



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA- UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

LYSSA MARTINS DE SOUZA

CARACTERIZAÇÃO PARA MÚLTIPLOS USOS DO PECÍOLO DE
Mauritia flexuosa L.f.

BÉLEM

2019

LYSSA MARTINS DE SOUZA

CARACTERIZAÇÃO PARA MÚLTIPLOS USOS DO PECÍOLO DE
Mauritia flexuosa L.f.

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais: área de concentração Ciências Florestais, Linha de Pesquisa Tecnologias de Recursos Florestais, para obtenção do título de Mestre.
Orientadora: Prof^a Dr^a. Lina Bufalino

BÉLEM

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Souza, Lyssa Martins de.

Caracterização para múltiplos usos do pecíolo de *Mauritia flexuosa* L.f. / Lyssa Martins de Souza. - 2019.

62 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Florestais (PPGCF), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

Orientadora: Prof^a Dra. Lina Bufalino

1. Termorreificação. 2. Biomateriais. 3. Bioenergia. I., Lina Bufalino, Lina, *orient.* II. Título.

CDD 584.509811

LYSSA MARTINS DE SOUZA

CARACTERIZAÇÃO PARA MÚLTIPLOS USOS DO PECÍOLO DE

Mauritia flexuosa L.f.

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais: área de concentração Ciências Florestais, para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 07 / 03 / 2019

BANCA EXAMINADORA:



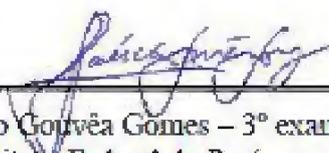
Prof. Dr^a Lina Bufalino – Orientadora
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr Fabiano Emmert – 1º examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr^a Cláudia Viana Urbinati – 2º examinador
Universidade Estadual do Pará



Prof. Dr Laércio Gouvêa Gomes – 3º examinador
Instituto Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir chegar essa conquista e por guiar meu caminho;

Aos meus pais Vicente Venceslau e Lucidalva Martins por todos os sacrifícios que fizeram para que eu pudesse chegar até aqui. Ao meu irmão Lucas Martins por todos esses anos de convivência e companhia.

À minha avó Leonete Martins que sempre acreditou no meu potencial. Aos meus avós que não puderam estar comigo nesse momento, mas que estariam torcendo por minhas conquistas.

À Antonia Carvalho, Edno Silva, Paula Rodrigues, Franciano Rodrigues, Erika Carvalho, Conceição Carvalho e Edilson Chagas pelo acolhimento e amizade.

À Universidade Estadual do Amapá e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará pelos auxílios cedendo laboratórios.

À Universidade Federal Rural da Amazônia pela oportunidade de realizar este curso.

À minha orientadora Lina Bufalino pela paciência e dedicação com a qual me orientou.

Aos meus companheiros de laboratório Dayse Braga, Wiully Queiroz, Camila Lobato, Renato Oliveira, Juliana Abreu, Thayane Costa e Fernanda Yukari pela amizade.

A Ananda Carvalho por me apoiar e acreditar no meu potencial mesmo quando tudo parecia confuso e por estar comigo sempre quando precisei.

E a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

À minha eterna “mainha” Simonne Sampaio (*in memoriam*), por sua amizade e fonte de motivação. Exemplo de ser humano íntegro e ético que sempre será minha maior inspiração profissional.

SUMÁRIO

1.	CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo geral	12
1.1.2	Objetivos específicos.....	12
1.2	REVISÃO DE LITERATURA	12
1.2.1	Buritizeiro (<i>Mauritia flexuosa</i> L.F.).....	12
1.2.2	Caracterização tecnológica da biomassa	13
1.2.2.1	Composição química molecular.....	14
1.2.2.2	Composição química imediata.....	16
1.2.2.3	Poder calorífico.....	16
1.2.2.4	Densidade.....	17
1.2.3	Combustão e pirólise da biomassa	17
1.2.4	Termorreificação	19
1.3	REFERÊNCIAS	20
2.	COMPARAÇÃO ENTRE A CASCA E O MIOLO DO PECÍOLO DO BURITI (<i>Mauritia flexuosa</i> L. f.): POTENCIAL PARA CARBONIZAÇÃO E COMBUSTÃO	25
2.1	INTRODUÇÃO.....	25
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
2.2.1	Área de estudo	26
2.2.2	Coleta e preparo das amostras	27
2.2.3	Análise química.....	28
2.2.3.1	Análise química molecular	28
2.2.3.2	Análise química imediata.....	28
2.2.4	Poder calorífico superior	29
2.2.1	Densidade básica e densidade energética.....	29
2.2.2	Análise Termogravimétrica.....	30
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30

2.3.1	Comparações entre as propriedades químicas do pecíolo de <i>M. flexuosa</i>	31
2.3.2	Poder Calorífico	34
2.3.3	Densidade básica e energética	36
2.3.4	Análise Termogravimétrica	37
2.4	CONCLUSÕES	40
2.5	REFERÊNCIAS	41
3.	EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS NO PECÍOLO DE <i>Mauritia flexuosa</i> L.F.	47
3.1	INTRODUÇÃO	47
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	47
3.2.1	Coleta do material e preparo das amostras	47
3.2.2	Tratamento Térmico	48
3.2.3	Análise química molecular	48
3.2.4	Densidade	49
3.2.5	Difração de Raios-X	50
3.2.6	Resistência física e mecânica	50
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
3.3.1	Química molecular	51
3.3.1	Densidade	52
3.3.2	Difração de Raio-X	53
3.3.3	Resistência física	55
3.3.4	Resistência mecânica	57
3.4	CONCLUSÕES	58
3.5	REFERÊNCIAS	59

RESUMO

As palmeiras, como a *Mauritia flexuosa* (buriti), compõem um dos grupos de plantas de grande importância social e econômica para a região Amazônica. Entretanto, apesar da importância cultural e econômica da *M. flexuosa*, ainda pouco se explora seu potencial tecnológico para múltiplos usos. Assim, o objetivo desse trabalho é caracterizar o pecíolo de *M. flexuosa* para indicar potenciais da espécie para produção de carvão e energia e aplicação como biomaterial. Foi realizada uma caracterização comparativa entre miolo e casca do pecíolo do buriti envolvendo composição química, densidade, poder calorífico e análise termogravimétrica para finalidades de produção de carvão e combustão. O potencial do miolo do pecíolo na condição natural e modificada termicamente a 180 °C, por 1 h (60 min) e 2:30 h (150 min), foi verificado pela química molecular, índice de cristalinidade, resistência física e resistência mecânica. A casca apresentou maior densidade, umidade e baixo teor de voláteis em comparação ao miolo. Já o miolo apresentou maior teor de cinzas, menor teor de carbono fixo e menor poder calorífico superior. A análise termogravimétrica demonstrou maior resistência à degradação térmica e menor taxa de perda de massa da casca quando comparada ao miolo. Portanto, a casca tem maior potencial para geração de energia e carvão, o que é vantajoso visto que trata-se de um resíduo proveniente da destinação do miolo para outras utilizações, como o artesanato. A composição química do pecíolo *in natura* apresentou maiores quantidade de holocelulose 78,38% (Celulose 68,45% + Hemiceluloses 9,935), seguida da lignina com 19,2%, extrativos 8,88 % e inorgânicos 2,05%. Com aplicação do tratamento térmico houve uma diminuição do índice de cristalinidade ocasionado pela degradação térmica da celulose. O pecíolo termorretificado se tornou menos higroscópico e mais estável dimensionalmente, demonstrando que os tratamentos a 180° C são eficiente na melhoria das propriedades físicas avaliada. Porém as propriedades mecânicas foram afetadas negativamente pelo aumento do tempo do tratamento térmico, reduzindo a resistência a compressão da espécie *M. flexuosa*.

Palavra-chave: Bioenergia. Biomateriais. Termorretificação.

ABSTRACT

The Palm trees, like the *Mauritia flexuosa* (buriti), is composed by one of the groups of plants of great social and economic importance for the Amazon region. However, despite the cultural and economic importance of *M. flexuosa*, it is still unexplored its technological potential for multiple uses. Thus, the objective of this work is to characterize the petiole of *M. flexuosa* to indicate potentials of the species for coal and energy production and application as biomaterial. A comparative characterization was performed between core and bark of petiole of buriti involving chemical composition, density, calorific power and thermogravimetric analysis for coal production purposes and combustion. The potential of the core of the petiole in the natural condition and thermally modified at 180 ° C, for 1 h (60 min) and 2:30 h (150 min), was verified by molecular chemistry, index of crystallinity, physical resistance and mechanical resistance. The bark presented higher density, moisture and low volatile content in comparison to the core. But the core had higher ash content, lower fixed carbon content and lower calorific higher. Thermogravimetric analysis showed a greater resistance to thermal degradation and less mass loss of the shell when compared to the core. Therefore, the bark has greater potential for power generation and coal, which is advantageous because it is a residue destined from core to other uses, such as handicrafts. The chemical composition of the petiole natural presented higher amounts Holocellulose 78.38% (Cellulose 68.45% + hemicelluloses 9,935), followed by lignin with 19.2%, extractives 8.88% and inorganics 2.05%. With application of the heat treatment there was a decrease the crystallinity index caused by the thermal degradation of the cellulose. The heat-treated petiole became less hygroscopic and more stable dimensionally, demonstrating that the treatments at 180 ° C are efficient in improving the physical properties evaluated. However, the mechanical properties were negatively affected by the increase of heat treatment time, reducing the resistance to compression of the *M. flexuosa* specie.

Keyword: Bioenergy. Biomaterials. Thermortification.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

As palmeiras compõem um dos grupos de plantas de grande importância para a região Amazônica por estarem diretamente relacionadas à subsistência da população local, dentre elas a *Mauritia flexuosa* (buriti). Muitas comunidades ribeirinhas fazem uso da espécie tanto para alimentação quanto como fonte de renda pela venda de artesanatos fabricados com as folhas e pecíolos da palmeira.

Suas folhas são utilizadas na cobertura de casas e os chamados “braços”, pecíolo e bainha, são amplamente exploradas como matéria-prima de artesãos do Pará para a produção de cestas e brinquedos, que são comercializados colaborando na renda de milhares de famílias. A extração da folha e o processamento dos brinquedos são uma das principais economias do município de Abaetetuba, cidade que está a cerca de duas horas de distância da capital Paraense (GLOBO RURAL, 2011). Somente na festa do Círio de Nazaré no ano de 2006 e 2007 estima-se que foram vendidos respectivamente 36 e 51 mil brinquedos, gerando uma renda bruta superior a R\$ 1 milhão de reais (CYMERYYS et al, 2016).

