



JONAS ZEFANIAS MASSUQUE

**POTENCIAL ENERGÉTICO DE ESPÉCIES PROCEDENTES DE
PLANO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTADO NO NORTE DE
MOÇAMBIQUE**

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho

LAVRAS-MG

2017

JONAS ZEFANIAS MASSUQUE

**POTENCIAL ENERGÉTICO DE ESPÉCIES PROCEDENTES DE
PLANO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTADO NO NORTE DE
MOÇAMBIQUE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 11 de Dezembro de 2017

Dr. Paulo Fernando Trugilho UFLA

Dra. Luana Elis de Ramos e Paula UFLA

Dra. Claudinéia Olímpia de Assis UFLA

Dr. Edson Rubens da Silva Leite UFSJ

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho

LAVRAS-MG

2017

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Massuque, Jonas Zefanias.

Potencial energético de espécies procedentes de
plano de manejo florestal sustentado no norte de
Moçambique / Jonas Zefanias Massuque. - 2017.
50 p.

Orientador(a): Paulo Fernando Trugilho.

.
Dissertação (mestrado acadêmico) -
Universidade Federal de Lavras, 2017.
Bibliografia.

1. espécies nativas. 2. energia da biomassa. 3.
miombo. I. Trugilho, Paulo Fernando. . II. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Fernanda Esperança Machanguna (in Memoriam) que em vida ensinou-me a correr atrás dos meus sonhos, viver com dignidade e humildade e iluminou meus caminhos com afeto e dedicação para que trilhasse a vida com sucesso.

Aos Meus sobrinhos Sidney e Bene, que este trabalho lhes sirva de inspiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus onipotente, que me deu força e saúde suficiente para que conseguisse caminhar e realizar meus sonhos;

Um agradecimento muito especial aos meus familiares pais pelo esforço empreendido em garantir a minha educação e pelo apoio imensurável concedido.

As minhas irmãs Francisca, Rute e Ilândia agradeço pelo amor, carinho, apoio e incentivo.

À Universidade Federal de Lavras e em especial ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade e apoio durante o período de realização dos trabalhos.

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia, Ensino superior e Técnico Profissional de Moçambique (MCTESTP), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Paulo Fernando Trugilho pela orientação, ensinamentos e por todos os esforços dedicados à execução deste trabalho.

A todo corpo docente do curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, por terem contribuído para a minha formação acadêmica.

A todos colegas do Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira pelo convívio e apoio.

A Universidade Lurio em especial a Faculdade de Ciências Agrárias pela oportunidade oferecida para formação.

Aos colegas do laboratório de Biomateriais: Maíra, Rodrigo, Taiana, Ana Flávia, Alanna, Kelly, Thomaz, Ana Carolina e Túlio pelo convívio diário, pelo suporte nas horas difíceis, pela ajuda e por alegrarem meus dias.

Aos meus amigos Leopoldina, Nasma, Merlindo, Márcio e Custódio pela amizade.

Um especial agradecimento para Yony, Matias, Mário, Denilson, Joel, Júlio, Lourenço, Quim, Stélio (In memoriam), João, Moisés e Tábua pelos sorrisos, companhia, apoio e amizade durante o tempo de estadia em Lavras.

A Tainara Martins pelo carinho e companherismo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação, vai o meu especial e profundo agradecimento.

Epígrafe

A adversidade desperta em nós capacidades que, em circunstâncias favoráveis, teriam ficado adormecidas.

Horácio

RESUMO

O ecossistema do Miombo é grande provedor de bens e serviços de consumo da população Moçambicana, por este ser o maior bioma florestal do país. No entanto, ainda não existem estudos detalhados relativos à madeira desse bioma, causando dificuldades na definição do uso de suas espécies. Diante da carência de estudos, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o potencial das espécies procedentes de plano de manejo florestal sustentado em floresta do Miombo visando o seu aproveitamento energético. Foram utilizadas cinco espécies nativas do Miombo, no norte de Moçambique, *Parinari curatellifolia*, *Brachystegia spiciformis*, *Jubernardia globiflora*, *Brachystegia boehmi* e *Uapaca kirkiana*, sendo amostradas cinco árvores por espécie. Foram retirados discos de 2,5 cm de espessura na base (0%), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial da árvore, definida até um diâmetro com casca de 4 cm. Foram realizadas análises para determinação da densidade básica, análise química estrutural e elementar, análise termogravimétrica e poder calorífico das madeiras. O material foi carbonizado e posteriormente foram realizadas análises químicas imediatas, poder calorífico, densidade relativa aparente e energética, determinada a eficiência de transformação e os rendimentos da carbonização. Todas as espécies apresentaram características que determinam qualidade e potencial para o uso energético. Dentre as espécies, a *Uapaca kirkiana* foi a que apresentou várias as características de qualidade para geração de energia, enquanto a *Parinari curatellifolia* apresentou várias características que são desfavoráveis a esta forma de utilização.

Palavras-chaves: Espécies nativas, Energia da biomassa, Miombo.

ABSTRACT

The miombo woodland is a major provider of riches and services for the Mozambican population, because it is the largest forest biome in the country. However, there are still no detailed studies regarding the wood of this biome, causing difficulties in the definition of the use. Faced de deficiencies of studies, the objective is to evaluating the potential of the species from a forest management plan supported by the Miombo forest, aiming at its energetic use. Five native species of Miombo, in the north of Mozambique were collected, *Parinari curatellifolia*, *Brachystegia spciformis*, *Jubernardia globiflora*, *Brachystegia boehmii* and *Uapaca kirkiana*, and five trees sampled per species. Discs of 2.5 cm, were obtained at the base (0%), 25%, 50%, 75% and 100% of the commercial height of the tree, defined to a minim diameter of 4 cm. Analyzes were carried out to determine basic density, structural and elemental chemical analysis, thermogravimetric analysis and wood calorific value. The material was charred, followed by immediate chemical analyzes, calorific value, apparent and energetic relative density, determined the transformation efficiency and carbonization yields. All species presented characteristics that determine the quality and potential for energy use. Among species, *Uapaca kirkiana* presented the quality for energy generation, while *Parinari curatellifolia* presented several properties that are unfavorable to this use.

Keywords: Native species, Biomass energy, Miombo woodland

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Balanço energético de Moçambique	17
Figura 2. Localização da área de estudo.....	22
Figura 3. Esquema da amostragem.....	23
Figura 4. Esquema do preparo da amostra composta.....	24
Figura 5. Classificação das espécies pelo índice de qualidade energética (IQE)	34
Figura 6. Perfil de degradação térmica das cinco espécies em ambiente não oxidativo	35
Figura 7. Primeira derivada da curva termogravimétrica (DTG)	36
Figura 8. Valores médios da densidade relativa aparente do carvão vegetal	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Relação das espécies coletadas	24
Tabela 2. Metodologia usada para análise da madeira	25
Tabela 3. Metodologia utilizada para análise do carvão vegetal.	26
Tabela 4. Valores médios para características de crescimento das espécies	28
Tabela 5. Densidade básica da madeira.	29
Tabela 6. Composição química estrutural da madeira.....	30
Tabela 7. Valores médios dos componentes elementares da madeira.	32
Tabela 8. Estimativa de massas seca, lignina e carbono da madeira.....	33
Tabela 9. Valores médios do poder calórico e densidade energética da madeira.	33
Tabela 10. Valores médio de perda de massa em função das faixas de temperatura e massa residual	37
Tabela 11. Valores médios dos rendimentos da carbonização.	38
Tabela 12. Valores médios da análise química imediata do carvão vegetal.....	41
Tabela 13. Valores médios do poder calorífico e densidade energética do carvão vegetal.	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVO	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2. Objetivos específicos	14
3.REVISÃO.....	15
3.1. Formações florestais em Moçambique	15
3.2.Manejo florestal Sustentado.....	15
3.3. Balanço Energético Nacional.....	16
3.4. Procura e oferta de combustíveis lenhosos no mundo	17
3.5. Fatores que afetam a oferta de combustíveis lenhosos	18
3.6. Fatores que afetam a procura dos combustíveis lenhos	19
3.7. Produção e comercialização de combustíveis lenhosos.....	20
3.8. Qualidade da madeira para fins energéticos	20
4.MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1. Origem do Material	22
4.2. Amostragem	23
4.3. Análise da madeira.....	24
4.4. Carbonizações e avaliação do carvão vegetal	26
4.5. Análise estatística.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1. Características de crescimento	28
5.2. Características da madeira	28
5.2.1. Densidade básica.....	28
5.2.2. Composição química.....	30
5.2.3. Estimativa de massa seca, de lignina e carbono.....	32
5.2.4. Poder calorífico e densidade energética da madeira	33
5.2.5. Índice de valor combustível da madeira	34
5.2.5. Análise Termogravimétrica (TGA) e derivada termogravimétrica (DTG).....	34
5.3 Caraterísticas do carvão vegetal.....	38
5.3.1 Rendimentos da carbonização.....	38

5.3.2. Densidade relativa aparente	39
5.3.3. Análise química imediata.....	40
5.3.4. Poder calorífico, densidade energética e eficiência de transformação.....	42
6. CONCLUSÃO.....	44
7. REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

A biomassa é fonte de energia renovável e vem sendo utilizada há séculos (ARNOLD et al., 2006). Aproximadamente 3 bilhões de pessoas usam a biomassa para cocção de alimentos e para produção de calor em residências no mundo (BELWARD et al., 2011) e nos países em vias de desenvolvimento a biomassa florestal constitui uma das principais fontes para a geração de energia (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2010; AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA, 2009). Segundo Owen e Sepp (2013) a biomassa contribui como fonte de rendimento para as famílias rurais que depende integralmente do comércio do carvão e agricultura para seu sustento.

O carvão vegetal produzido comercialmente em Moçambique provém de florestas naturais, o que causa diversos impactos negativos ao ambiente (AFONSO et al., 2015a). O uso desenfreado da biomassa para energia e madeira de forma não sustentável pode acelerar o processo de escassez desses recursos, que é potencializado pelo aumento crescente da população (NAMAALWA et al., 2007, GREEN et al., 2013).

De acordo com Marizol (2007), a principal cobertura vegetal usada pelas famílias em Moçambique para a produção de carvão vegetal na região centro-norte são as florestas de Miombo, que são florestas tropicais secas; já na região sul é a do tipo Mopane. A extração de madeira nas florestas de Miombo e outros tipos de vegetação florestal são essenciais para a subsistência dos moradores rurais sendo necessária para geração de renda, consumo de bens e serviços.

Segundo AFRICA RENEWABLE ACCESS PROGRAM (2011), para produção de carvão vegetal na África e particularmente em Moçambique são usados fornos de tecnologia tradicional de baixa eficiência de conversão, acarretando o consumo de elevadas quantidades de lenha para obtenção do carvão, ou seja, apresentando baixo rendimento do produto.

O conhecimento das propriedades da madeira é importante para a definição do seu uso. Desta forma, determinar as características relacionadas ao uso pretendido é fundamental. Análise da composição química molecular, elementar e imediata, associadas aos ensaios de poder calorífico, densidade básica, além dos fatores de produtividade volumétrica das espécies, constituem propriedades fundamentais para a caracterização do potencial energético da madeira (SANTANA, 2009).

Em Moçambique, estima-se que cerca de 80% da população (urbana e rural) recorre à energia proveniente de biomassa lenhosa como a principal fonte de energia (AFONSO et al., 2015a). Existem poucos estudos detalhados sobre a qualidade de biomassa e o poder energético das espécies do Miombo e seu uso indiscriminado pode contribuir com a sua escassez, em poucos anos. Portanto, existe a necessidade de se conhecer as propriedades energéticas das espécies comumente usadas para geração de energias no Miombo, pois estas têm grande influência no rendimento energético, além de contribuir para a sustentabilidade de tais recursos naturais.

