a lenha e o carvão, atrás apenas do petróleo (querosene), as fontes de cozimento e geração de calor mais utilizadas.

Este fato, somado ao destino incorreto dos resíduos (agrícolas e urbanos), comprova a urgência de implementação da bioenergia moderna no país, como por exemplo, os briquetes feitos com esses resíduos como forma de mitigar o uso da lenha e do carvão, e com isso, os impactos ambientais que tem sofrido o país.

Com base nos resultados deste trabalho, foi possível fabricar briquetes com baixo conteúdo de cinza e materiais voláteis, sem uso de aglutinante, minimizando assim os custos e o processo. Tendo em vista a baixa qualidade técnica na área, e a decadência que tem sofrido a agricultura do país nos últimos anos e a falta de emprego para a população, a instalação de fábricas de briquetagem será um grande impulsionador da economia e desenvolvimento sustentável do país, bem como na eliminação destes problemas.

Diante dos argumentos expostos, esta investigação é importante para São Tomé e Príncipe e outros países da África, para que comecem a fabricar briquetes, o que vai reduzir o desmatamento no continente e diminuir a utilização de lenha e carvão. Para aqueles que já fabricam, que comecem a utilizar outros tipos de resíduos de biomassa local, diminuindo o uso do pó de carvão como tem acontecido atualmente. O pó de carvão usado é produzido em fornos tradicionais insustentáveis, de baixa eficiência e que emite grandes quantidades de CO₂, causando enormes impactos ambientais.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No artigo 1 para futuras pesquisas, sugiro a realização de um trabalho de pós graduação, que faça uma análise completas dos escritos que se tem na área, usando a revisão bibliográfica sistemática (RBS) ou outra técnica científica de bibliometria, que permita que os novos pesquisadores na área possam ter um panorama completo do desenvolvimento da bioenergia ao longo desses anos.

Em relação ao artigo 2, recomendo para trabalhos futuros, a análise do potencial bioenergético dos resíduos florestais, da silvicultura e pecuária de São Tomé e Príncipe.

Para o artigo 3, sugiro pesquisas que procurem explorar as outras tecnologias de aproveitamento da biomassa para geração de energia, como os digestores anaeróbios, gaseificação, fermentação e transesterificação para São Tomé e Príncipe.