Com a importância da espécie para o município de Abaetetuba, surgiu a Associação Arte Miriti de Abaetetuba – MIRITONG criada em 2005 com a iniciativa de fundar a ONG veio do interesse em potencializar a geração de renda familiar por meio dos brinquedos de miriti (ARTESOL, 2018).

Estudos realizados na Amazônia registraram a importância dessa palmeira para comunidades ribeirinhas, uma vez que a *M. flexuosa* possui todas as suas partes (estipe, folhas e fruto) utilizáveis. Identificando que todos os entrevistados citaram algum tipo de produto gerado a partir das folhas, com um total de 26 produtos confeccionados artesanalmente, sendo que 67% também fazem a venda desses produtos (SANTOS; COELHO-FERREIRA, 2012).

Entretanto, apesar da importância cultural e econômica do buriti, ainda pouco se sabe seu potencial para múltiplos usos e inovações tecnológicas. A caracterização tecnológica de uma espécie de interesse tem papel para fornecer informações que auxiliam a sua classificação em grupos, sua taxonomia, entendimento sobre o seu desempenho e potenciais de uso (MARTINS-DA-SILVA et al., 2014).

Dessa forma, apesar do artesanato com pecíolo do buriti já ser uma importante fonte de renda para população local, é possível que haja potencial para outras utilizações variadas de maior valor agregado ou inovações. Como a matéria-prima para a produção de artesanato é o miolo, a casca removida pode ser designada como resíduo do processo e também necessita de estudos para viabilizar sua destinação.

Para que uma biomassa seja indicada como fonte energética, por exemplo, é preciso avaliar propriedades como umidade, densidade, composição química e poder calorífico que influenciam na eficiência do material, no rendimento dos processos e na manutenção dos equipamentos que realizam a combustão (BRAND, 2007; SOUZA, et al., 2012).

O buriti é conhecido como “isopor da Amazônia” devido a sua baixa densidade em comparação com outras matérias-primas sólidas obtidas de plantas, como por exemplo, a madeira. Essa característica é um diferencial que pode ser explorado para ampliar suas utilizações como carvão ativado, materiais absorventes, embalagens e isolantes. Entretanto, a baixa densidade resulta também em baixa resistência física e mecânica, o que é desfavorável para as aplicações citadas. Uma alternativa para amenizar esses fatores são os tratamentos térmicos que consistem na aplicação de calor sobre a biomassa para obtenção de um produto com características diferenciadas, quando comparada à sua biomassa original (MENDES, 2010).

Aprimorar as características físicas e mecânicas do pecíolo de *Mauritia Flexuosa* por meio de tratamentos térmicos possivelmente resultaria na melhoria do potencial de uso da espécie como biomaterial.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Caracterizar o pecíolo de *M. flexuosa* para indicar potenciais da espécie para produção de carvão e energia e aplicação como biomaterial.

1.1.2 Objetivos específicos

- Comparar as propriedades químicas, físicas e energéticas do miolo e da casca do pecíolo de *Mauritia flexuosa* para produção de carvão ou combustão direta;
- Analisar o potencial do miolo de *M. flexuosa* para aplicação como biomaterial;
- Analisar se a termorretificação melhora o potencial do miolo da *M. flexuosa* para aplicação como biomaterial;
- Definir qual o melhor tempo para termorretificação do pecíolo de *Mauritia flexuosa* para melhorar suas propriedades para aplicação como biomaterial.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Buritizeiro (*Mauritia flexuosa* L.F.)

O buriti (*Mauritia flexuosa* L.F.) é uma palmeira da família Arecaceae encontrada no Brasil nos estados do Pará, Amazonas, Amapá, Rondônia, Goiás, Distrito Federal, Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso, Ceará e Maranhão, mais precisamente em regiões de várzea e eventualmente em agrupamentos (LORENZI, 1992; LEAL; SOUZA; GOMES, 2006).

É uma palmeira robusta, solitária, uma das maiores da região amazônica, de estipe ereto e cilíndrico de 30 a 60 cm de diâmetro, alcançando geralmente 20 a 25 m de altura, podendo chegar até os 35 m. Seu ápice possui aproximadamente 20 folhas grandes, flabelado-palmadas com cerca de 100 segmentos pêndulos nas extremidades. Apresenta pecíolo de até 4 m de comprimento e uma bainha volumosa (GAZEL FILHO; LIMA, 2001). Seus folíolos são amplamente explorados como matéria-prima de artesãos na fabricação de cestos e também na cobertura de casas (MARTINS; FILGUEIRAS; ULISSES, 2012).

Possui frutos oblongo-elipsoides, com até 5 cm de comprimento, revestidos por escamas vermelho-acastanhados (SODRÉ, 2005). Uma palmeira *M. flexuosa* produz de 40 a 360 kg de fruto, o que resulta em média de 6 litros de óleo por palmeira. Considerando uma média de 64 palmeiras femininas por hectare e uma produção média de 200 kg de frutos, é possível obter 384 litros de óleo da polpa por hectare. Estima-se que uma palmeira produza de 1 a 9 cachos e cada cacho contenha entre 600 e 1200 frutos. (MMA, 2016).

Os frutos servem de alimento para os animais (quando caem no chão) e são consumidos pela população local *in natura* ou em forma de sucos, mingaus, sorvetes e doces. (SANDER, 2014; SANTOS; COELHO-FERREIRA, 2012). O óleo do fruto da *M. flexuosa* é rico em ácidos graxos monoinsaturados, sendo os teores de ácido graxo oléico superiores aos encontrados no azeite de oliva. Além do potencial alimentício (ALMEIDA; SILVA, 1994), apresenta aplicação nos setores farmacêutico (BATISTA et al., 2012; FREIRE et al., 2016), de cosméticos (ZANATTA et al., 2010) energético (POMPERMAYER; PAULA JUNIOR, 2000) e industrial (SCHLEMMER; SALES; RESCK, 2010)

1.2.2 Caracterização tecnológica da biomassa

A palmeira *M. flexuosa* é um recurso natural amplamente utilizado por populações tradicionais, portanto seus potenciais enquanto biomassa e biomaterial podem ser ampliados por meio da investigação de suas propriedades tecnológicas.

A caracterização propriedades tecnológicas de uma espécie de interesse tem papel importante para compreender melhor a estrutura dos seus órgãos, provendo informações que auxiliam a sua classificação em grupos, sua taxonomia, entendimento sobre o seu desempenho e potencial de uso (MARTINS-DA-SILVA et al., 2014).

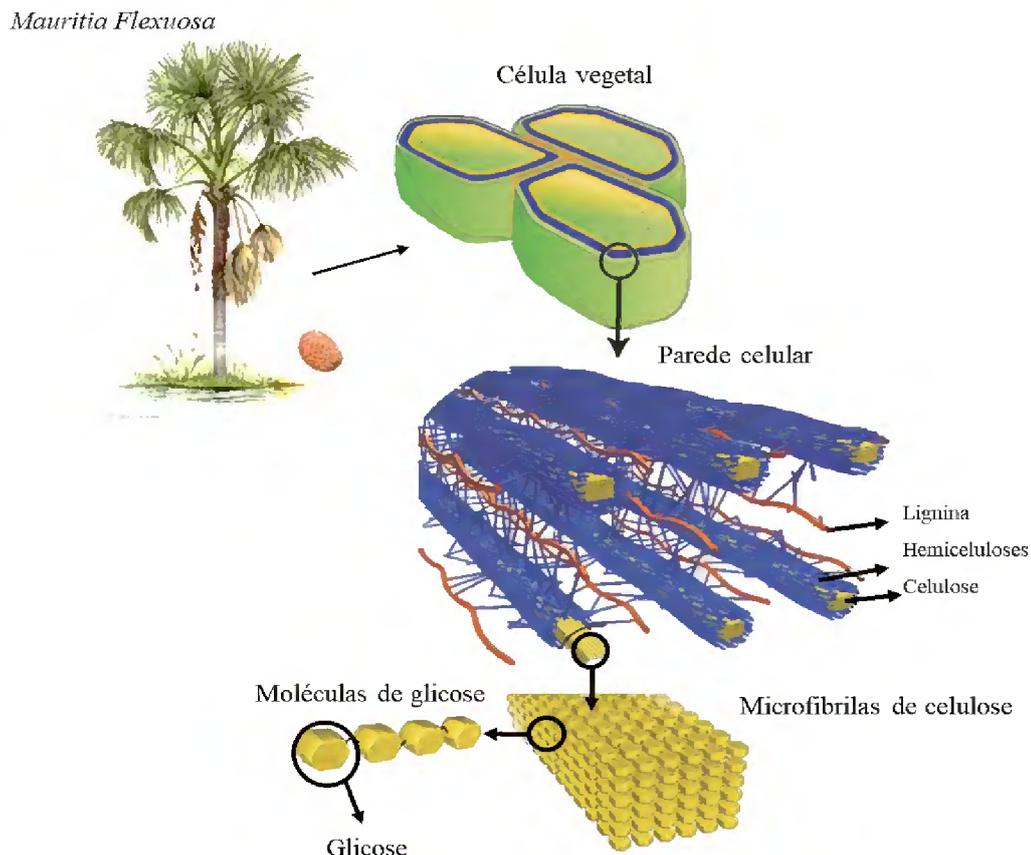
Os avanços tecnológicos decorrentes da própria expansão do setor energético permitiram a indicação das espécies utilizadas de acordo com finalidades específicas. A grande versatilidade de uso da biomassa inclui desde a produção de energia até a fabricação de móveis, chapas, celulose e papel. Entre os critérios técnicos considerados nesse contexto, é fundamental a classificação das espécies quanto à sua densidade, composição química e propriedades térmicas (VIDAL; HORA, 2011).

1.2.2.1 Composição química molecular

A parede celular é definida como um biopolímero tridimensional formada pelos componentes estruturais celulose, hemiceluloses e lignina (Figura 1) e componentes não estruturais em menor quantidade, os extrativos e os materiais inorgânicos (SANTOS, 2008; VIDAL; HORA, 2011).

A maior porção de carboidratos da parede celular consiste de celulose e hemiceluloses. O termo holocelulose é comumente utilizado para se referir aos dois componentes (SANTOS, 2008).

Figura 1: Forma de ocorrência dos componentes químicos estruturais na parede celular dos vegetais



Fonte: Adaptado de Santos et al. (2012)

A celulose é o principal componente da parede celular das plantas, sendo um polissacarídeo com fórmula geral $(C_6H_{10}O_5)_n$, de cadeia linear composta unicamente de monômeros de celobiose que por sua vez é formado pela união de duas glucoses pelas extremidades por ligações β -(1→4). Essas moléculas de celulose, longas e finas, tendem a se manter unidas por pontes de hidrogênio para formar microfibrilas (EVERT, 2013), que consistem na forma de ocorrência da celulose na parede celular. As microfibrilas de celulose se entrelaçam formando filamentos finos gerando as macrofibrilas (HISSEINE et al., 2018).