O plano de manejo sustentado da floresta de Miombo no Norte de Moçambique visa a aplicação das técnicas de manejo florestal na busca por reduzir os impactos da exploração, perda da biodiversidade e garantir a sustentabilidade da produção florestal por meio do planejamento da colheita, conservação e monitoramento do crescimento da floresta.

Os resultados obtidos da pesquisa forneceram subsídios para melhoria da qualidade e aproveitamento energético de algumas espécies do Miombo, viabilizando a exploração racional, conservação da biodiversidade e valorização dos recursos energéticos naturais provenientes da maior formação florestal de Moçambique. Os materiais selecionados com base na sua qualidade serão base para introdução de florestas energéticas na região como forma de redução da pressão exercidas sobre as florestas naturais e manutenção da biodiversidade florestal.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial das espécies procedentes de plano de manejo florestal sustentado em floresta do Miombo visando o seu aproveitamento energético.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar energeticamente a madeira de espécies selecionadas com base em informação de plano de manejo sustentado da região do Miombo.
- Caracterizar quali-quantitativamente os produtos da carbonização da madeira em escala de laboratório.

3. REVISÃO

3.1. Formações florestais em Moçambique

Moçambique é considerado um dos países mais ricos da África em recursos florestais. De acordo com o último inventário nacional, cerca 65,3 milhões de hectares atualmente são cobertos por florestas e outras formações lenhosas (70% do país). Somente a área florestal cobre aproximadamente 40,6 milhões de hectares enquanto que as outras formações lenhosas (arbustos, matagais e florestas com agricultura itinerante) cobrem cerca de 14,7 milhões de hectares. O zoneamento nacional classifica as florestas em: florestas produtivas que são destinadas à produção madeireira, aproximadamente 27 milhões de hectares (67% a área florestal), e florestas não produtivas, ou seja, destinadas à conservação (parques nacionais, reservas nacionais e reservas florestais) ocupando 13 milhões de hectares (MARIZOLI, 2007).

As principais formações florestais em Moçambique são as florestas de Miombo, Mopane e Mangais. O Miombo é um tipo florestal que ocorre na região Austral da África (sul da linha do Equador), em países como Tanzânia, Zâmbia, Zaire, Malawi, Moçambique e Zimbabwe e é designado assim devido à dominância de espécies da família Fabaceae com destaque para os gêneros *Brachystegia*, *Julbernardia* e *Isoberlina* (CAMPBELL et al., 1996; FROST, 1996). É o tipo florestal mais extenso de Moçambique e cobre aproximadamente 2/3 do país, sendo rico em espécies florestais e cobrem majoritariamente as províncias do centro e norte de Moçambique (MARZOLI, 2007).

Mopane é um ecossistema florestal que ocorre na região sul de Moçambique, Zimbabwe, África do Sul e Botswana, onde predomina a espécie *Colophospermum mopane* (FERNANDES, 2014).

Mangais é um tipo florestal característico da zona litoral da costa tropical e subtropical e marcam uma transição entre a plataforma continental e a marítima; também são designados de florestas ou vegetação costeira, encontra-se no mangal uma diversidade de espécies como *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Ceriops tagal*, *Xilocarpus sp*, *Sonneratia alba* e *Avicennia sp.*, entre outras. (LAMPRECHT, 1990; RIBEIRO et al., 2002).

3.2. Manejo florestal Sustentado

A gestão florestal atual se preocupa não só com a produção de madeira de forma sustentada, mas também por garantir a sustentabilidade dos ecossistemas. A Lei nº 10/99, de 7

de Julho, Lei de Florestas e Fauna Bravia de Moçambique, estabelece os princípios e normas básicas sobre a proteção, conservação e utilização sustentável dos recursos florestais e faunísticos.

O manejo florestal é uma estratégia política, administrativa, gerencial e comercial, que utiliza princípios e técnicas florestais no processo de intervenção do ecossistema, visando a disponibilização de seus produtos e benefícios para usos múltiplos, de modo a garantir os pressupostos do desenvolvimento sustentável (UETELA, 2014). A finalidade do plano de manejo é garantir que as florestas forneçam continuamente os benefícios econômicos, sociais e ecológicos, mediante planejamento eficaz para garantir o aproveitamento dos recursos existentes na floresta.

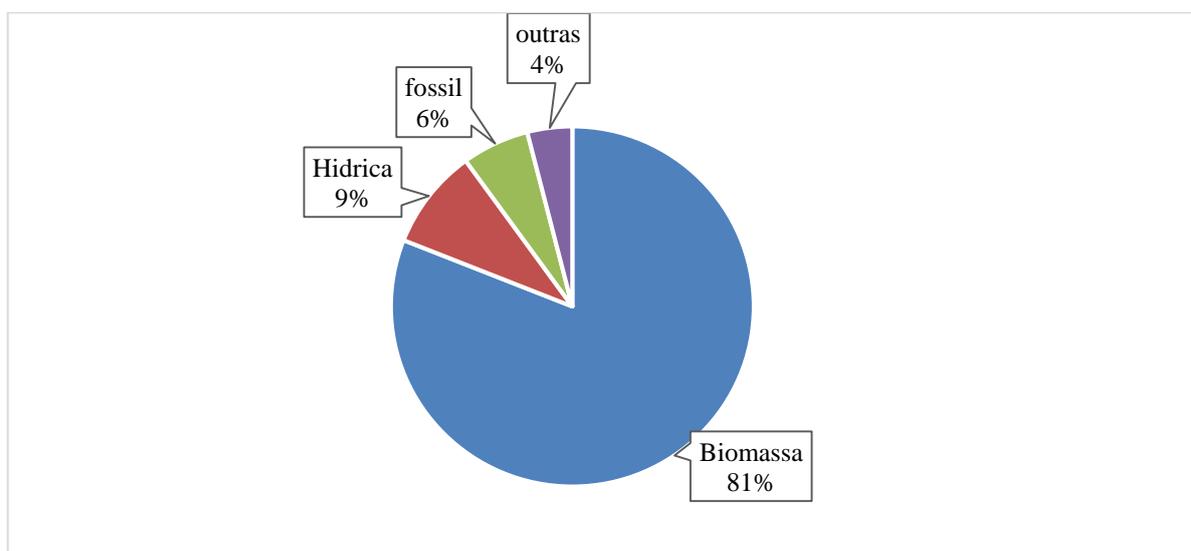
A complexidade das florestas naturais devido à heterogeneidade na composição de espécies, idades e tamanho dificultam no manejo destas florestas. A projeção da estrutura diamétrica no tempo é importante para o manejo e a economia das florestas nativas, pois possibilita estimar as produções e definir as intervenções no povoamento assegurando a sustentabilidade das florestas (SANQUETTA et al., 1996)

De acordo com Lei de Floresta e Fauna Bravia, a extração de madeira de florestas naturais para fins madeireiros e energéticos em Moçambique é realizada mediante plano de manejo que possa garantir o aproveitamento ajustado e adaptado às condições do povoamento florestal. O plano de manejo é baseado no inventário florestal com distribuição de classes diamétrica, estudo da regeneração e a colheita deve ser organizada por meio de um sistema de corte, que especificamente garante e promove a regeneração do recurso, fixando um sistema de cortas seletivas e diâmetro mínimo de corte por espécie.

3.3. Balanço Energético Nacional

De acordo com a INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2011), na África Subsaariana a utilização da biomassa como fonte de energia supera 40% da população com exceção da África do Sul e, segundo o MINISTÉRIO DA ENERGIA DE MOÇAMBIQUE-ME (2007), a biomassa representa mais de 80% do balanço energético de Moçambique, seguido da hídrica com 9%, fóssil 6% e outras fontes renováveis como a eólica e a solar com 4% (Figura 1).

Figura 1. Balanço energético de Moçambique



Fonte: MINISTÉRIO DA ENERGIA-ME (2007)

Moçambique é um dos maiores produtores de energia elétrica da região Austral da África, com geração média de energia de 2279 Megawatts, superada somente pela África do sul. Embora a energia gerada seja suficiente para as necessidades atuais do consumo interno e exportação, somente 20% da população tem acesso à energia elétrica (NHAMIRE e MOSCA, 2014).

Moçambique possui a mais elevada taxa de crescimento de procura de energia da região Austral da África, com média anual de 12%, devido ao surgimento de projetos da indústria extrativa de carvão mineral que demanda grande quantidade de energia e também pela rápida expansão da população urbana e eletrificação das zonas rurais após a independência no ano de 1975 (ME, 2013).

3.4. Procura e oferta de combustíveis lenhosos no mundo e em Moçambique

Em 2009 a produção mundial de carvão vegetal foi de aproximadamente 47 milhões de toneladas, e Moçambique contribui com 4%, produção está somente superada pelo Brasil, Nigéria e Etiópia com 11%, 8%, 8%, respectivamente (STEIERER, 2011). Em 2014 a produção mundial de carvão vegetal foi de aproximadamente 52 milhões de toneladas, a África representou 62 por cento da produção global de carvão vegetal, com aumento na produção de 30 milhões de toneladas em 2011 para 32 milhões toneladas em 2015 e Moçambique produziu cerca de 263 mil toneladas de carvão vegetal (FAO, 2017).

3.5. Fatores que afetam a oferta de combustíveis lenhosos em Moçambique

A oferta dos combustíveis lenhosos é influenciada pelo estágio atual do recurso, gestão e acessibilidade dos recursos florestais. A influência destes fatores pode ser abordada positiva ou negativamente, como descrito a seguir:

a) Estágio atual do recurso: Moçambique é um país rico em recursos florestais, segundo o último inventário nacional, a área do país é majoritariamente coberta por floresta (70%), cerca de 54,8 milhões de hectares, e outras formações lenhosas. O volume total estimado para as florestas e outras formações lenhosas é de 1,74 bilhões de metros cúbicos de madeira, com um volume estimado de 36,6 m³/ha (Marizol, 2007).

b) Acessibilidade ao recurso: o acesso aos combustíveis lenhosos não constitui fator limitante para a população principalmente nas zonas rurais, onde a comunidade tem direito por lei ao uso costumeiro dos recursos florestais para satisfazer às necessidades da energia doméstica (ME, 2013; Marizol, 2007). Contudo, nas zonas urbanas e peri-urbanas o acesso foi reduzido devido a elevados preços de mercado e acesso a outras fontes alternativas de energia (ME, 2013).

c) Gestão dos recursos: segundo o ME (2013), após a independência em 1975, foi iniciado, sem sucesso, o estabelecimento de plantações para fins energéticos nos maiores centros urbanos do país, com espécies de rápido crescimento do gênero *Eucalyptus* destacando-se os projetos FO-1 em Manica, FO-2 em Marracuene, FO-4 em Dondo e FO-5 em Nampula. Os projetos de reflorestamento fracassaram por não responderem aos anseios dos consumidores que consideravam o carvão vegetal do eucalipto de baixa qualidade quando comparado com o carvão vegetal das espécies nativas usadas tradicionalmente pela população. No entanto, devido à falta de recursos financeiros e humanos para realização de pesquisa, o desenvolvimento destas espécies de modo a cumprir as exigências do consumidor resultou no fracasso destes projetos de plantações florestais para fins energéticos.