As microfibrilas de celulose tratam-se de uma montagem de cadeias de celulose cujo grau de perfeição em sua organização paralela é expresso em sua porcentagem de cristalinidade (BRATNAGAR; SAIN, 2005) Essa propriedade cristalina é resultante do arranjo ordenado das moléculas de celulose nas microfibrilas. A estrutura cristalina da celulose torna a parede celular anisotrópica (EVERT, 2013).

Nas porções cristalinas, as moléculas de celulose são firmemente unidas por meio de ligações de hidrogênio. Já as porções restantes com orientação desordenada das moléculas, são denominadas de regiões amorfas (DOMINGUES; ATVARIS, 2009).

As microfibrilas de celulose da parede estão embebidas em uma matriz de moléculas não celulósicas. Essas moléculas são os polissacarídeos conhecidos como hemiceluloses e a lignina (EVERT, 2013).

Hemiceluloses, que envolvem as microfibrilas de celulose, também são polissacarídeos, mas diferem da celulose por serem constituídas por vários tipos de açúcares como monômeros, além de serem ramificadas e apresentarem menor grau de polimerização em relação à celulose (SANTOS, 2008; EVERT, 2013).

A lignina é um polímero fenólico formado a partir de polimerização de 3 principais unidades monoméricas, os álcoois p-cumaril, coniferil e sinapil, que é depositado principalmente nas paredes celulares de tecidos de sustentação e condução (EVERT, 2013). Sua composição varia entre espécies, tecidos dentro de uma determinada planta, e em função do desenvolvimento da planta. A lignina é responsável por fornecer suporte estrutural, superfície hidrofóbica que facilita o transporte de água através tecidos vasculares e uma barreira mecânica contra a invasão micróbios e insetos (SANTOS, 2008; CAICEDO; DEMPERS; VERMERRIS, 2012).

Os extrativos são um dos mais importantes indicadores de conformidade da biomassa florestal para diversos usos industriais. Os extrativos são compostos químicos não estruturais parede celular, geralmente são graxas, ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos,

esteróides, resinas ácidas, resinas, ceras e outros tipos de compostos orgânicos. Estes compostos existem na forma de monômeros, dímeros e polímeros. Podendo ser classificados pelo tipo de solvente utilizado para extraí-los (ROWELL et al., 2005; SANTOS, 2008).

1.2.2.2 Composição química imediata

Os materiais voláteis são os componentes desprendidos no início da combustão, compostos principalmente por hidrogênio, hidrocarbonetos, monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) (SANTOS, 2012).

As cinzas que sobram após o processo de combustão total da madeira são óxidos minerais (SANTOS, 2012). As cinzas possuem uma composição heterogênea tanto em sua morfologia, com partículas de diferentes formas e tamanhos, quanto em sua composição química, podendo variar de acordo com a biomassa, temperatura e o tempo de incineração (CACURO; WALDMAN, 2015).

O carbono fixo é a diferença da massa total da biomassa e do somatório dos teores de matérias voláteis e das cinzas. Com o aumento gradual da temperatura, eliminam-se os componentes voláteis da biomassa vegetal, restando a fração carbono fixo (SANTOS, 2012).

1.2.2.3 Poder calorífico

O poder calorífico é a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da biomassa expresso em joules por grama (J/g) ou quilo joules por quilo (kJ/kg) (QUIRINO et al., 2005). Quanto mais alto for o poder calorífico, maior será a energia contida na biomassa. Todo combustível possui dois tipos de poder calorífico, o superior e inferior (MUZEL et al., 2014).

O poder calorífico superior (PCS) refere-se à combustão que ocorre em volume constante, a água formada durante o processo é condensada e o calor gerado da condensação é recuperado (LEITE, 2018)

Pode ser obtido por equipamentos chamados de calorímetros, (PROTÁSIO et al., 2011). O poder calorífico inferior (PCI) é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (QUIRINO et al., 2005).

O poder calorífico inferior retrata melhor o comportamento do combustível, pois, na maioria dos processos, os gases da combustão são perdidos a temperaturas acima do ponto de ebulição da água, carregando consigo uma quantidade de energia correspondente ao calor latente de vaporização (MUZEL et al., 2014).

Algumas características da biomassa podem influenciar o valor do seu poder calorífico, principalmente a umidade. Quanto maior a umidade, menor será a produção de calor por unidade de massa (MUZEL et al., 2014).

1.2.2.4 Densidade

A densidade é uma propriedade de suma importância porque influencia diretamente nas demais propriedades físicas e mecânicas de um material. Quanto maior a densidade da biomassa maior é o rendimento gravimétrico e volumétrico do carvão vegetal produzido (MOUTINHO et al., 2017).

Na madeira, por exemplo, está intimamente ligada às características morfológicas e anatômicas e varia entre espécies e entre diferentes regiões de uma mesma árvore, além de apresentar a vantagem de ser facilmente medida (FOELKEL; BRASIL; BARRICHELO, 1981; TRUGILHO et al., 1990). Portanto, é necessário investigar o *M. flexuosa* também apresenta essas variações e relações com propriedades físicas e mecânicas.

A densidade é uma quantificação direta da massa do material por unidade de volume, estando relacionada à muitas propriedades e características tecnológicas fundamentais para a produção e utilização dos produtos florestais (LOBÃO et al., 2004).

A densidade de um material poroso pode ser classificada de duas formas distintas (SAMPAIO; SILVA, 2007):

- a) Densidade real ou relativa: considera apenas o volume do conjunto de grãos que compõe a amostra, sem considerar os espaços vazios.
- b) Densidade aparente: considera o volume total da amostra, inclusive os espaços vazios das células.

A densidade aparente pode ser anidra, determinada pela relação entre a massa e volume da amostra, ambos obtidos na condição seca (0% de umidade), e básica determinada pela relação entre a massa seca (0%) e o volume verde da amostra (SILVA; VALE; MIGUEL, 2015). A densidade básica é considerada a propriedade física mais importante da madeira, pois se relaciona com outras propriedades e com o seu uso (VALERIO et al., 2008).

1.2.3 Combustão e pirólise da biomassa

A biomassa e seu aproveitamento como fonte energética acontece através de tecnológicas de transformação termoquímica classificadas em duas categorias principais (SANTOS; NASCIMENTO; ALVES, 2018):

- Tradicional/ combustão direta: queima direta do material;

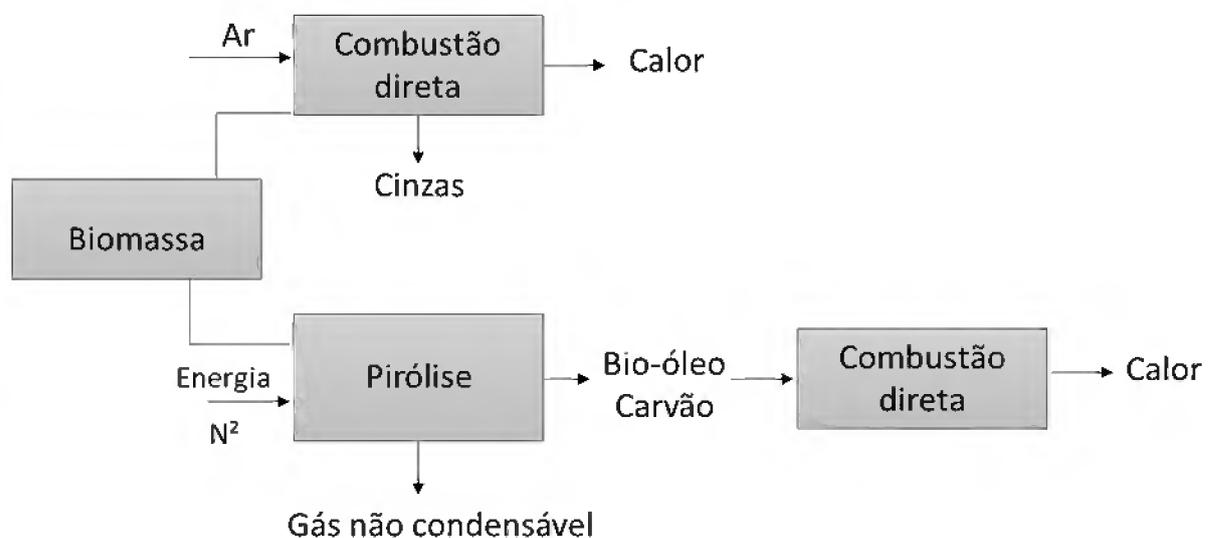
- Moderna/ pirólise: conversão de um combustível em outro combustível mais eficiente;

A combustão direta pode ser definida como a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões, fornos e caldeiras. Apesar da praticidade desse processo, normalmente a combustão direta é muito ineficiente quando comparado com outros processos de geração de calor. Isso devido à alta umidade (20% ou mais no caso da lenha) e a baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos etc.) dificultando o seu armazenamento e transporte (ANEEL, 2005).

A pirólise é um processo térmico em que a matéria orgânica é decomposta na presença de altas temperaturas e ausência de oxigênio. Essa decomposição produz mudanças na composição química e nas propriedades físicas da biomassa, que são irreversíveis, gerando produtos combustíveis exemplificados na Figura 2 (QUISPE; NAVIA; KAHHAT, 2017). Os produtos podem ser gerados através de dois tipos de pirólise (PARADELA et al., 2009):

- Pirólise rápida produz um produto líquido a partir de materiais lenhosos, com propriedades adequadas de combustível (“bio-óleo”) é realizada a uma temperatura entre 500° C e 700° C;
- Pirólise lenta produz um produto sólido por meio da carbonização (carvão), sendo realizada a temperaturas abaixo de 500° C.

Figura 2: Esquema de entrada / saída dos processos de combustão direta e pirólise



Fonte: adaptada de Quispe, Navia e Kahhat (2017)

1.2.4 Termorretificação

A modificação térmica é um processo em que o calor é aplicado à biomassa em temperaturas que provocam o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais (HULLER et al., 2017).

Após a evaporação da água, com à elevação da temperatura, os componentes estruturais iniciam a degradação, o primeiro componente são as hemiceluloses (190 a 360°C), seguida a celulose (315 a 400°C) e depois a lignina (100 a 900°C) (BORGES; QUIRINO, 2004; PEREIRA et al., 2013).