3.6. Fatores que afetam a procura dos combustíveis lenhos em Moçambique

O crescimento populacional e econômico, inovações tecnológicas, opções de energia doméstica e políticas institucionais são fatores que afetam a procura de combustíveis lenhosos em Moçambique, que tem como base a seguinte abordagem:

a) Crescimento populacional: existe grande dependência dos combustíveis lenhosos, proveniente de florestas nativas. Tendo em conta o último censo populacional, estima-se que o país tenha 20,3 milhões de habitantes, deste modo, o consumo *per capita* de carvão vegetal é de 1,16 m³/ano quando comparado com 1,2m³/ano registrados em 1983 quando a população era de 13 milhões de habitantes (ME, 2013).

b) Crescimento econômico: O aumento dos rendimentos nas famílias, principalmente nas zonas urbanas, permite maior capacidade de compra para aquisição de outras fontes alternativas de energia de uso doméstico como o gás natural e energia elétrica, reduzindo, deste modo, a quantidade de combustíveis lenhosos consumidos (ME, 2013; FERNANDES, 2014).

c) Inovações tecnológicas: a maior parte do carvão vegetal consumido no país é produzido por meio de métodos tradicionais, caracterizados por rendimentos muito baixos, apesar da promoção de fornos melhorados (BROUWE; FALCÃO, 2004). Este fato impera a persistência na introdução da inovação tecnológica por via de um quadro estruturado de ações. Iniciativas de projetos de treinamentos e capacitação dos carvoeiros rurais têm sido implementadas por diferentes setores ligados a área da energia, o que responde a materialização da visão do setor de energia (ME, 2013; ATANASSOV et al., 2012).

d) Opções de energia doméstica: as principais opções energéticas de uso doméstico em Moçambique para cocção de alimentos são carvão vegetal e lenha, petróleo, gás de petróleo liquefeito (GPL), eletricidade, e outros. Importa salientar que a eletricidade e GPL são fontes energéticas disponíveis em centros urbanos e peri-urbanos, mas não são acessíveis a famílias de baixa renda. Por este motivo, grande parte da população destas zonas mantém o uso de carvão vegetal para a cocção e a eletricidade para a iluminação (ME, 2013).

e) Políticas institucionais: de acordo com ME (2013), é necessário a adoção de mecanismo de atuação e intervenção formal conjunto destes setores, quanto a regulamentação, licenciamento, planificação efetiva da sua produção e comercialização da energia da biomassa. No entanto, nota-se que o grau de intervenção destes setores na área de energia da biomassa tem sido bastante limitado, embora a importância já demonstrada dessa fonte de energia no contexto do país.

3.7. Produção e comercialização de combustíveis lenhosos

A exploração do recurso florestal madeira para fins industriais, comerciais e energéticos é feita sob regime de licenças simples concedidas aos produtores, com especificações de quantidade e prazos limitados na exploração das florestas produtivas de utilização múltipla, exercidas exclusivamente por operadores nacionais e pelas comunidades locais. Importa salientar que a exploração florestal exercida pelos membros das comunidades locais para o consumo próprio é feita de acordo com as normas e práticas costumeiras das respectivas comunidades, tendo sempre como limite a lei (ME, 2013, DECRETO n ° 12/2002).

A extração é estimulada pelo poder de compra da população urbana. Isto pode ser observado no crescimento do consumo de lenha e de carvão vegetal substituindo a eletricidade e gás como fonte alternativa de energia, além do aumento da utilização de produtos à base de madeira para a construção de casas (ATANASSOV *et al*, 2012). O processo de produção de carvão vegetal é trabalho intensivo e são realizados por pessoas do sexo masculino e em fornos tradicionais do tipo Meda. Segundo a FAO (2010), no forno tradicional de terra, amplamente utilizado na África Subsaariana, são necessárias 5 a 10 Megagramas de madeira para produzir um Megagrama de carvão vegetal, tendo, portanto, uma eficiência de conversão entre 10 e 20%.

A eficiência da produção de carvão em Moçambique, Malawi, Tanzânia e Zâmbia varia entre 10% a 25% (BROUWER; FALCÃO, 2004). De acordo com o trabalho realizado por Atanassov *et al.* (2012), nas cidades de Maputo e Matola em Moçambique, constataram que a implementação de tecnologias de fornos mais avançadas aumenta o rendimento até 32% em relação aos fornos tradicionais.

São principalmente homens provenientes das zonas urbanas que estabelecem os campos de produção nas florestas da comunidade e que transportam o carvão para os mercados urbanos em Maputo, onde vendem por 900 MZN (US\$30) 50 kg desse produto. Estes operadores externos pagam às comunidades até um máximo de 25.000 – 30.000 MZN (US\$800 – 1000) por um período de exploração de cinco anos, e exploram em média cerca de 360 hectares (BAUMERT *et al.*, 2016).

3.8. Qualidade da madeira para fins energéticos

A biomassa florestal se destaca como uma fonte de energia renovável na substituição parcial de combustíveis fósseis que são responsáveis por emissão de gases de efeito estufa, que vem causando as mudanças climáticas (ZULU *et al.*, 2013; PROTÁSIO *et al.*, 2013).

A madeira é um material heterogêneo do ponto de vista da sua constituição e estrutura, dessa forma existe a necessidade de selecionar genótipos superiores para atender a usos distintos com enfoque para energia (LIMA, 2007). A seleção de genótipos superiores garante alto rendimento energético no processo de conversão da biomassa (ROCKWOOD, 2008). Este rendimento depende amplamente de variáveis consideradas importantes na avaliação da qualidade da madeira para fins energéticos, sendo estes, a umidade, lignina, extrativos, holocelulose e cinzas, densidade básica, as estimativas de massa seca, massa de lignina e massa de carbono, o poder calorífico da madeira e a densidade energética (QUIRINO et al., 2005; TRUGILHO, 2009; SILVA, et al., 2012). Dentro desse ponto de vista, vários projetos de melhoramento de espécies florestais são necessários com objetivo de melhorar e otimizar a produção da madeira que atenda as necessidades energéticas (PROTÁSIO et al., 2014).

Afonso et al. (2015b), afirma que existem poucos estudos com vista ao conhecimento da qualidade e aplicação das madeiras de espécies nativas devido a sua versatilidade e complexidade dos seus componentes anatômicos, conjunto de características químicas, físicas e mecânicas, embora poderão ter grande contribuição para o uso energético.

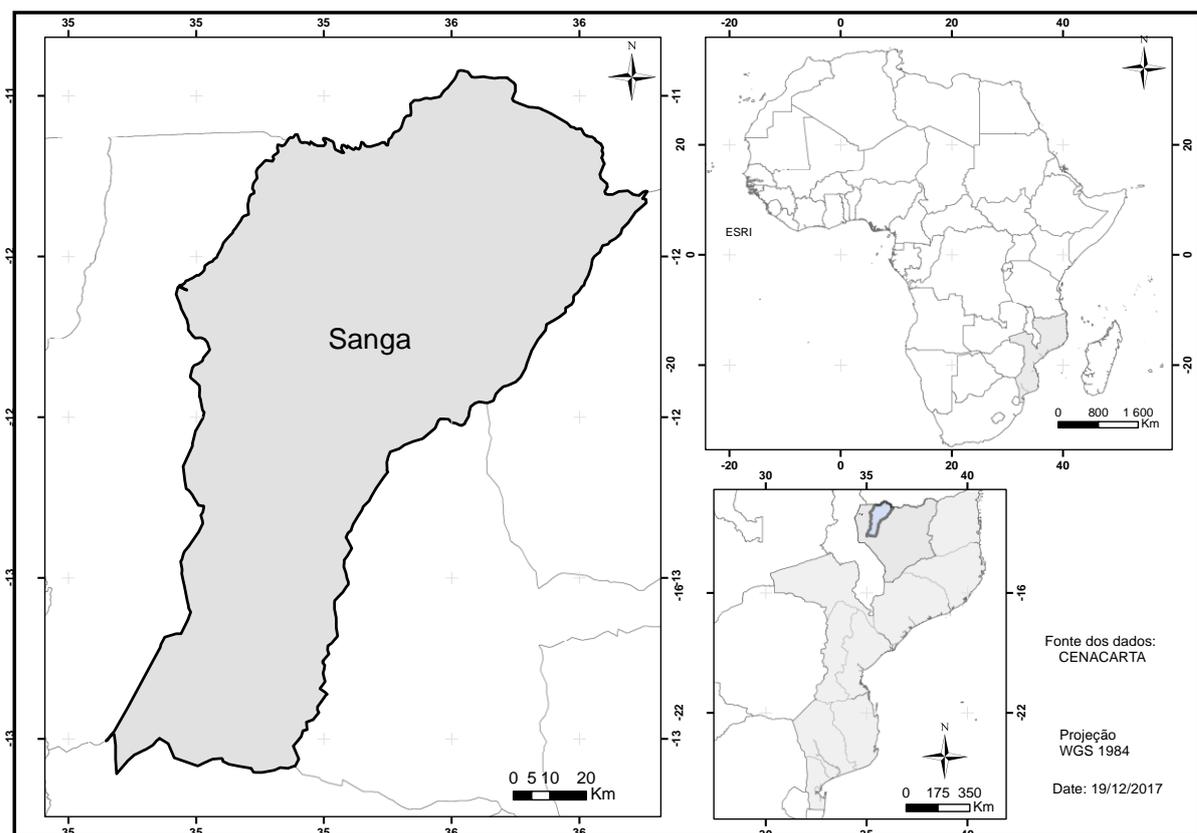
O plantio de espécies florestais destinadas à produção energética contribui para redução da emissão de gases de efeito estufa pela sua importância na captura de dióxido de carbono durante a fotossíntese, bem como na redução da emissão de gases através da substituição de combustíveis fósseis (NEVES et al., 2011). Para Barros et al. (2009), afirmam que espécies nativas são promissoras em plantios energéticos e devem ser potencializadas para o uso final como fonte energética.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Origem do Material

O material utilizado na pesquisa foi coletado no distrito de Sanga, província do Niassa, região norte de Moçambique, que de acordo com MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL-MAE (2005) está sob influência da Zona de Convergência Intertropical que origina duas estações bem definidas. A estação quente e chuvosa vai de dezembro a março, tendo abril como mês de transição, e a estação seca e fria de maio a outubro, com o mês de novembro como de transição. Os valores médios das temperaturas variam de 20 a 26 °C e a precipitação média anual encontra-se no intervalo entre 1000 e 2000 mm. A Figura 2 mostra a localização do local de coleta da madeira das espécies.

Figura 2. Localização da área de estudo



Fonte: Do Autor (2017)

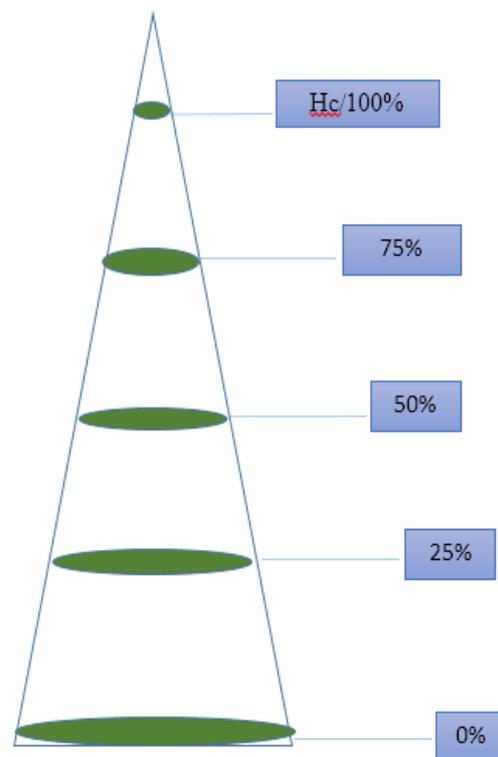
O material biológico foi coletado em área nativa do ecossistema do Miombo sob manejo florestal, localizada no distrito de Sanga, com as seguintes coordenadas de 12° 88' 21" S e 35° 43' 92" E, altitude de 1014 metros, que, de acordo com MAE (2005), predominam solos argilosos, vermelho, profundos e bem drenados com textura média a fina.

4.2. Amostragem

Neste estudo foram usadas cinco espécies nativas dominantes no ecossistema do Miombo (Tabela 1), estas espécies foram selecionadas devido ao seu elevado índice de importância na área de estudo, este índice informa a importância ecológica da espécie em termos de distribuição horizontal. Foram coletadas cinco árvores de cada espécie, dentro da mesma classe diamétrica de 10 a 15 cm.

As árvores foram cubadas para obtenção dos volumes individuais com e sem casca, utilizando a equação de Smalian. A amostragem no fuste das árvores foi por meio da retirada de discos de 2,5 cm de espessura nas seguintes posições longitudinais: 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial das árvores, considerada até um diâmetro de 4,0 cm, conforme a Figura 3.

Figura 3. Esquema da amostragem nas árvores selecionadas



Fonte: Do Autor (2017)

Tabela 1. Relação das espécies coletadas

Espécie	Nome comercial	Família
<i>Brachystegia boehmii</i>	Mafuti	Fabaceae
<i>Brachystegia spiciformis</i>	Messassa	Fabaceae
<i>Jubernardia globiflora</i>	Messassa encarnada	Fabaceae
<i>Parinari curatellifolia</i>	Ntupio	Crysobalalanaceae
<i>Uapaca kirkiana</i>	Metongoro	Phyllantaceae

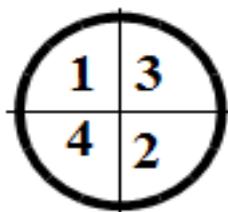
Fonte: Do Autor (2017)

Os discos foram encaminhados para o Laboratório de Biomateriais e Energia da Biomassa do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras para a determinação das características da madeira, carbonização e análise do carvão vegetal produzido. Os discos foram subdivididos em quatro cunhas passando pela medula (Figura 4), em que duas cunhas opostas foram destinadas a determinação da densidade básica e as outras duas para a retirada de amostra para as análises na madeira, além da carbonização em escala de laboratório.

Figura 4. Esquema do preparo da amostra composta

Densidade Básica = 1 e 2

Análise Química e
Carbonização = 3 e 4



Fonte: Do Autor (2017)

4.3. Análise da madeira

As análises química estrutural (extrativos, lignina, cinzas e holocelulose), química imediata e poder calorífico superior foram realizadas utilizando-se amostras compostas por todas as posições longitudinais de amostragem e na granulometria de 40/60 mesh, enquanto que na análise elementar CHNS a granulometria foi de 200/270 mesh, utilizando 2 mg de madeira.

Foram determinados três valores médios de densidade básica da madeira. O primeiro como sendo a média aritmética dos pontos longitudinais de amostragem, o segundo a densidade básica média ponderada considerando até a altura comercial da árvore e o terceiro a densidade básica média ponderada considerando até a altura total da árvore.

Para a classificação ou ranqueamento das espécies para uso energético determinou-se o índice de valor combustível da madeira, ou seja, índice qualidade energética dos combustíveis lenhosos (IQE) por ser considerado o índice mais representativo para definição de qualidade energética (LHATE, 2011)

Os parâmetros foram determinados com base nas normas e procedimentos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Normas e procedimentos usados para análise da madeira

Análise	Norma/Metodologia	Equação
Densidade básica	NBR 11941(ABNT, 2003)	
Estimativa de massa seca		$MS = DBm \times V_{sc}$
Teor de lignina	Gomide e Demuner (1986) e Goldschimid (1971)	
Massa da lignina		$ML = (MS \times TLT) / 100$
Poder calorífico superior	NBR 8633 (ABNT, 1984)	
Poder calorífico inferior		$PCI = PCS - (600 \times 9 \times H) / 100$
Densidade energética		$DE = PCS \times DBm$
Teor de cinzas	M11/77(ABTCP,1974)	
Extrativos	M 3/89 (ABTCP, 1974)	
Química elementar	Analizador elementar modelo vario Micro cube CHNS	$O = 100 - (C + H + N + S + TCZ)$
Massa de carbono		$MC = MS \times C / 100$
Holocelulose		$HOLO = 100 - (TET + TLT + TCZ)$
Índice Qualidade energética	Labrecque et al. 1997 modificada por Lhate, 2011	$IQE = (PCS \times DBm) / TCZ$

MS=Massa seca, DBm=Densidade básica, V_{sc}=volume sem casca, ML=massa de lignina, TLT=teor de lignina total, PCI=Poder calorífico superior, PCI=poder calorífico inferior, MC=Massa de carbono, DE=densidade energética, TET=Teor de extrativos total, TCZ=teor de cinzas, HOLO=Holocelulose, C=carbono, H=Hidrogenio, N=Nitrogenio, S=Enxofre, O=oxigênio

Fonte: Do Autor (2017)

Além das análises químicas, foram também realizadas análises térmicas na madeira, análise termogravimétrica (TG) e Derivada termogravimétrica (DTG). Foi utilizado o aparelho Shimadzu-DTG 60AH com 4 mg por amostra com granulometria menor que 200 mesh, submetidas a taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹, temperatura ambiente até a temperatura final de 600 °C, em atmosfera de nitrogênio com vazão de 50 mL.min⁻¹.

4.4. Carbonizações e avaliação do carvão vegetal

As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico (mufla) e para cada ensaio foram usados aproximadamente 500 g de madeira previamente seca em estufa, a 103 ± 2 °C. A temperatura inicial e final de carbonização foi de 100 °C e 450 °C respectivamente, taxa de aquecimento de 100 °C/h com tempo de residência de 30 minutos na temperatura máxima.

Após as carbonizações, foram avaliados os rendimentos em carvão vegetal, em líquido pirolenhoso condensado e, por diferença, em gases não condensáveis. No carvão produzido foram determinadas as seguintes características: densidade relativa aparente, de acordo com o método hidrostático, a análise química imediata, para determinação de materiais voláteis, cinzas e, por diferença, o carbono fixo, o poder calorífico superior e a eficiência da transformação com base nas normas e procedimentos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Normas e procedimentos utilizados para análise do carvão vegetal.

Análise	Norma	Equação
Densidade relativa aparente	NBR 9165 (ABNT, 1985)	
Rendimento Gravimétrico do Carvão		$RGC = (MCs/MMs)*100$
Rendimento em Líquido Pirolenhoso		$RLP = (MLP/MMS)*100$
Rendimento em gases não condensáveis		$RGN = 100 - (RGC + RLP)$
Análise química imediata	NBR 8633 (ABNT, 1984)	
Densidade energética		$DE = DRA \times PCS$
Eficiência da transformação		$ET = (PCSc * RGC) / PCSm$
Poder calorífico superior	NBR 8633 (ABNT, 1984)	

DRA=Densidade Relativa Aparente, RGC=Rendimento gravimétrico do carvão, RLP= Rendimento em Líquido Pirolenhoso, RGN=Rendimento em Gases não condensáveis, DE=Densidade Energética, PCSc e PCSm= Poder calorífico superior da madeira e carvão, Et=eficiência de transformação.

Fonte: Do Autor (2017)

4.5. Análise estatística

Para análise estatística foi utilizado delineamento inteiramente casualizado (DIC) com cinco tratamentos (espécies) e cinco repetições (árvores-amostra). A análise estatística foi

realizada no software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008), para a comparação múltipla foi utilizado o teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características de crescimento

A análise de variância para as características de crescimento das árvores mostrou que o efeito da espécie foi significativo para a altura total da árvore, em nível de 5% de probabilidade. A *Brachystegia boehmii*, *Uapaca kirkiana* e *Parinari curatellifolia* foram as espécies de maiores alturas, não diferindo entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Verificou-se que os coeficientes de variação experimental foram altos, especialmente para os volumes comercial e total sem casca, indicando que existe grande variabilidade nesse tipo de material genético para as características de crescimento da árvore. Os valores médios para o volume comercial (VC) e volume total (VT) sem casaca das árvores selecionadas encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios para características de crescimento das espécies

Espécie	DAP (cm)	HC (m)	HT (m)	VC (m ³)	VT (m ³)
<i>Brachystegia boehmii</i>	12,16	3,32	6,90 a	0,026	0,030
<i>Brachystegia spiciformis</i>	12,92	3,90	8,02 b	0,031	0,037
<i>Jubernardia globiflora</i>	11,19	2,54	6,32 a	0,012	0,015
<i>Parinari curatellifolia</i>	11,64	4,34	7,62 b	0,024	0,027
<i>Uapaca kirkiana</i>	13,81	4,61	7,92 b	0,039	0,044
Média geral	12,35	3,74	7,36	0,026	0,030
CVe (%)	13,66	29,98	12,56	52,930	48,21

DAP = diâmetro a altura do peito, HC e HT = altura comercial e total. CV = coeficiente de variação. VC e VT = volume comercial e total sem casca. CVe = coeficiente de variação experimental.

Fonte: Do Autor (2017)

Entre as espécies estudadas a *Uapaca kirkiana* apresentou maior valor médio observado de crescimento em diâmetro e volumes comercial e total sem casca, enquanto a *Jubernardia globiflora* apresentou menores valores de diâmetro, altura e volumes sem casca.

5.2. Características da madeira

5.2.1. Densidade básica

Na Tabela 5 encontram-se os valores médios de densidade básica da madeira das espécies avaliadas, bem como o teste de comparação múltipla realizado. Três densidades básicas foram calculadas por espécie: a densidade básica média da árvore (DBmA), densidade básica ponderada para a altura comercial (DBmPC) e a densidade básica ponderada para altura

total (DBmPT). A análise de variância mostrou que o efeito da espécie foi significativo a 5 % de probabilidade para todas as densidades básicas determinadas na madeira.

Tabela 5. Densidade básica da madeira.

Espécie	Densidade (g/cm ³)		
	DBmA	DBmPC	DBmPT
<i>Brachystegia boehmii</i>	0,591 b	0,594 b	0,592 b
<i>Brachystegia spiciformis</i>	0,569 a	0,570 a	0,568 a
<i>Jubernardia globiflora</i>	0,631 b	0,634 b	0,629 b
<i>Parinari curatellifolia</i>	0,524 a	0,523 a	0,523 a
<i>Uapaca kirkiana</i>	0,546 a	0,546 a	0,547 a
Média geral	0,572	0,573	0,572
CVe (%)	5,43	5,45	5,39

DBmA = DBmPC e DBmPT = densidade básica média aritmética, ponderada pelo volume até a altura comercial e até a altura total, respectivamente. Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. CVe = coeficiente de variação experimental.

Fonte: Do Autor (2017)

A densidade básica média aritmética das espécies avaliadas apresentou variação de 0,524 g/cm³ a 0,631 g/cm³, sendo as espécies *Jubernardia globiflora* e *Brachystegia boehmii* que apresentaram os maiores valores médios, diferindo estatisticamente das demais pelo teste de teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

Esta variação é devida ao fator genético, pois a densidade básica é uma característica da madeira que está sob forte controle genético, além da idade, que é desconhecida nas espécies do presente trabalho. Segundo Trugilho (1996), a variação da densidade básica é atribuída a diferentes condições ambientais de desenvolvimento das árvores, genética da espécie e a idade das árvores, além das interações.

Pode-se observar ainda na Tabela 5 que os valores de densidade básica, considerando as diferentes formas de determinação, não variou praticamente nada dentro das espécies, indicando que a média aritmética dos valores pontuais da amostragem longitudinal pode representar sem nenhum problema a média individual.