Desse modo, ao promover a degradação das hemiceluloses, a termorretificação confere à madeira um aspecto de baixa higroscopicidade. Essa redução da higroscopicidade pode ser facilmente identificada ao submeter amostras de madeira tratada e não tratada termicamente às mesmas condições de umidade (BORGES; QUIRINO, 2004). Assim o tratamento térmico da madeira tem como principais vantagens a melhoria da integridade física e das características estéticas da madeira e de seus subprodutos, permitindo maior vida útil do material (HULLER et al., 2017). No entanto, a termorretificação pode impactar negativamente algumas propriedades como perdas de massa e de resistência mecânica (MOURA et al., 2012).

1.3 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. P.; SILVA, J. A. Piqui e buriti: importância alimentar para a população dos cerrados. Planaltina: **Embrapa Cerrados-Documents**, 1994. 38 p. (EMBRAPA-CPAC. Documents, 54).
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2 ed., 2005, 243 p.
- BATISTA, J. S.; OLINDA, R. G.; MEDEIROS, V. B.; RODRIGUES, C. M. F.; OLIVEIRA, A. F.; PAIVA, E. S.; MEDEIROS, A. D. C. Atividade antibacteriana e cicatrizante do óleo de buriti *Mauritia flexuosa* L.F. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 136-141, 2012.
- BHATNAGAR, A.; SAIN, M. Processing of cellulose nanofiber-reinforced composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 24, n. 12, p. 1259-1268, 2005
- BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.
- BRAND, M. A. Potencial de uso da biomassa florestal da caatinga, sob manejo sustentável, para geração de energia. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 117-127, 2017.
- BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 169 p. Tese (Doutorado em ciências florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- BUFALINO, L. et al. Local variability of yield and physical properties of açai waste and improvement of its energetic attributes by separation of lignocellulosic fibers and seeds. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 10, n. 5, p. 053102, 2018.
- CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. Cinzas da Queima de Biomassa: Aplicações e Potencialidades. **Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2154-2165, 2015.
- CAICEDO, H. M.; DEMPÈRE, L. A.; VERMERRIS, W. Template-mediated synthesis and bio-functionalization of flexible lignin-based nanotubes and nanowires. **Nanotechnology**, v. 23, n. 10, p. 105605, 2012.
- DOMINGUES, R. A.; ATVARS, T. D. Z. Estudo da sorção de derivados de poli (fluoreno) em fibras de celulose regenerada por espectroscopia de fluorescência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, n. 10, Foz do Iguaçu, 2009. **Anais...** São Carlos: Associação Brasileira de Polímeros, 2009.
- EVERT, R. F. **Anatomia das plantas de Esau: meristemas, células e tecidos do corpo da planta - sua estrutura, função e desenvolvimento**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2013.
- FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, v. 2, n. 3, p. 65-74, 1971.
- FREIRE, J. A. P. et al. Phytochemistry profile, nutritional properties and pharmacological activities of *Mauritia flexuosa*. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 11, p. R2611-R2622, 2016.
- GAZEL-FILHO, A. B. G.; LIMA, J. A. S. **O Buritizeiro (*Mauritia flexuosa*) e seu potencial de utilização**. Macapá: EMBRAPA, 2001.

HISSEINE, O. A.; OMRAN, A. F.; TAGNIT-HAMOU, A. Influence of Cellulose Filaments on Cement Paste and Concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 30, n. 6, p. 04018109, 2018.

HULLER, L. A. S.; HASELEIN, C. R.; DA SILVEIRA, A. G.; DE MENEZES, W. M.; TALGATTI, M.; DE SOUZA, J. T.; SANTINI, E. J. Modificação térmica e propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 90, p. 183-188, 2017.

LEAL, A. F.; SOUZA, V. A. B.; GOMES, J. M. A. Condições do extrativismo e aproveitamento das frutas nativas na microrregião de Teresina, Piauí. **Ceres**, v. 53, n. 310, p. 591-601. 2006.

LEITE, C. B. O Impacto da Reciclagem no poder calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos da cidade de São Paulo e no trabalho de catadores de materiais recicláveis. **Unisanta BioScience**, v. 7, n. 6, p. 21-32, 2018.

LEITE, E. R. S.; PROTÁSIO, T. P.; ROSADO, S. C. S. TRUGILHO, P. F.; VALLE, M. L. A.; SIQUEIRA, H. F. Composição química elementar da madeira e do carvão vegetal de *Coffea arabica* para uso bioenergético. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 537-547, 2015.

LOBÃO, S. M.; LUCIA DELLA, R. M., MOREIRA, S. S. M.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 889-894, 2004.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992.

MARTINS, R. C.; FILGUEIRAS, T. S.; ULISSES, P. Etnobotânica de *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) em uma comunidade quilombola no Brasil central. **Botânica Econômica**. v. 66, n. 1, p. 91-98, 2012.

MARTINS-DA-SILVA, R. C. V.; SILVA, A. S. L.; FERNANDES, M. M.; MARGALHO, F. L. **Noções morfológicas e taxonômicas para identificação botânica**. Brasília: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 111 p.

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2010. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial plantas para o futuro - região Centro-oeste**. Brasília – DF, 2016.

MOUTINHO, V. H. P.; TOMAZELLO FILHO, M.; BRITO, J. O.; BALLARIN, A. W.; ANDRADE, F. W. C.; CARDOSO, C. D. C. Characterization and statistical correlation between charcoal's physical and mechanical properties of *Eucalyptus* and *Corymbia* clones. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 1095-1103, 2017.

MORAIS, M. J.; OLIVEIRA, M. S.; BARBOSA, E. G.; CRUZ, G. H. T. Caracterização da casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) para sua utilização como biomassa. In: CONGRESSO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UEG, 3., 2017, Pirenópolis. **Anais...** Pirenópolis, 2017.

MOURA, L. F.; BRITO, J. O.; JÚNIOR, G. B. Efeitos da termorretificação na perda de massa e propriedades mecânicas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 305-314, 2012.

M ZEL, S. D.; OLIVEIRA, K. A.; HANSTED, F. A. S.; PRATES, G. A.; GOVEIA, D. Poder calorífico da madeira de *Eucalyptus grandis* e da *Hevea brasiliensis*. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 8, n. 2, p. 166-172, 2014.

NAGAISHI, T. Y. R. **Açaí (*Euterpe oleracea* mart): extrativismo, características, energia e renda em uma comunidade na ilha de Marajó/ PA**. 2007. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

PARADELA, F.; PINTO, F.; RAMOS, A. M.; GULYURTLU, I.; CABRITA, I. Study of the slow batch pyrolysis of mixtures of plastics, tyres and forestry biomass wastes. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 85, n. 1-2, p. 392-398, 2009.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L, TRUGILHO, P. F., MELO, I. C. N. A; OLIVEIRA, A. C. Estudo da degradação térmica da madeira de *Eucalyptus* através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 567-576, 2013.

POMPERMAYER, R. S.; PAULA JUNIOR, D. R. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., Campinas, 2000. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2000.

POMPERMAYER, R. S.; PAULA JUNIOR, D. R. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., Campinas, 2000. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2000.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; JÚNIOR, M. G. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 113- 122, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; JUNIOR, M. G., TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. **BioResources**, v. 8, n. 1, p. 1166-1185, 2013

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, n. 89, p. 100-106, 2005.

QUISPE, I.; NAVIA, R.; KAHHAT, R. Energy potential from rice husk through direct combustion and fast pyrolysis: A review. **Waste management**, v. 59, p. 200-210, 2017

REIS, A. A. PROTÁSIO, T. P.; MELO, I. C. N. A.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. O. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 277- 290, 2012.

ROWELL, R M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2005. p. 37-72.

- SANDER, N. L. **Estrutura, composição florística e etnobiologia de um buritizal na fronteira biológica Amazônia-Cerrado**. 2014. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, 2014.
- SANTOS, F. A.; QUEIROZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.
- SANTOS, G. H. F.; NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. Biomassa como energia renovável no Brasil. **Revista Uningá Review**, v. 29, n. 2, p. 06-13, 2018.
- SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- SANTOS, J. R. S. **Estudo da biomassa torrada de resíduos florestais de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar para fins energéticos**. 2012. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2012.
- SANTOS, R. da S.; COELHO-FERREIRA, M. The ethnobotanical study of *Mauritia flexuosa* L. f. (Arecaceae) in riverine communities of Abaetetuba county, Pará state, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 1, p. 1-10, 2012.
- SCHLEMMER, D.; SALES, M. J. A.; RESCK, I. S. Preparação, caracterização e degradação de blendas PS/TPS usando glicerol e óleo de buriti como plastificantes. **Polímeros**, v. 20, n. 1, p. 6-13, 2010.
- SILVA, C. J. VALE, A. T.; MIGUEL, E. P. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 63-75, 2015.
- SILVA, J. DE C.; MATOS, J. L. M. D.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; EVANGELISTA, W. V. Influence of age and position along the trunk on the chemical composition of *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden wood. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 455-460, 2005.
- SODRÉ, J. B. **Morfologia das palmeiras como meio de Identificação e uso paisagístico. Monografia**. Universidade Federal de Lavras. 2005. 65 p. Monografia (Especialização em Plantas Ornamentais e Paisagismo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- SOUZA, M. M.; SILVA, D. A.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 325-334, 2012.
- TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZAO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **Acta Amazonica**, v. 20, p. 307-319, 1990.
- VALÉRIO, A. F. F.; WATZLAWICK, L. F.; SANTOS, R. T.; SILVESTRE, R.; KOEHLERH. S. Determinação da densidade básica da madeira de peroba (*Aspidosperma polineuron* Muell. Arg.) ao longo do fuste. **Caatinga**, v. 21, n. 3, p. 54- 58, 2008.
- VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. da. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. **BNDES Setorial**, n. 33, p. 261-314, 2011.

WITCZAK M.; WALKOWIAK, M.; CICHY, W.; KOMOROWICZ, M. The application of elemental analysis for the determination of the elemental composition of lignocellulosic materials. **Forestry and Wood Technology**, n.92, p. 477-482, 2015.

ZANATTA, C. F.; MITJANS, M.; URGATONDO, V.; ROCHA-FILHO, P. A.; VINARDELL, M. P. Photoprotective potential of emulsions formulated with buriti oil (*Mauritia flexuosa*) against UV irradiation on keratinocytes and fibroblasts cell lines. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 1, p. 70-75, 2010.