Segundo Burger e Richter (1991), a densidade básica da madeira pode variar de 0,13 a 1,4 g/cm³. De acordo Dulbecco & Luro (2001) as madeiras tropicais apresentam escala de valores de densidade com amplitude maior que a das zonas temperadas, por exemplo, 0,38 g/cm³ para *Triplochiton scleroxylon* até superior a 1,00 g/cm³ para *Diospyros* sp.

Diferentes estudos realizados com madeiras nativas de Moçambique encontraram variação da densidade básica em torno 0,50 a 1,11 g/cm³ (Ali et al., 2010; Cristóvão, 2010; Mate, 2016). Para a *Brachystegia spiciformis* o resultado médio da densidade básica encontrado por Fernandes (2014) foi de 0,60 g/cm³ e 0,58 g/cm³ para *Brachystegia boehmii*, estando muito próximo dos resultados obtidos neste trabalho que foi de 0,569 e 0,591 g/cm³, respectivamente, para essas espécies.

5.2.2. Composição química

A composição química molecular média da madeira das espécies está apresentada na Tabela 6. A análise de variância mostrou que o efeito de espécie foi significativo para os teores de lignina, extrativos, cinzas e holocelulose, a 5% de probabilidade. Os coeficiente de variação experimentais foram de baixa magnitude, exceto para o teor de extrativos e cinzas na madeira.

Tabela 6. Composição química estrutural da madeira

Espécie	Teor (%)			
	Lignina	Extrativo	Cinzas	Holocelulose
<i>Brachystegia boehmii</i>	25,95 a	5,54 b	2,09 a	66,43 b
<i>Brachystegia spiciformis</i>	24,84 a	5,70 b	1,85 a	67,61 b
<i>Jubernardia globiflora</i>	23,89 a	11,76 c	1,85 a	62,50 a
<i>Parinari curatellifolia</i>	29,57 b	3,21 a	2,55 b	64,64 a
<i>Uapaca kirkiana</i>	29,49 b	6,38 b	1,62 a	62,51 a
Média geral	26,75	6,52	1,99	64,74
CVe (%)	8,53	26,65	18,65	4,58

Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. CVe = coeficiente de variação experimental.

Fonte: Do Autor (2017)

Observa-se que a espécie *Parinari curatellifolia* e *Uapaca kirkiana* apresentaram maior teor de lignina quando comparadas com as demais, podendo ser consideradas como madeiras que apresentam alto teor de lignina. Segundo Klock et al. (2005), as espécies de folhosas que apresentaram valores acima ou próximos de 28% de lignina, podem ser consideradas de alto teor.

Os valores médios de lignina na madeira encontrados no presente trabalho estão dentro do intervalo observado por Cuvilas et al. (2014), que no seu experimento com 8 espécies nativas do Miombo, encontraram valores de lignina variando de 21,96% a 36,69%. Trugilho et al.

(1991), em seu trabalho sobre com espécies nativas da região tropical (Amazônia), observaram variação de 17,94% a 35,21% no conteúdo de lignina nas espécies estudadas.

De acordo com Browning (1981), as madeiras de dicotiledôneas provenientes das regiões tropicais apresentam teor de extrativos e cinzas maiores quando comparadas àquelas de zonas temperadas.

Pelos resultados de extrativos observa-se que a *Jubernardia globiflora* apresentou alto conteúdo de extrativos chegando a atingir média de 11,76%. A variação média no teor de extrativos foi de 3,21% a 11,76%, esta variabilidade encontra-se na faixa dos resultados obtidos por Ali et al. (2010); Cuvilas et al. (2014) nos seus estudos com espécies do Miombo, que obtiveram teor de extrativos variando de 2,26 a 11,58%.

Todas as espécies em estudo apresentaram valores de cinzas ou minerais superior a 1%, resultados similares foram encontrados por Mate (2016), estudando três espécies que ocorrem no ecossistema do Miombo, com variação de 0,8 a 3,1%, e Cuvilas et al. (2014), no seu estudo com espécies que ocorrem no mesmo bioma, encontraram valores de cinzas de 0,76 a 3,71 %.

Elevados teores de minerais na biomassa é indesejável para a utilização energética, pois os minerais reduzem o valor calórico, além de poderem provocar problemas de corrosão e desgaste nos equipamentos de queima.

As espécies apresentaram maior variabilidade no teor de extrativos e cinzas, verificando-se a tendência da madeira de *Parinari curatellifolia* ser a menos rica em extrativos e possuir maior teor de cinzas quando comparada às demais e a *Jubernardia globiflora* sendo a que possui maior teor de extrativos e menor teor de minerais.

De acordo com Browning (1981), os extrativos influenciam a produtividade energética das madeiras, por ocuparem parte dos espaços vazios existentes na parede celular que seriam normalmente ocupados pela água, elevando a sua densidade e ainda por estes elevarem o poder calorífico.

As espécies do gênero *Brachystegia* apresentam maior teor de holocelulose quando comparada com as demais espécies em estudo. Segundo Klock et al. (2005), a presença de altos teores de holocelulose na madeira são indesejáveis, quando se destina à produção de carvão vegetal, devido à sua maior instabilidade à degradação térmica.

A Tabela 7 apresenta os valores médios da composição química elementar da madeira das espécies avaliadas. Observou-se que o efeito de espécie foi não significativo para todas as

características e que os coeficientes de variação foram de baixa magnitude, exceto para o teor de nitrogênio e enxofre.

Tabela 7. Valores médios dos componentes elementares da madeira.

Espécie	Elementos (%)				
	C	H	N	S	O
<i>Brachystegia boehmii</i>	44,04	5,45	1,06	0,02	49,43
<i>Brachystegia spiciformis</i>	45,38	5,81	1,14	0,01	47,65
<i>Jubernardia globiflora</i>	47,10	5,85	1,11	0,21	45,72
<i>Parinari curatellifolia</i>	47,38	5,84	0,96	0,02	45,80
<i>Uapaca kirkiana</i>	46,40	5,50	0,88	0,03	47,20
Média geral	46,06	5,69	1,03	0,059	47,16
CVe (%)	5,32	6,07	23,08	235,33	5,90

C = Carbono, H = Hidrogênio, N = Nitrogênio S = Enxofre e O = Oxigênio. CVe = coeficiente de variação experimental.

Fonte: Do Autor (2017)

A análise elementar das espécies de madeira estudadas mostrou que os teores de carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) estão dentro do intervalo relatado para madeiras procedentes deste tipo de bioma avaliado, como foi relatado por Lhate (2011), com exceção do nitrogênio, em que os autores encontraram valores inferiores a 0,7%. Os resultados corroboram com o fato de que as madeiras de diferentes espécies não apresentem diferenças consideráveis na sua composição elementar (Klock et al., 2005), e também pode ser influenciado do ambiente de crescimento das espécies.

5.2.3. Estimativa de massa seca, de lignina e carbono

Na Tabela 8 estão apresentadas as estimativas médias de massa seca, massa de lignina e massa de carbono das espécies estudadas. Pela análise de variância verificou-se que o efeito de espécie foi significativo para a estimativa de massa seca e carbono. Observou-se também grande variação dos valores observados, em que o coeficiente de variação experimental foi maior que 50% nas três características de estimativa de massa.

A *Jubernardia globiflora* apresentou a menor produção de massa seca, massa de lignina e de carbono quando comparada com as demais espécies dentro da mesma classe diamétrica, enquanto que a *Uapaca kirkiana* obteve a maior massa seca, de lignina e de carbono dentre as espécies estudadas. Maior massa de lignina é desejável para a destinação da madeira como fonte de energia.

Tabela 8. Estimativa de massas seca, lignina e carbono da madeira

Espécie	Estimativa de Massa (kg)		
	Secas	Lignina	Carbono
<i>Brachystegia boehmii</i>	15,12 b	3,83	6,61 a
<i>Brachystegia spciformis</i>	17,75 b	4,25	8,08 a
<i>Jubernardia globiflora</i>	7,29 a	1,75	3,39 a
<i>Parinari curatellifolia</i>	12,01 a	3,63	5,71 a
<i>Uapaca kirkiana</i>	21,20 b	6,17	9,93 b
Média geral	14,67	3,93	6,74
CVe (%)	51,48	50,04	52,47

Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 10% de probabilidade. CVe = coeficiente de variação experimental.

Fonte: Do Autor (2017)

5.2.4. Poder calorífico e densidade energética da madeira

Na Tabela 9 encontram-se as médias do poder calorífico superior, poder calorífico inferior e densidade energética da madeira das cinco espécies avaliadas. Observou-se, pela análise de variância, que somente a densidade energética apresentou efeito significativo de espécie. Os coeficientes de variação foram baixos para todas as características avaliadas.

Tabela 9. Valores médios do poder calórico e densidade energética da madeira.

Espécie	PCS (kcal/kg)	PCI (kcal/kg)	DE (Gcal/m ³)
<i>Brachystegia boehmii</i>	4468	4173	2,64 b
<i>Brachystegia spciformis</i>	4404	4090	2,51 a
<i>Jubernardia globiflora</i>	4525	4209	2,85 b
<i>Parinari curatellifolia</i>	4525	4210	2,37 a
<i>Uapaca kirkiana</i>	4626	4330	2,52 a
Média geral	4511	4202	2,58
CVe (%)	2,8	2,85	6,48

PCS e PCI = poder calorífico superior e inferior, DE = densidade energética. Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade. CVe = coeficiente de variação experimental.

Fonte: Do Autor (2017)

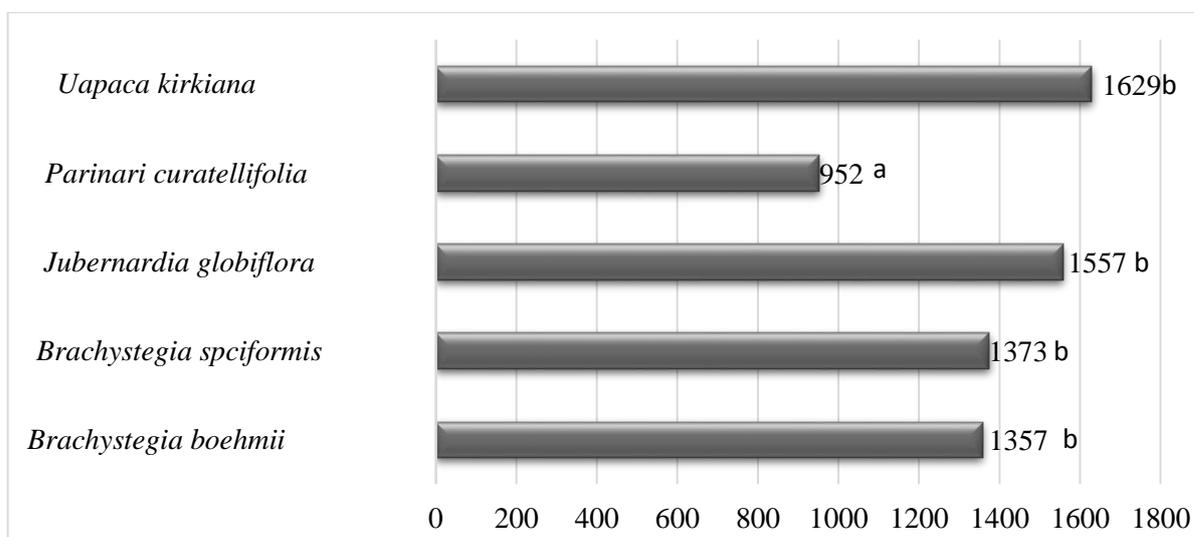
Os resultados encontrados para o poder calorífico superior são semelhantes aos valores relatados por Cuvilas (2014), que analisando espécies nativas de Moçambique, que encontrou poder calorífico superior variando de 4595 a 5044 kcal/kg.

As madeiras de *Jubernardia globiflora* e *Brachystegia boehmii* se destacaram pela alta densidade energética fornecendo maior quantidade de calor, por unidade de volume, diferindo significativamente das demais.

5.2.5. Índice de valor combustível da madeira

O índice de valor combustível da madeira é frequentemente usado para caracterizar a qualidade dos combustíveis lenhosos, com base em vários, parâmetros importantes que influem de forma positiva como o poder calorífico e a densidade e negativa como o teor de minerais. Com base no índice qualidade energética dos combustíveis lenhosos (IQE) foi realizada a classificação das espécies (Figura 5), verifica-se que a espécie mais recomendada, ou seja, de qualidade superior para uso energético na região do Miombo foi a *Uapaca kirkiana*, seguida da *Jubernardia globiflora*; como de qualidade intermediárias a *Brachystegia boehmii* e *Brachystegia spiciformis*; enquanto que a *Parinari curatellifolia* foi a menos recomendada.

Figura 5. Classificação das espécies pelo índice de qualidade energética (IQE)



Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do Autor (2017)

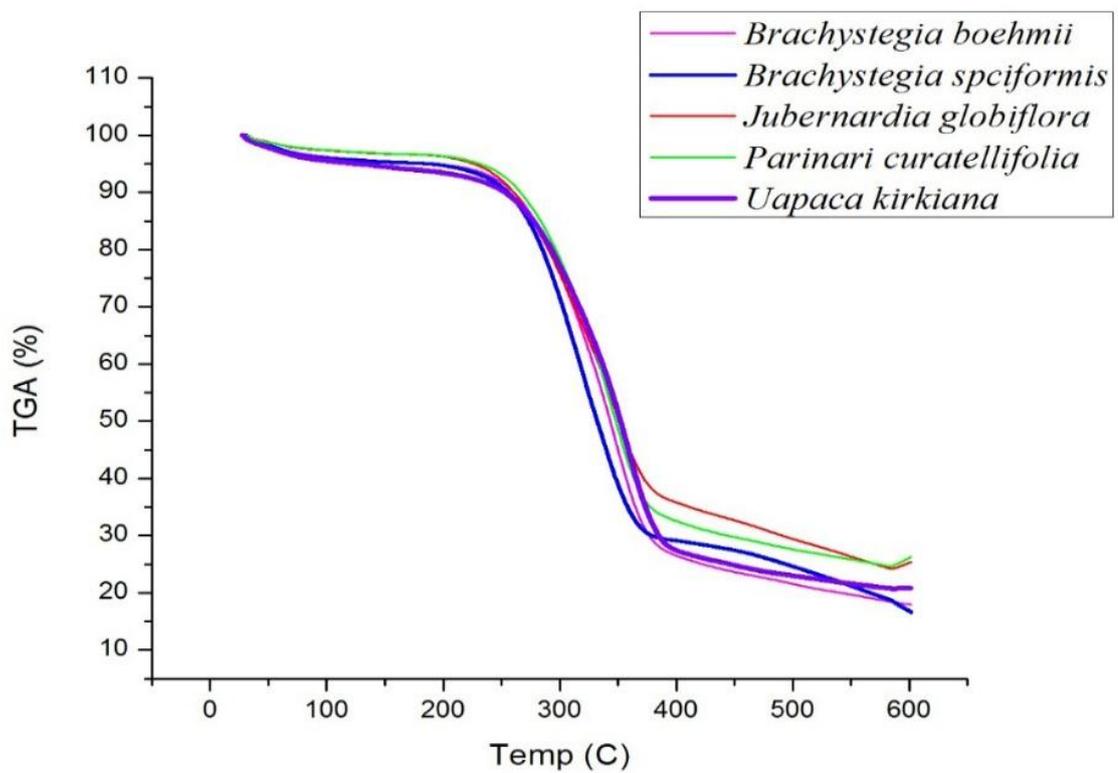
5.2.5. Análise Termogravimétrica (TGA) e derivada termogravimétrica (DTG)

Os três principais constituintes químicos da madeira (lignina, celulose e hemiceluloses) comportam-se de forma distinta com o aumento da temperatura. Na Figura 6 é possível notar a

diferença no perfil de degradação térmica das cinco espécies em estudo nas diferentes faixas de temperatura.

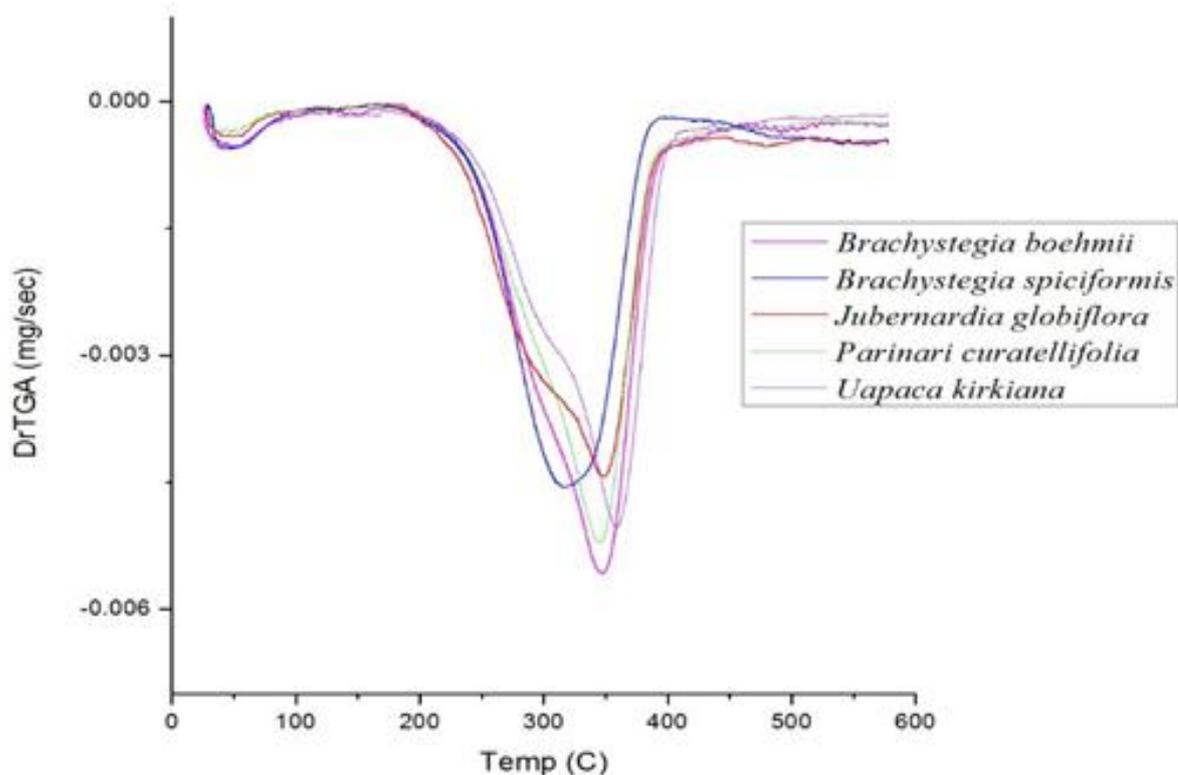
A primeira derivada das curvas termogravimétricas (DTG) mostra a variação da massa em relação ao tempo que são registradas em função da temperatura, possibilitando a identificação nítida dos picos máximos da velocidade de decomposição da biomassa e as temperaturas nas quais ocorrem as mais respectivas perdas de massa. Na Figura 7 são mostradas as curvas DTG das cinco espécies em estudo.

Figura 6. Perfil de degradação térmica das cinco espécies em ambiente não oxidativo



Fonte: Do Autor (2017)

Figura 7. Primeira derivada da curva termogravimétrica (DTG)



Fonte: Do Autor (2017)

A primeira etapa inicia-se da temperatura ambiente até 150°C, correspondendo a perda de água na biomassa acompanhado pela perda de gases leves como o monóxido e dióxido de carbono. A segunda etapa de degradação térmica ocorre de 150°C até aproximadamente 350°C. Nesta fase é atribuída a intensa decomposição das hemiceluloses e início da degradação da celulose. A menor estabilidade térmica das hemiceluloses deve-se sua fração mais reativa se degradar em baixas temperaturas, pelo fato de reagirem completamente durante o período de pré-aquecimento, uma vez que se trata de componentes amorfos, ramificados, facilmente hidrolisáveis (ÓRFÃO et al, 1999; YANG et al., 2006),

A maior perda de massa é observada na terceira fase, que ocorre de 300°C a 400°C. Este perfil deve-se ao início da decomposição da lignina, sendo a decomposição da celulose o processo predominante nessa etapa. De acordo com Yang et al. (2006), a celulose é um polímero muito longo de unidades de glicose que apresentam regiões amorfas e cristalinas, o que lhe confere maior estabilidade térmica comparada as hemiceluloses.

Na quarta etapa a perda de massa começa a reduzir devido a estabilidade térmica conferida a madeira pela lignina que, embora inicie mais cedo, resiste até altas temperaturas. Em temperaturas acima de 600°C, perdas de massa da lignina são inferiores a das hemiceluloses e celulose, tornando este componente da biomassa responsável pela maior parte da produção de carvão vegetal (ÓRFÃO et al., 1999).

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados médios de perda de massa obtidos na análise termogravimétrica das cinco espécies em estudo, em intervalos diferentes temperatura, de temperatura. A análise de variância mostrou que na faixa de 450°C a 600°C e a massa residual, o efeito de espécie foi não significativo, indicando similaridade entre as espécies nas perdas de massas nessas duas condições. As maiores perdas de massa ocorreram entre 150°C a 600°C, com uma perda de massa de superior a 60%. Os coeficientes de variação experimentais foram de baixa magnitude somente nas faixas de temperatura de 150°C a 300°C e 300°C a 400°C.

Tabela 10. Valores médios de perda de massa em função das faixas de temperatura e massa residual

Espécie	Temperatura °C				Massa Residual (%)
	Até 150	150-300	300-450	450-600	
<i>Brachystegia boehmii</i>	4,30 b	19,53 a	48,90 b	6,64	20,63
<i>Brachystegia spiciformis</i>	3,48 a	22,31 b	47,32 a	7,64	19,24
<i>Jubernardia globiflora</i>	2,99 a	18,94 a	44,65 a	8,00	25,42
<i>Parinari curatellifolia</i>	3,41 a	17,93 a	51,86 b	5,79	21,00
<i>Uapaca kirkiana</i>	4,60 b	17,37 a	51,14 b	6,95	19,94
Média geral	3,76	19,21	48,77	7,00	21,24
CVe (%)	21,86	7,30	5,80	39,74	17,52

Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade. CVe = coeficiente de variação experimental.

Fonte: Do Autor (2017)

A *Uapaca kirkiana* e *Jubernardia globiflora* apresentam maior perda de massa na primeira faixa de temperatura (até 150°C), resultado que pode ser atribuído à maior umidade da madeira dessas espécies quando comparadas com as demais.

A espécie *Brachystegia spiciformis* apresentou o maior valor médio de perda de massa na faixa 150°C a 300°C, diferindo estatisticamente das demais espécies, pelo teste de comparação múltipla de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade. Este comportamento pode estar

relacionado a presença de extrativos e hemiceluloses em maior quantidade na madeira desta espécie.