2. COMPARAÇÃO ENTRE A CASCA E O MIOLO DO PECÍOLO DO BURITI (*Mauritia flexuosa L. f.*): POTENCIAL PARA CARBONIZAÇÃO E COMBUSTÃO

2.1 INTRODUÇÃO

A biomassa renovável passou a ter destaque com a crise do petróleo, quando as florestas começaram a ser observadas sob o ponto de vista de matéria-prima para produção energética (ROSOT, 1980). A partir de 1986, começou a preocupação com a nova ordem energética que visa diminuir a dependência do petróleo, diversificando as fontes de energia (BARROS, 1989). Dessa forma, há uma tendência mundial de substituição de energias não renováveis por energias renováveis de acordo com as políticas de sustentabilidade.

As energias renováveis como a eólica, solar, hidráulica e bioenergia obtida da biomassa consistem essencialmente de fluxos de energia continuamente repostos por processos naturais (PEAKE et al., 2012).

Segundo o Ministério de Minas e Energia, o relatório sobre Balanço energético nacional (BEN) brasileiro (EPE, 2017) mostra que, em 2015, aproximadamente 43,5% da repartição da oferta interna de energia (OIE) era proveniente de recursos renováveis sendo eles: biomassa de cana (17,5%), hidráulica (12,6%), lenha e carvão (8%) e outros (5,4%). No entanto, as fontes não renováveis ainda somam a maior parte dos recursos utilizados, com 56,5%, sendo eles: petróleo e derivados (36,5%), gás natural (12,3%), carvão mineral (5,5%), urânio (1,5%) e outros (0,7%).

A biomassa para produção de energia apresenta características favoráveis principalmente no que se refere à poluição quando comparada aos combustíveis fósseis. Apresenta um baixo teor de enxofre (S) e a emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera geralmente é equilibrada pela absorção desse gás por meio da fotossíntese no desenvolvimento de nova biomassa (QUIRINO et al., 2005).

Entretanto, para viabilizar a destinação correta da biomassa para energia, é necessário caracterizá-la, o que consiste principalmente na determinação da sua umidade, densidade, composição química molecular e composição química imediata (BRITO; BARRICHELO, 1978; QUIRINO et al., 2005; PROTÁSIO et al., 2013). Essas características são amplamente variáveis entre diferentes biomassas madeireiras e não madeireiras (PROTÁSIO et al., 2013). Adicionalmente, uma mesma planta possui tecidos e estruturas com propriedades físicas, químicas e anatômicas diferentes que se submetidos ao mesmo processo de carbonização podem gerar carvões heterogêneos, enquanto diferentes potências de combustão podem limitar a eficiência da geração direta de energia (BUFALINO et al., 2018).

A família Arecaceae é representada por aproximadamente 2.700 espécies distribuídas em mais de 240 gêneros. No Brasil, são encontradas 250 espécies (LORENZI et al., 2010). As palmeiras se enquadram em um dos grupos de plantas de grande importância para a região Amazônica, por possuir múltiplos usos para os habitantes locais (SILVA; MELO, 2017), com destaque para a palmeira *Mauritia flexuosa* L. f., conhecida vulgarmente como buriti ou miriti (PASSOS; MENDONÇA, 2006).

Na literatura, os estudos com *M. flexuosa* estão relacionados às suas sementes (ALMEIDA et al., 2018), ecologia (VIRAPONGSE et al., 2017) e potencial do fruto (FRANÇA et al., 1999; RODRIGUES et al., 2016). Quanto às aplicações tecnológicas, a maior parte dos estudos está relacionada à qualidade do óleo (FERNANDES et al., 2010; BATISTA et al., 2012) e utilização de folhas (SAMPAIO; CARRAZZA, 2012; CATTANI; BARUQUE-RAMOS, 2014). Sobre o pecíolo, apenas alguns trabalhos foram encontrados (SANTOS, R. S.; COELHO-FERREIRA, 2011; SILVA et al., 2012), sendo que nenhum deles trata dos potenciais para carbonização ou combustão direta.

A possibilidade de utilização da biomassa proveniente do pecíolo da *M. flexuosa* para geração de bioenergia pode contribuir para o desenvolvimento local das comunidades ribeirinhas do cenário amazônico, por meio do uso e conservação da espécie.

Dessa forma, é necessário investigar os potenciais tecnológicos do pecíolo de *M. flexuosa* para ampliar suas aplicações e contribuir para geração de renda na Amazônia. Este trabalho teve o objetivo de comparar a qualidade do miolo e da casca do pecíolo da espécie *Mauritia flexuosa* para combustão e carbonização, contribuindo para o conhecimento sobre novas biomassas para geração de bioenergia.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

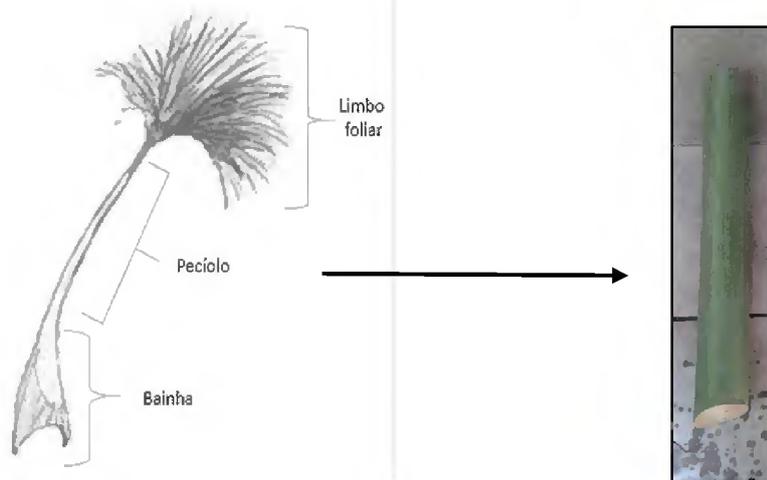
A coleta foi realizada no município de Abaetetuba, pertencente à Mesorregião do Nordeste Paraense e à Microrregião de Cametá. Trata-se de um município com uma área territorial de 1.610,404 km², que abriga uma população estimada de 153.380 habitantes (IBGE, 2016). O clima da região é do tipo Af (clima tropical chuvoso de floresta), segundo a classificação de Köppen. Com precipitação pluviométrica anual variando de 1750 a 3000 mm, distribuída irregularmente, sendo que o período mais chuvoso ocorre entre os meses de janeiro e abril e o mais seco no restante do ano. A temperatura média anual é de 27 °C, com a amplitude térmica variando de 21 °C a 33 °C, com Latossolo Amarelo distrófico predominante no município (ANDRADE et al., 2017).

2.2.2 Coleta e preparo das amostras

Foram coletados material botânico, como folhas e frutos que foram enviados ao laboratório de botânica da Embrapa Amazônia Oriental e identificados pelo método de comparação com amostras já identificadas do herbário IAN e confirmadas por especialista.

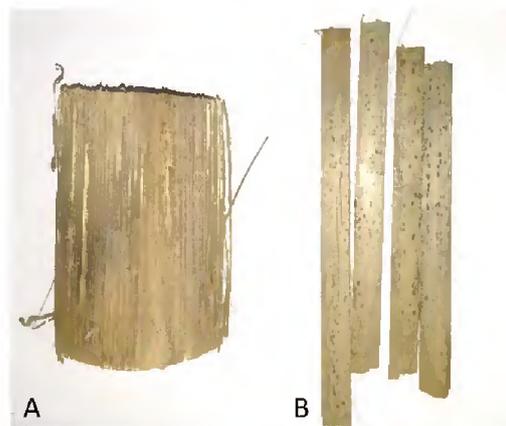
Para este trabalho, foram selecionadas aleatoriamente 7 indivíduos (palmeiras) que apresentaram boa fitossanidade, dos quais foram obtidas duas folhas de cada para posterior retirada do pecíolo (Figura 3). Os pecíolos foram secos ao ar livre e em seguida casca e miolo (Figura 4) foram separados manualmente com auxílio de estilete.

Figura 3: Folha da *M. flexuosa* para obtenção do pecíolo



Fonte: adaptado de SAMPAIO; CARRAZA, 2012

Figura 4: Amostra do miolo descascado (A) e casca (B) do pecíolo de *M. flexuosa* para obtenção do pecíolo



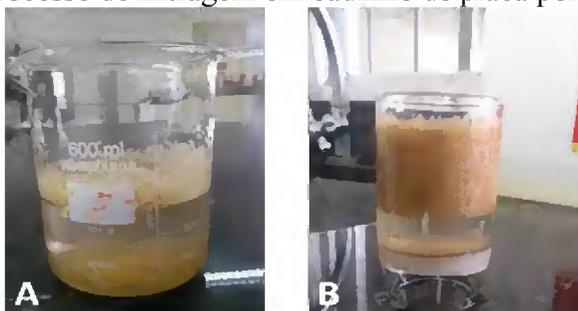
2.2.3 Análise química

As amostras foram moídas no moinho de facas SL32 e, posteriormente, peneiradas para obtenção da fração retida entre 32 e 60 mesh. Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

2.2.3.1 Análise química molecular

O teor de extrativos totais (com base na massa total) foi determinado de acordo com a norma NBR 14853 (ABNT, 2010c). Para a determinação de extrativos solúveis em água fria (Figura 5) e água quente foi utilizada a norma NBR 14577 (ABNT, 2010a).

Figura 5: Determinação de extrativos solúveis em água fria: processo de imersão em béquer (A) e processo de filtragem em cadinho de placa porosa (B)

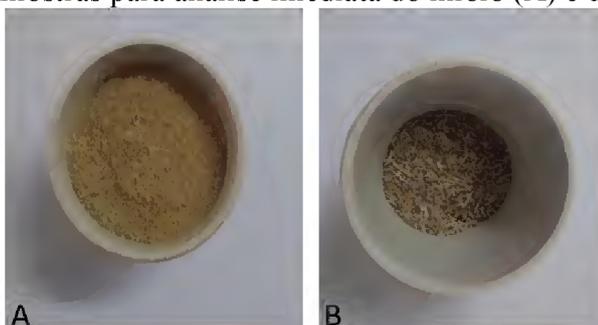


Conforme as recomendações da norma NBR 7989 (ABNT, 2010c), o teor de lignina insolúvel (com base na massa livre de extrativos) foi determinado por meio de hidrólise ácida. O teor de cinzas (base massa total) foi obtido utilizando um forno do tipo mufla seguindo os procedimentos da norma NBR 13999 (ABNT, 2017).

2.2.3.2 Análise química imediata

Foi utilizada a norma NBR 8112 (ABNT, 1983) de análise imediata para determinar a umidade, materiais voláteis, teor de cinzas e carbono fixo (Figura 6).

Figura 6: Amostras para análise imediata do miolo (A) e da casca (B)



2.2.4 Poder calorífico superior

O poder calorífico superior foi determinado seguindo as recomendações da Norma NBR 8633 (ABNT, 1984) em uma bomba calorimétrica (IKA C-200). A Equação 1 foi utilizada para estimar os valores de poder calorífico inferior (PCI) dos resíduos.