Entre 300°C e 450°C, as espécies *Parinari curatellifolia* e *Uapaca kirkiana* apresentaram maiores perdas de massa, embora tenham apresentado os maiores teores de lignina na madeira. Este fato pode estar associado à qualidade da lignina, expressada pela relação siringil/guaiacil, além da força das ligações dentro da macromolécula.

Apesar da variabilidade encontrada no teor de lignina das cinco espécies, estas não se diferem em termos de perda de massa nas temperaturas superiores a 450°C e na massa residual. Este fato pode ser atribuído ao elevado teor de minerais, qualidade da lignina e a força das ligações dentro da macromolécula, que conferiu estabilidade térmica semelhante entre as espécies estudadas.

5.3 Características do carvão vegetal

5.3.1 Rendimentos da carbonização

Os resultados médios dos rendimentos gravimétricos da carbonização encontram-se na Tabela 11. Pela análise de variância, verificou-se que somente o rendimento gravimétrico em líquido pirolenhoso apresentou efeito não significativo de espécie. Os coeficientes de variação experimentais foram baixos, exceto para o rendimento em gás não condensável.

Tabela 11. Valores médios dos rendimentos da carbonização.

Espécie	Rendimento gravimétrico (%)		
	RGC	RLP	RGNC
<i>Brachystegia boehmii</i>	34,85 a	46,22	18,94 b
<i>Brachystegia spiciformis</i>	34,95 a	45,23	19,82 b
<i>Jubernardia globiflora</i>	38,48 b	44,81	16,71 a
<i>Parinari curatellifolia</i>	38,79 b	43,12	18,09 b
<i>Uapaca kirkiana</i>	37,96 b	47,07	14,97 a
Média geral	37,0	45,29	19,7
CV (%)	3,21	4,27	12,49

RGC, RLP e RGNC = rendimento gravimétrico em carvão, líquido pirolenhoso e gases não condensáveis, respectivamente. Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação experimental.

Fonte: Do Autor (2017)

As espécies *Jubernardia globiflora*, *Parinari curatellifolia* e *Uapaca kirkiana* apresentaram os maiores valores médios de rendimento gravimétrico do carvão vegetal, não

diferindo entre si pelo teste de comparação múltipla de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade. Entretanto, para o rendimento em gases não condensáveis as espécies *Brachystegia boehmii*, *Brachystegia spiciformis*, e *Parinari curatellifolia* foram as de maiores valores médios, não diferindo entre si pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade.

As espécies do gênero *Brachystegia* apresentaram baixo rendimento gravimétrico do carvão vegetal, fato esse que pode ser justificado pelo seu baixo teor de lignina. A lignina é considerada o constituinte mais importante para a produção de carvão, pois tem implicações diretas no rendimento gravimétrico e teor de carbono fixo (BRITO E BARRICHELO, 1982). *Jubernardia globiflora*, apesar de possuir o mais baixo teor de lignina na madeira apresentou elevado rendimento gravimétrico em carvão vegetal. Este fato pode estar associado a qualidade da lignina, expressada pela relação siringil/guacil, pelo elevado teor de extrativos, bem como a menor perda de massa observada pela análise termogravimétrica entre 300 e 450 °C nessa madeira, e, também, pode ser atribuído a sua elevada densidade básica.

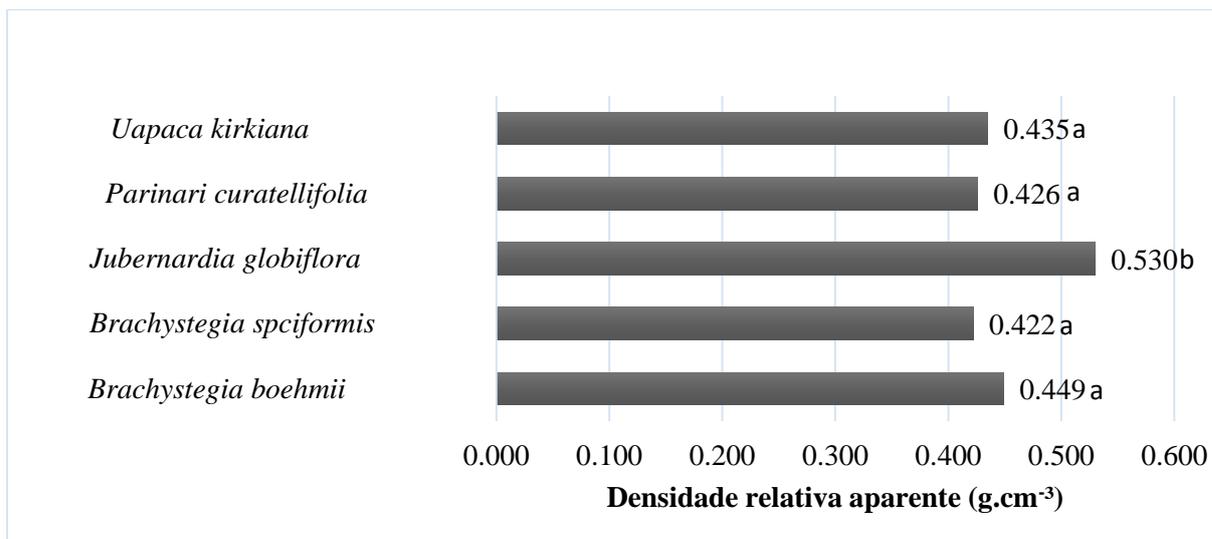
No geral as espécies apresentaram altos rendimentos gravimétricos de carvão vegetal, sendo esses resultados superiores aos valores encontrados por Costa et al. (2014), no seu estudo sobre o potencial de espécies tropicais destinadas para uso energético, onde encontraram rendimentos em carvão variando de 30,88 a 33,08%.

5.3.2. Densidade relativa aparente

A Figura 8 mostra os valores médios da densidade relativa aparente do carvão e o teste de comparação múltipla realizado.

A densidade relativa aparente do carvão é um índice importante na determinação da sua qualidade. No presente estudo observou-se que existe efeito significativo de espécie para a densidade relativa aparente, em que a *Jubernardia globiflora* destacou-se das demais com densidade relativa aparente média maior e diferindo significativamente das demais pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade. Os resultados obtidos no presente estudo são superiores aos resultados encontrados por Fernandes (2014), que encontrou densidade relativa aparente do carvão vegetal de 0,34 e 0,35 g.cm⁻³ para *Brachystegia boehmii* e *Brachystegia spiciformis*, respectivamente.

Figura 8. Valores médios da densidade relativa aparente do carvão vegetal



Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do Autor (2017)

Madeira com maior densidade produz carvão com densidade aparente maior, fato este observado na *J. gobiflora*. Essa característica confere ao carvão maior resistência e maior capacidade calorífica por volume, por exemplo, dentro de um reator a gasogênio, alto forno siderúrgico ou fornalha de caldeira.

5.3.3. Análise química imediata

A composição química do carvão vegetal é representada pelos teores de materiais voláteis, teor de minerais ou cinzas e pelo carbono fixo. O resultado médio da análise química imediata dos carvões e o resultado do teste de comparação múltipla encontram-se na Tabela 12. Pela análise de variância, verificou-se que somente o teor de carbono fixo apresentou efeito não significativo de espécie. Os coeficientes de variação experimentais foram baixos, exceto para o teor de minerais (cinzas).

Tabela 12. Valores médios da análise química imediata do carvão vegetal.

Espécie	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)
<i>Brachystegia boehmii</i>	22,65 b	4,25 a	73,10
<i>Brachystegia spiciformis</i>	21,69 a	4,41 a	73,90
<i>Jubernardia globiflora</i>	22,99 b	4,89 a	72,12
<i>Parinari curatellifolia</i>	21,52 a	6,81 b	71,67
<i>Uapaca kirkiana</i>	23,12 b	3,69 a	73,19
Média geral	22,40	4,81	73,00
CV (%)	4,44	19,57	2,11

TMV, TCZ e TCF = teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, respectivamente. Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação experimental.

Fonte: Do Autor (2017)

A variação foi baixa no teor de materiais voláteis e carbono fixo para as espécies estudadas. Os teores de materiais voláteis e de cinzas estão dentro do intervalo de valores encontrados por Afonso et al. (2015a), no seu estudo com nove espécies nativas de Moçambique.

Os matérias voláteis influenciam fortemente a decomposição térmica e o comportamento de combustão dos combustíveis sólidos. De acordo com Cuvilas et al (2014), a combustão do material volátil é mais rápida do que o carvão sólido; portanto, espécies com quantidade menor de substâncias voláteis terão degradação térmica mais lentas em relação a aquelas com maior quantidade.

O teor de cinzas é a fração que permanece como resíduo após a combustão do carvão vegetal. Ele varia, dependendo da espécie, da quantidade de casca e pode ser elevado pela contaminação pela presença de terra e areia na madeira. Um bom carvão vegetal deve ter um conteúdo de cinzas inferior a 3% (FAO, 1983). Dentro desse conceito todas as espécies avaliadas seriam consideradas como matérias primas indesejáveis a produção de carvão, especialmente a *P. curatellifolia* devido ao maior conteúdo de minerais apresentado.

Fernandes (2014) no seu estudo com espécies nativas e exóticas de Moçambique também não encontrou diferenças significativas de espécies no teor de carbono fixo (TCF), teores esses que variaram de 63,70 a 69,83%. Afonso et al. (2014), trabalhando com espécies que ocorrem no ecossistema do Miombo, encontraram valores de 70,9 a 79,2% de TCF. As espécies tropicais se destacam por apresentar alto teor de carbono fixo chegando a atingir mais de 80% (COSTA et al., 2014). Segundo Miranda (1989) e Rancatti (2012), o teor de carbono fixo do carvão vegetal aumenta com o aumento da temperatura final de carbonização.

A porcentagem de carbono fixo refere-se à fração de carvão que queima no estado sólido e os combustíveis lenhosos com teores mais elevados de carbono fixo são preferíveis porque queimam mais lentamente tendo uma relação inversa com os voláteis, implicando em maior tempo de residência dentro dos aparelhos de queima quando comparados os com menor teor de carbono fixo (FAO, 1983; BRITO e BARRICHELLO, 1982).

5.3.4. Poder calorífico, densidade energética e eficiência de transformação

Os resultados médios do poder calorífico, densidade energética e eficiência da transformação da madeira em carvão vegetal das espécies em estudo estão na Tabela 13. Pela análise de variância, verificou-se que somente o poder calorífico superior apresentou efeito não significativo de espécie e que os coeficientes de variação experimentais foram de baixa magnitude.

Fernandes (2014) encontrou poder calorífico do carvão de 6592 cal/g para *Brachystegia spiciformis* e 6341 cal/g para *Brachystegia boehmii*, valores estes inferiores aos encontrados no presente estudo. No geral, as espécies estão do intervalo de valores de PCS encontrados por Afonso et al. (2015a), que encontraram, no seu trabalho com carvão de nove espécies nativas de Moçambique, valores variando entre 5231 a 7356 cal/g.

Tabela 13. Valores médios do poder calorífico e densidade energética do carvão vegetal.

Espécie	PCS(Kcal/kg)	DE(Gcal/m ³)	ET (%)
<i>Brachystegia boehmii</i>	7170	3,22 a	56 a
<i>Brachystegia spiciformis</i>	7118	3,00 a	57 a
<i>Jubernardia globiflora</i>	7035	3,73 b	60 b
<i>Parinari curatellifolia</i>	7020	2,99 a	60 b
<i>Uapaca kirkiana</i>	7285	3,17 a	60 b
Média geral	7126	3,22	58,45
CV (%)	2,01	8,12	3,53

PCS = poder calorífico superior, DE = densidade energética, ET = eficiência da transformação. Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação experimental.