Equação 1

$$PCI = PCS - 600 \left(\frac{9 * H}{100} \right)$$

Onde:

PCI: poder calorífico inferior (Kcal/kg);
PCS: poder calorífico superior (Kcal/kg);
H: teor de hidrogênio (%).

2.2.1 Densidade básica e densidade energética

Um pecíolo de cada indivíduo foi seccionado para obtenção de 3 amostras de 10 cm de modo a ser distribuído na ponta (próximo ao limbo foliar), meio e base (próximo da bainha), conforme Figura 7.

Figura 7: Amostragem do pecíolo de *M. flexuosa*: (a) o corte das amostras para determinação de densidade (amostras “M1”, “M” e “M4”); e (b) destaque para uma das amostras para determinação de densidade.



Em seguida as amostras de casca e miolo foram saturadas em água destilada utilizando uma bomba de vácuo até estabilização de volume. Para o procedimento do volume foi adicionado aproximadamente 500 mL de água num frasco de vidro (béquer) que por sua vez foi posicionado sobre uma balança (precisão de 0,001 g) e tarado. Posteriormente, imergiu-se inteiramente a amostra saturada e presa por uma haste na água contida no frasco tomando-se

cuidado para que amostra não tocasse nem o fundo nem a lateral do recipiente. Após a imersão registrou-se o volume deslocado de água, que corresponde ao volume da amostra, considerando a densidade da água igual a 1 g/cm³ (Figura 8).

Figura 8: Método da balança hidrostática para determinação de volume do miolo (A) e da casca (B)



Após a determinação do volume, as amostras foram secas ao ar livre por 24 h e em seguida armazenadas na estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ até atingirem a massa absolutamente seca (0%).

Para a determinação da densidade básica (D_b) foram adotados procedimentos recomendados pela norma M14/70 (ABTCP, 1974). A densidade energética (D_e) foi obtida conforme Equação 2.

Equação 2

$$D_e = D_b * PCS$$

Onde:

D_e : densidade energética (MJ/m³);

D_b : densidade básica (kg/m³);

PCS : poder calorífico superior (MJ/kg).

2.2.2 Análise Termogravimétrica

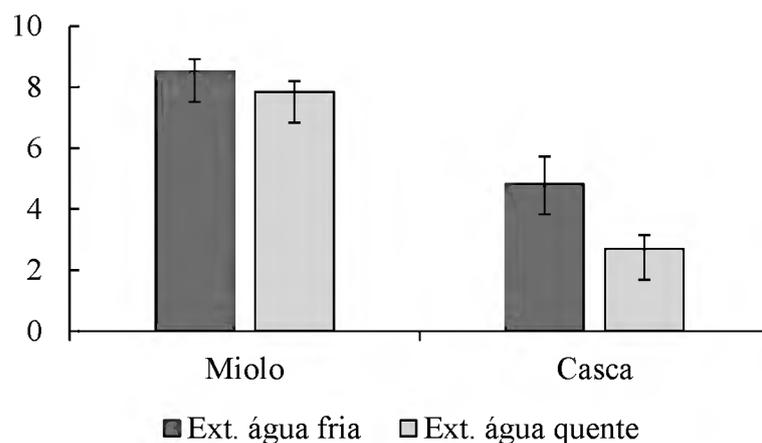
Foram utilizados cinco miligramas de amostra seca de cada biomassa (casca e miolo) com granulometria abaixo de 60 mesh ensaiados no equipamento modelo TGA-60 (Shimadzu) com faixa de temperatura variando da condição ambiente até 1000°C em atmosfera de gás nitrogênio (N₂) com vazão de 50 mL/min. Foram geradas curvas termogravimétricas e a partir destas curvas calculou-se a primeira derivada das mesmas para identificação dos picos em que ocorreram perdas de massa de interesse.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Comparações entre as propriedades químicas do pecíolo de *M. flexuosa*

Ao compararmos os extrativos removidos por água o miolo apresentou uma quantidade maior que a casca (figura 9). Onde para água fria o miolo apresentou $8,52\% \pm 0,40$, enquanto a casca apresentou de $4,83\% \pm 0,90$. Com relação aos teores de extrativos em água quente essa tendência se repetiu, sendo os valores da casca do pecíolo abaixo dos encontrados para miolo de $2,69\% \pm 0,467$ e $7,84\% \pm 0,36$, respectivamente.

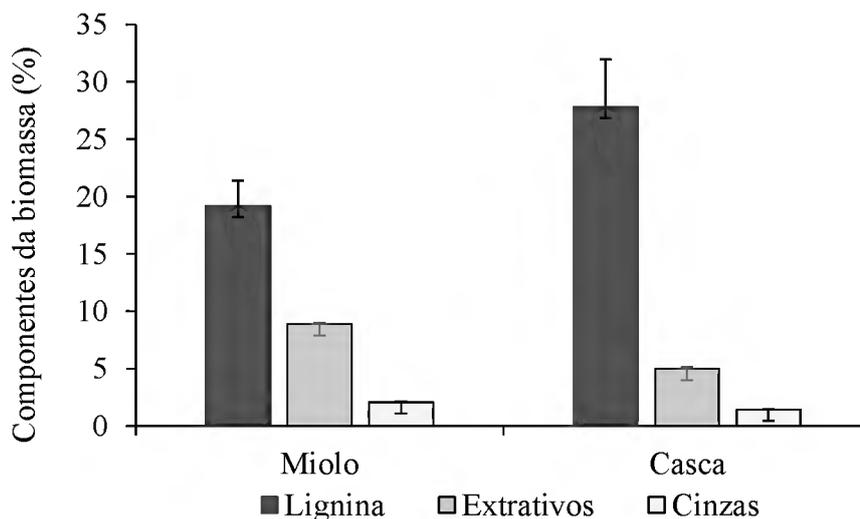
Figura 9: Análise de extrativos do pecíolo *M. flexuosa* removíveis em água fria e água quente



Segundo Oliveira et al. (2005), a água fria extrai substâncias como açúcares, taninos, gomas e corantes, enquanto água quente, além de extrair as substâncias anteriores, extrai os amidos.

O miolo além de maior extraíveis totais, também apresentou valores maiores de do teor de cinzas. Já o teor de lignina foi superior na casca (Figura 10).

Figura 10: Proporção de componentes estruturais e não estruturais da biomassa



O teor de lignina tende a se concentrar e aumentar quando a biomassa tem menores teores de substâncias extraíveis. Menor de extrativos totais resultam em menor volatilização durante a carbonização (VITAL; JESUS; VALENTE, 1986), como é o caso da casca da *M. flexuosa*.

Na quantificação da lignina o maior valor foi obtido para a casca com 27,83 % enquanto que o miolo apresentou 19,21%. Valores encontrados por Goulart et al. (2012) para diferentes partes da árvore de barbatimão (galho 22,5 %, fuste 23,7% e raiz 24,6 %) foram inferiores para casca e superiores ao miolo.

Os maiores teores de lignina resultam em maior rendimento para energia (GOULART et al., 2012), por isso é indicado para produção de carvão vegetal o uso de espécies com o teor de lignina superior à das espécies utilizadas para fabricação de celulose, dado o maior poder calorífico desse componente (VIDAL; HORA, 2011).

Comparando a composição química imediata das partes do pecíolo, a casca apresentou menores valores de voláteis e cinzas e maiores valores umidade e carbono fixo, quando comparada com o miolo. A umidade pode variar dentro de uma faixa ampla que depende de fatores como espécie, clima, armazenamento, etc (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Tabela 1: Composição química imediata do pecíolo de *Mauritia flexuosa*

Propriedades	Componentes	
	Miolo	Casca
Umidade (%)	9,84 ± 0,79	12,58 ± 1,05
Voláteis (%)*	80,51 ± 1,25	79,93 ± 2,10
Cinzas (%)*	1,61 ± 0,54	1,50 ± 0,46
Carbono fixo (%)*	17,87 ± 0,89	18,57 ± 1,74

Média ± desvio padrão; *base massa livre de umidade.

Em relação à madeira, as cascas das árvores apresentam maior umidade (BJÖRK; RASMUSON, 1995). Mesmo comportamento encontrado no pecíolo onde o miolo apresentou umidade inferior a 10%, o que é considerado melhor para a combustão de biomassa (GARCIA et al., 2012).

Biomassas com umidade muito elevada (acima de 43%) não são recomendadas para uso em caldeiras devido ao menor poder calorífico. Dessa forma, quanto mais água para evaporar, mais calor é consumido no processo, reduzindo assim o rendimento do biocombustível (GARCIA et al., 2012).

O teor de voláteis encontrado foi de 80,51% e 79,93% para miolo e casca respectivamente, semelhante ao teor encontrado para o resíduo de algodão (80,65%) e ao bagaço de cana de 79,70% (ROCHA et al., 2004). O alto teor de voláteis na biomassa resulta na facilidade de ignição no processo de combustão (VIEIRA, 2012).

A casca apresentou maior teor de carbono fixo (18,57 %), o que significa queima mais lenta quando comparada ao miolo (17,87%). O menor valor de carbono fixo para casca encontrado por Vale et al (2002) foi de 20,26% para *Vochysia thyrsoidea*, superior ao da casca da *Mauritia flexuosa*.

O teor de carbono fixo está relacionado à quantidade de cinzas e voláteis, pois o mesmo representa a massa restante após a saída de compostos voláteis, excluindo as cinzas e umidade (MORAIS et al., 2016).

Durante a queima da biomassa vegetal, a volatilização dos materiais acontece rapidamente contribuindo para uma baixa eficiência energética. É possível ainda observar uma relação entre material volátil e carbono fixo, como sendo inversamente proporcional, ou seja, quanto maior for o teor de voláteis menor será o carbono fixo (SILVA; VALE, 2018).

Os teores de matérias voláteis e carbono fixo do miolo são similares aos encontrados por Vale et al (2002), que caracterizaram a madeira e a casca de 47 espécies de cerrado. Os autores encontraram teores de voláteis na madeira que variaram de 81,2 a 74,62% (*Tabebuia ochracea* e *Conarus suberosus*), enquanto o teor de carbono fixo variou de 24,76 a 17,93% (*Lafoensia pacari* e *Vochysia elliptica*).

Dentre as espécies estudadas por Vale et al (2002), aquelas que apresentaram voláteis que se assemelham ao miolo do pecíolo de *M. flexuosa* são *Aspidosperma tomentosum* (80,32%), *Caryocar brasiliense* (80,13%), *Eremanthus glomerulatus* (80,50%), *Pterodon pubescens* (80,42%) e *Tabebuia ochracea* (80,69 %). Para a casca, o valor mais próximo encontrado foi de 76,68% para a espécie *Hymenaea stigonocarpa*.

Observa-se que o teor de cinzas encontrado foi de 1,61% e 1,50% para o miolo e casca, respectivamente, os quais são menores em relação aos encontrados na literatura para outras biomassas (Tabela 2).

Tabela 2: Comparação da análise imediata do pecíolo (miolo e casca) da *Mauritia flexuosa* com outras biomassas.

Material	Voláteis	Cinzas	Carbono Fixo	Referências
	-----%-----			
Endocarpo babaçu	83,40	15,16	1,71	Teixeira, 2002
Casca de pequi	85,26	2,19	16,93	Morais et al., 2017
Casca de palmito	78,00	5,60	16,34	Almada et al., 2017
Casca de arroz	82,09	15,51	2,39	Vieira et al., 2013
Estipe do açaí	76,36	2,41	21,22	Nagaishi, 2007

O teor de cinzas foi maior no miolo do que na casca, sendo que esta fração mineral existente na biomassa permanece como resíduo após a combustão. Para aplicações energéticas, o teor de cinzas deve ser preferencialmente baixo, já que os óxidos minerais formam incrustações nos equipamentos e nas tubulações quando queimados em fornalhas, além de reduzirem a facilidade de queima do combustível (MOUTINHO et al., 2016).

2.3.2 Poder Calorífico

O menor PCS foi constatado para o miolo (4050 kcal/kg) enquanto a casca apresentou PCS de 4215 kcal/kg (Tabela 3).

Tabela 3: Poder calorífico superior (PCS) de diferentes biomassas em comparação ao pecíolo (miolo e casca) da *M. flexuosa*

Material	Poder calorífico superior (kcal/kg)	Referências
Miolo	4050	-
Casca	4215	-
Casca de arroz	3908,00	Diniz et al., 2004
<i>Hevea brasiliensis</i>	4157,8	Muzel et al., 2014
Bagaço de cana de açúcar	4200,00	Roviero et al., 2018
<i>Eucalyptus grandis</i>	4274,15	Muzel et al., 2014
Caroço do açaí	4275,00	Pessoa; Teixeira, 2012
Carvão de Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>)	6869,00	Silva et al., 2018
Endocarpo babaçu	22698,00	Teixeira, 2002

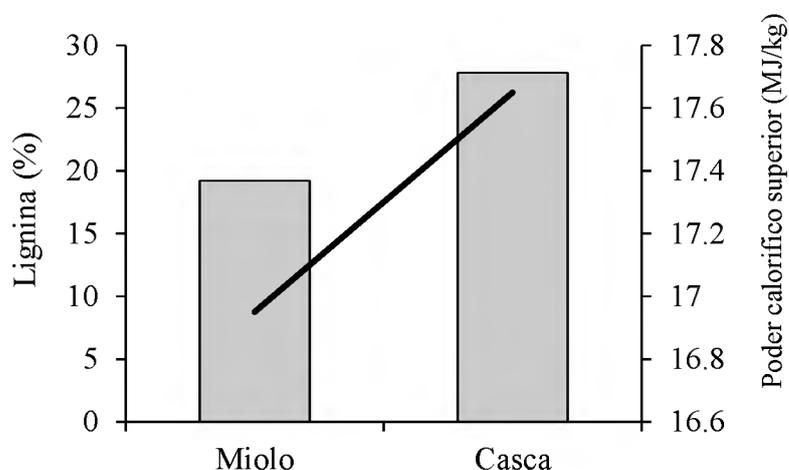
O poder calorífico expressa o conteúdo de energia que é liberada quando o material é queimado. O nível de eficiência desses processos como pirólise, gaseificação e combustão depende principalmente da composição e propriedades das biomassas (ESTIATI et al., 2016).

Através do poder calorífico junto com a densidade e as propriedades químicas do material é possível classificar se essa biomassa é adequada para produção energética.

Segundo Silva e Vale (2018), o poder calorífico está diretamente relacionado ao carbono fixo. O teor de carbono fixo mais alto no material implica um tempo de residência mais longo do combustível. Essa afirmação corrobora com os dados encontrados para pecíolo de *M. flexuosa* para o qual foi observado que o miolo apresentou poder calorífico de 4050 kcal/kg e carbono fixo 17,87%, enquanto essas propriedades para a casca apresentaram valores de 4215 kcal/kg de poder calorífico e 18,57% de carbono fixo, respectivamente.

O conteúdo de lignina também pode ter uma influência considerável no poder calorífico do pecíolo, como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11: Relação entre a percentagem de lignina (barra) e o poder calorífico (linha) superior pecíolo (miolo e casca) da *M. flexuosa*



Essa relação diretamente proporcional da lignina com PCS, pode estar ligada ao fato da lignina ser o componente primário da parede celular que apresenta maior poder calorífico quando comparado com a celulose e hemiceluloses (TODARO et al., 2015; KIM; LEE; PARK, 2016).

Esses valores são inferiores aos valores médios encontrado nas madeiras do cerrado de 4.763 kcal/kg (VALE et al., 2002) e da Amazônia com 4751 kcal/kg (CASTILLO, 1984). Porém intermediários aos resultados demonstrado por Muzel et al. (2014) para *Hevea brasiliensis* (4158 kcal/kg) e *Eucalyptus grandis* (4274 kcal/kg) e por Roviero et al. (2018) para bagaço de cana de açúcar (4200 kcal/kg).

2.3.3 Densidade básica e energética

Observou-se uma grande diferença entre valores de densidade básica da casca e miolo (Tabela 4). A densidade básica encontrada para o miolo do pecíolo foi de $0,0415 \text{ g/cm}^3$, enquanto que $0,2670 \text{ g/cm}^3$ foi observado para a casca, o que classifica tanto casca quanto miolo do pecíolo como de baixa densidade, de acordo com a classificação proposto por Silva, Vale e Miguel (2015). Os mesmos autores classificam a madeira como de densidade baixa quando apresenta valores menores que $0,550 \text{ g/cm}^3$; densidade média entre $0,551$ a $0,720 \text{ g/cm}^3$; e densidade alta maiores que $0,720 \text{ g/cm}^3$.

Tabela 4: Propriedade energéticas, densidade básica e densidade energética do pecíolo de *M. flexuosa*

Propriedades	Componente	
	Miolo	Casca
Densidade Básica (g/cm^3)	0,0415	0,2670
Densidade Energética (MJ/m^3)	703,425	4712,55
Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	16,95	17,65
Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)	15,60	16,29

A densidade da madeira possui relação direta com a densidade do carvão. Tal fato torna-a um dos parâmetros para a seleção de espécies na produção de energia (MOUTINHO et al, 2016). Porém o pecíolo por ter apresentado baixa densidade, possivelmente terá como produto carvão de baixa densidade energética.

Segundo Quirino (2005), não há correlação entre a densidade básica e o poder calorífico. Porém, é possível relacionar o volume de biomassa com o total de calor gerado no processo, que apresentam correlação positiva. Dessa forma, biomassas de alta densidade são preferíveis para a queima porque resultam em maior rendimento do processo. Para Neto et al. (2015), as biomassas com densidade elevada, possuem dificuldade no início do processo de queima, devido à sua maior quantidade de massa por volume, mas quando o processo de combustão é iniciado, o material evidencia uma queima bastante intensa.

A densidade energética encontra-se correlacionada positivamente com a densidade básica e com o poder calorífico. Para o pecíolo de *M. flexuosa* verificou-se que a menor densidade energética do miolo em relação à da casca está relacionada tanto ao menor PCS quanto à menor densidade básica.

Silva e Vale (2018) analisaram 34 espécies arbóreas e obtiveram uma densidade energética média de 5217 MJ/m^3 , onde a espécie com menor densidade energética foi a *Miconia*

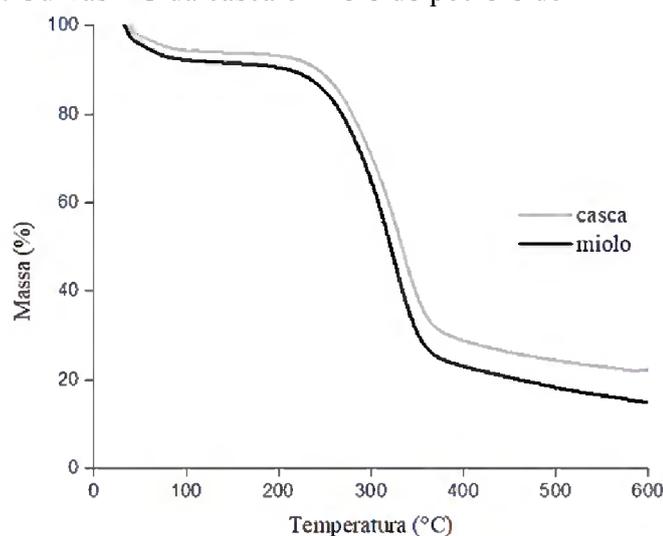
cuspidata 6772 MJ/m³ e a maior foi a *Vochysia gardineri* 2876 MJ/m³ valores superiores aos descrito neste trabalho. Os autores ainda afirmam que quanto maior a densidade básica, maior a quantidade de energia contida por unidade de volume, o que estimula o interesse por biomassas mais densas para a queima.

Para a espécie de bambu (*Bambusa vulgaris*) Vale, Moreira e Martins (2017) encontram valores que variavam de 9400 a 12150 MJ/m³ dependendo da idade e da posição da coleta (topo, meio e base). Já estudo com a cana de açúcar apresenta densidade energética 1014,56 MJ/m³ (NOGUEIRA et al., 2016) valores próximos ao encontrado para casca da *M. flexuosa*.

2.3.4 Análise Termogravimétrica

A casca e o miolo apresentaram comportamento similar, porém a casca apresentou maior resistência à degradação térmica e menor taxa de perda de massa quando comparada ao miolo, ou seja, com o aumento da temperatura o percentual de massa perdido pela casca é menor que o do miolo. A aproximadamente 321°C, o miolo tinha perdido 50% de massa, quanto à casca só atingiu esse mesmo percentual a 333 °C. O miolo perdeu 7% mais massa na temperatura final de 600°C (Figura 12).

Figura 12: Curvas TG da casca e miolo do pecíolo de *Mauritia flexuosa*.