Fonte: Do Autor (2017)

A espécie da *J. globiflora* apresentou o maior valor médio de densidade energética do carvão vegetal, diferindo estatisticamente das demais. Este resultado está associado a elevada densidade relativa aparente do seu carvão vegetal.

A eficiência de transformação está relacionada com rendimento em massa e com o poder calorífico superior do carvão e da madeira. Analisando o efeito da espécie em relação à eficiência de transformação observa-se que a *Jubernardia globiflora*, *Parinari curatellifolia*, *Uapaca kirkiana* apresentam alta eficiência em relação às espécies do gênero *Brachystegia*. Rancatti (2012), no seu estudo com espécies tropicais, encontrou resultados variando de 43,15 a 62,22% para a eficiência de transformação.

6. CONCLUSÃO

Em geral, todas as espécies apresentaram características que determinam a qualidade e potencial para o uso energético e os resultados encontram-se em intervalos considerados normais para espécies tropicais.

Dentre as espécies, a *Uapaca kirkiana* foi a que apresentou as características de melhor qualidade para produção do carvão vegetal, sendo a espécie com maior potencial para geração de energia.

A espécie *Jubernardia globiflora*, apesar do seu baixo teor de lignina e produção de matéria seca, possui várias características que favorecem a sua utilização para geração de energia, dentre elas destacam-se a alta densidade energética da madeira e carvão, alto teor de extrativos, baixo teor de holocelulose e cinzas na madeira, alto rendimento gravimétrico do carvão e em líquido pirolenhoso e alto teor de carbono fixo.

Apesar do alto rendimento gravimétrico, a *Parinari curatellifolia* apresentou várias características que são desfavoráveis à produção de carvão vegetal, por exemplo, a baixa densidade, poder calorífico, carbono fixo e alto teor de cinzas.

As espécies do gênero *Brachystegia* destacaram-se em várias características de qualidade para geração de energia apesar do seu baixo rendimento gravimétrico em carvão.

A espécie mais recomendada para uso em plantios energéticos foi *U. kirkiana* devido ao seu alto índice de qualidade energética e massa seca e a menos recomendada foi a *P. curatellifolia*.

7. REFERÊNCIAS

- AFONSO, C. M. *et al* Mozambique's charcoals—energetic properties of nine native species. **European Journal of Wood and Wood Products**, 73(1), 131-133. 2015a.
- AFONSO, C. M. *et al* Carbones de Mozambique: anatomía de nueve especies nativas. **Bosque (Valdivia)**, 36(1), 105-112. 2015b.
- AFRICA RENEWABLE ACCESS PROGRAM. **Wood-Based biomass energy development for Sub-Saharan África – Issues and approaches**. The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank Group, (Washington) USA. 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Parte 2. Capítulo 4. 2009. 199p.
- ALI, A., CHIRKOVA, J., TERZIEV, N., ELOWSON T. Physical Properties of two tropical species from Mozambique. **Wood Material Science and Engineering**, 2010
- ARNOLD, J. M., KÖHLIN, G., & PERSSON, R. Woodfuels, livelihoods, and policy interventions: changing perspectives. **World development**, 34(3), 596-611. 2006
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13999: **Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira – Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C**. Rio de Janeiro; 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 14853: **Madeira – Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano**. Rio de Janeiro; 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112: **carvão vegetal: análise imediata**. Rio de Janeiro, 1986. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. Normas técnicas NBR 11941. **Madeira- Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003, 6p.
- ATANASSOV, B., EGAS, A., FALCÃO, M., FERNANDES, A., & MAHUMANE, G. **Mozambique urban biomass energy analysis 2012**. Ministério da Energia. Maputo. 2012. 54 p.
- BARROS, S. V. D. S. *et al* Avaliação do potencial energético das espécies florestais *Acacia auriculiformis* e *Ormosia paraensis* cultivadas no município de Iranduba/Amazonas, Brasil. **Madera y bosques**, 15(2), 59-69. 2009

- BAUMERT, S.; MATEDIANE, M.; NHANTUMBO, I.; RIBEIRO, N.; VOLLMER, F. & ZORRILLA-MIRAS, P. Cadeias de fornecimento de carvão vegetal de Mabalane para Maputo: quem beneficia?, **Briefing**, 2016.
- BELWARD, A., *et al* Renewable energies in Africa – Current knowledge. Edited by F. Monforti, European Commission – Joint Research Centre (JRC), **Luxembourg Publications Office of the European Union**. 2007.
- BRITTO, J.O. & BARRICHELO, L.E.S. **Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis**. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, São Paulo 1982.
- BROUWER, R. & FALCÃO, M. P. Wood fuel consumption in Maputo, Mozambique. **Biomass and Bioenergy**, 2004, 27.3: 233-245.
- BROWNING, B.L. **The chemistry of wood**. New York: J. Wiley & Sons, 1981. 689p.
- BURGER, L., RICHTER, H. **Anatomia da madeira**. Livraria Nobel S.A. São Paulo, Brasil, 1991. 154 pp.
- CAMPBELL, B. **The Miombo in Transition**. Woodlands and Welfare in Africa. CIFOR. Bogor, Indonesia. 266 p. 1996.
- COSTA, T. G, et al. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal, **Revista Cerne**, 2014
- CRISTOVÃO, L., LHATE, I., GRÖNLUND, A., EKEVAD, M., SITEO, R. **Tool wear for lesser known tropical species**. Skellefteå, Sweden. 2010
- CUVILAS, C., LHATE, I., Jirjis, R., TERZIEV, N. The Characterization of Wood Species from Mozambique as a Fuel. **Energy Sources**, Vol. 36 , Iss. 8, 2014
- DULBECCO, P. & LURO, D. - **L'Essentiel sur le bois**. CTBA 184pp. 2001
- FERNANDES, A. M. **Análise da produção de madeira para o fornecimento sustentável de energia doméstica aos centros urbanos de Moçambique**. Tese de Doutorado, UFPR, Curitiba, 2014.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, jul./dez. 2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (Roma). **Global forest resources assessment 2010 – Main report**. FAO Forestry Paper. 2010

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO], **Métodos simples para fabricar carbón vegetal**. Roma, Itália, 1983. 154p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO]. FAOSTAT-Forestry database. Roma. 2017 <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>, acessado 6 de Novembro 2017.

FROST, P. **The Ecology of Miombo Woodlands**. IN: Campbell (ed). **The Miombo in transition Woodland and Welfare in Africa**. Pp 19-39. 1996

GOLDSCHIMID, O. **Ultraviolet spectra**. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. Lignins: occurrence, formation, structure and reactions. New York: John Wiley & Sons, 1971. p.241-298.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, v. 47, n. 8, p. 36–38. 1986.

GREEN, J. M., *et al.* Deforestation in an African biodiversity hotspot: Extent, variation and the effectiveness of protected areas. **Biological Conservation**, 164, 62-72. 2013

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global energy. Disponível em: <http://www.iea.org/stats> e acessado . 2012.

IZABEL, R. et al. Análise termogravimétrica da pirólise da acácia-negra (*Acaciamearnsiide* Wild.) cultivada no Rio Grande Do Sul, BRASIL. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.3, p.533-543, 2008.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 2005.

LAMPRECHT, H. *Silvicultura nos Trópicos*. Cooperação Técnica-RFA. 1990.

LHATE, I. **Chemical Composition and Machinability of Selected Wood Species from Mozambique**. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2011.

LIMA, C. K. P. *et al* Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, 13(2), 123-129. 2009

MARZOLI, A. **Inventário florestal nacional: avaliação integrada da floresta em Moçambique (AIFM)**. Direção Nacional de Terras e Florestas; Departamento de Inventário de Recursos Naturais: Maputo, 2007.

- MATE, R. **Potentials and Wood Fuel Quality of Logging Residues from Indigenous and Planted Forests in Mozambique**. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Upsala, 2016.
- MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL (MAE). **Perfil do Distrito de Sanga**. Ministério da Administração Estatal, Maputo. 2005.
- MINISTÉRIO DA ENERGIA (Moçambique), **Estratégia de conservação e uso sustentável da energia da biomassa**, Maputo, 2013.
- MINISTÉRIO DA ENERGIA (Moçambique). **Energy statistics**. 2007
- MIRANDA, G. **Potencial Energético de Três Espécies Florestais da Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Do Paraná, Curitiba.1989.
- NAMAALWA, J., SANKHAYAN, P. L., & HOFSTAD, O. A dynamic bio-economic model for analyzing deforestation and degradation: An application to woodlands in Uganda. **Forest Policy and Economics**, 9(5), 479-495. 2007.
- NEVES, T. A. *et al* Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, 31(68), 319-330. 2011
- NHAMIRE, B., MOSCA, J. **Electricidade de Moçambique: mau serviço, não transparente e politizada**, Centro de Integridade, Maputo, 2014.
- ÓRFÃO, J. J. M.; ANTUNES, F. J. A.; FIGUEIREDO, J. L. Pyrolysis kinetics of lignocellulosic materials: three independent reactions model. **Fuel**, London, v. 78,
- OWEN, M., VAN DER PLAS, R., & SEPP, S. Can there be energy policy in Sub-Saharan Africa without biomass?. **Energy for sustainable development**,17(2), 146-152. 2013.
- PROTÁSIO, T, *et al*. Qualidade da madeira e do carvão vegetal oriundos de floresta plantada em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira** 34.78 111-123. 2014.
- PROTÁSIO, T., *et al* Seleção de Clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 015-028. 2013.
- QUIRINO, W. F. *et al*. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**. 100-106. 2005.

- RANCATTI, H. **Potencialidade energética da madeira de duas espécies florestais via uso direto e através da pirólise**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO-PR, Irati, 2012.
- RIBEIRO, N., SITO, A. A., GUEDES, B. S., & STAISS, C. Manual de silvicultura tropical. **Universidade Eduardo Mondlane**, Maputo, 2002.
- ROCKWOOD, D. L., *et al* Energy product options for Eucalyptus species grown as short rotation woody crops. **International journal of molecular sciences**, 9(8), 1361-1378. 2008.
- SANQUETTA, C. R.; BRENA, D. A.; ANGELO, H.; MENDES, B. J. Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. **Ciência Florestal**, v.6, n.1, p. 65-78, 1996.
- SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com enfoque energético**, Dissertação de Mestrado, UFLA, Lavras-MG, 2009.
- SILVA, D. A. D. *et al* Point of sampling along the shaft for estimate of the calorific power of the wood. **Ciência Rural**, 42(9), 1588-1595. 2012.
- STEIERER, B. F. **Highlights on wood fuel: 2004-2009**. FAO STAT-Forest STAT. Rome, Italy. FAO. 2011.
- TRUGILHO, P. F. *et al*. Caracterização de espécies nativas e exóticas amazônicas e do carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 15, n. 2, p. 144-151, maio/ago. 1991.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de eucalyptus saligna. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, jan./jun. 1996.
- TRUGILHO, P.F. Densidade básica e estimativa de massa seca e lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.5, p.122 – 239, 2009.
- UETELA, A. E, **Dinâmica e prognose de produção de uma floresta de miombo utilizando matriz de transição**. Dissertacao de Mestrado. Universidade Federal do Parana. Curitiba, 2014
- YANG, H. *et al*. In-depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin. **Energy Fuels**, Washington, v. 20, n. 1, p. 388–393, Jan. 2006.

ZULU, L. C., RICHARDSON, R. B. Charcoal, livelihoods, and poverty reduction: Evidence from sub-Saharan Africa. **Energy for Sustainable Development**, *17*(2), 127-137. 2013.