As curvas TG/DTG apresentam três faixas de degradação térmica, a primeira atribuída à secagem da madeira e as outras duas, à degradação de hemiceluloses e celulose, respectivamente, onde cada componente se degrada de maneira distinta em diferentes faixas de temperatura (PEREIRA et al., 2013). Pela curva de perda de massa em função do aumento de

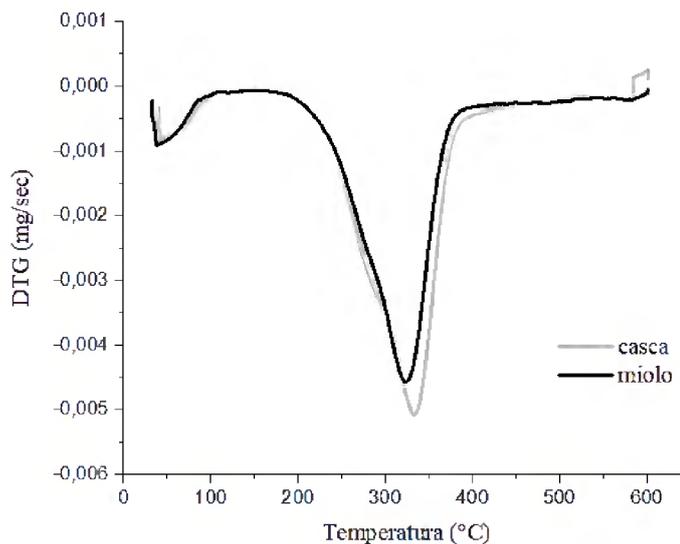
temperatura, é possível gerar informação que sustentam a escolha da temperatura ideal de carbonização (PROTÁSIO et al., 2013).

A estabilidade térmica do material pode ser avaliada usando a curva de TGA, onde são evidenciadas duas etapas de decomposição, atribuídas à degradação da celulose e das hemiceluloses. Alvarez e Vázquez (2004) atribuem o pico ocorrente em 300 °C à decomposição das hemiceluloses e o segundo, por volta de 360 °C, à decomposição da α -celulose. O pico de lignina é mais largo e aparece entre 200 °C e 500 °C, com máxima degradação a 350 °C e aparece sobreposto aos outros dois picos (ALVAREZ; VÁZQUEZ 2004; ROSA et al., 2009).

Entre os três componentes, a lignina é o constituinte mais difícil de decompor, sua decomposição inicia a 100°C e continua lentamente até 900 °C, com uma taxa baixa de perda de massa (MIRANDA et al., 2015).

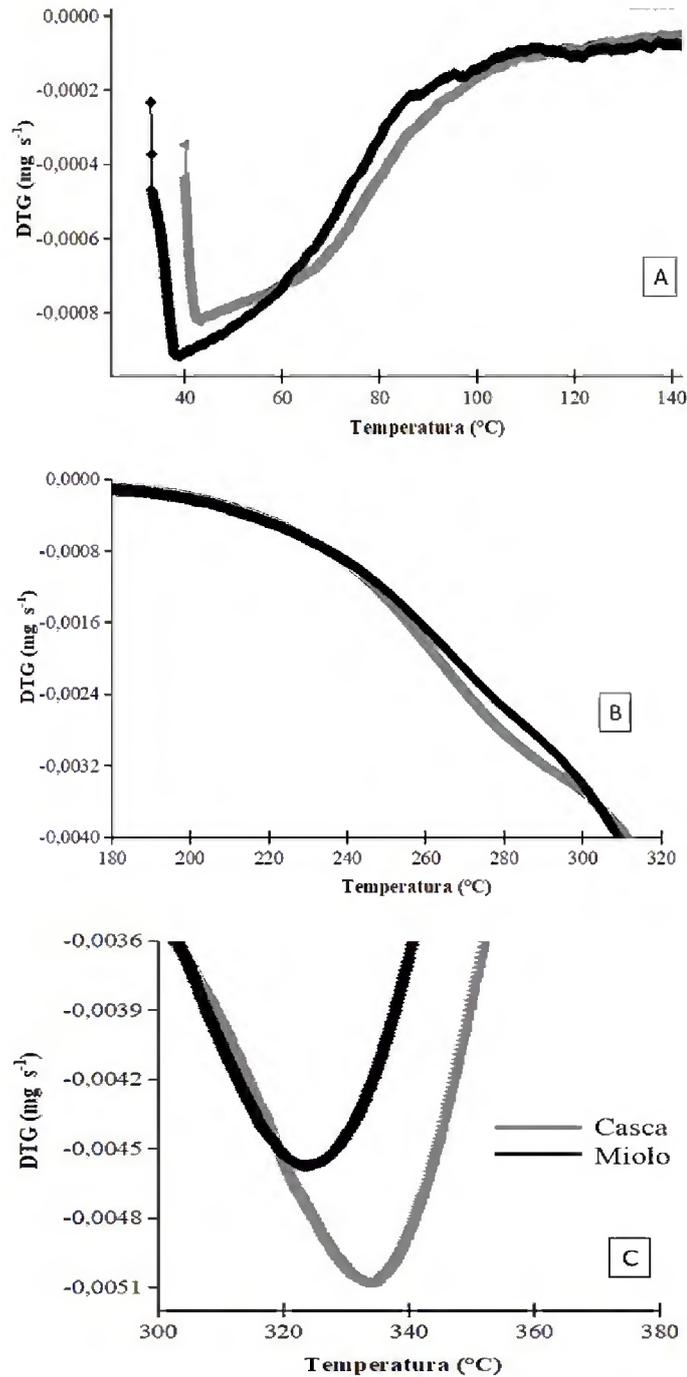
Observa-se que nos perfis de decomposição térmica da casca e do miolo do pecíolo na curva de DTG (Figura 13), é possível caracterizar três picos, correspondentes à degradação térmica de cada um dos seus componentes.

Figura 13: Curvas DTG do pecíolo de *Mauritia flexuosa*.



O primeiro ocorre entre a temperatura ambiente e 150 °C e é atribuído à evaporação da água (Figura 14A). O segundo, que corresponde à degradação das hemiceluloses, começa a cerca de 180 °C e encerra a aproximadamente 300 °C (Figura 14B). O terceiro, referente à celulose, ocorre entre 300 a 400 °C (Figura 14C).

Figura 14: Curvas DTG evidenciando a degradação dos componentes da casca e do miolo do pecíolo de *M. flexuosa*



Como pode ser observado na Tabela 5, a taxa máxima de perda de massa para a casca e miolo ocorreu na faixa de 300 a 400 °C. Os valores encontrados são superiores ao apresentado por Mottin et al. (2016) que observaram que a máxima perda de massa ocorreu a 262°C. Os autores atribuem a rapidez com que uma biomassa atinge a temperatura de degradação à sua

área superficial. Para Mei et al. (2015), o pico máximo que foi observado para o cedro está relacionado com decomposição seletiva de hemiceluloses, celulose e lignina.

Tabela 5: Perda de massa do pecíolo de *Mauritia flexuosa* de acordo com as faixas de temperaturas

Faixa de temperatura (°C)	Perda de massa (%)	
	Casca	Miolo
30-100	5,67	7,79
100-200	1,18	1,73
200-300	22,57	25,51
300-400	41,77	42,34
400-500	4,49	4,84
500-600	2,00	3,39

2.4 CONCLUSÕES

As propriedades do pecíolo de *Mauritia flexuosa* apresenta potencial energético, com destaque para casca, que apresentou maior resistência à degradação térmica e menor taxa de perda de massa da quando comparada ao miolo.

Esse resultado é vantajoso visto que o miolo já é amplamente utilizado para o artesanato da Amazônia, a casca é um subproduto que necessita de corretas destinações.

2.5 REFERÊNCIAS

- ALMADA, T. S. A.; SOUZA, M. J. R.; SANTANA, A. F. P.; GONÇALVES, M. R. B. Caracterização da casca do palmito para uso energético. **Enciclopédia biosfera**, v. 14, n. 26, p. 144, 2017.
- ALMEIDA, L. C. P.; PIVETTA, K. F. L.; GIMENES, R.; ROMANI, G. D. N.; FERRAZ, M. V.; MAZZINI-GUEDES, R. B. Temperature, light, and desiccation tolerance in seed germination of *Mauritia flexuosa* LF. **Revista Árvore**, v. 42, n. 3, 2018.
- ALVAREZ, V. A.; VÁZQUEZ, A. Thermal degradation of cellulose derivatives/starch blends and sisal fibre biocomposites. **Polymer Degradation and Stability**, v. 84, n. 1, p. 13-21, 2004.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D1762-84: standard method for chemical analyses of wood charcoal**. Philadelphia, 2007. 2 p.
- ANDRADE, V. M. S. et al. Considerações sobre clima e aspectos edafoclimáticos da mesorregião Nordeste paraense. In: CORDEIRO, I. M. C. C. et al. **Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: EDUFRA, 2017. 323 p. cap 2.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira — determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C**. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14577: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona**. Rio de Janeiro, 2010a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853: pasta celulósica e madeira - determinação do material solúvel em água**. Rio de Janeiro, 2010b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989: pasta celulósica e madeira - determinação de lignina insolúvel em ácido**. Rio de Janeiro, 2010c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: análise imediata: material volátil, cinzas, carbono fixo**. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: carvão vegetal: determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (ABTCP). **M14/70: métodos de ensaio**. São Paulo: ABTCP, 1974. p. 45-52.
- BARROS, L. A. de. A situação energética nacional e a nova ordem energética a desenvolver. In: **Nação e Defesa**, 1989. Lisboa: Instituto da Defesa Nacional. Ano 14, n. 50, p. 89-104, 1989.
- BATISTA, J. S.; OLINDA, R. G.; MEDEIROS, V. B.; RODRIGUES, C. M. F.; OLIVEIRA, A. F.; PAIVA, E. S.; OLIVEIRA, C. I. A.; MEDEIROS, A. D. C. Atividade antibacteriana e cicatrizante do óleo de buriti *Mauritia flexuosa* L. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 136-141, 2012.
- BJÖRK, Hans; RASMUSON, Anders. Moisture equilibrium of wood and bark chips in superheated steam. **Fuel**, v. 74, n. 12, p. 1887-1890, 1995.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

BRASIL. IBGE. **Cidades - Abaetetuba**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Comportamento de madeiras nativas do no Maranhão frente ao processo de destilação seca. **Brasil florestal**, ano 11, n. 45, p. 47-55, 1981.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia**. Circular técnica n. 52, IPEF, 1979.

BUFALINO, L. et al. Local variability of yield and physical properties of açai waste and improvement of its energetic attributes by separation of lignocellulosic fibers and seeds. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 10, n. 5, p. 053102, 2018.

BUFALINO, L. **Filmes de nanocelulose a partir de resíduos madeireiros da Amazônia**. 2014. 106 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CASTILLO, M.U. Determinacion del poder calorifico de 20 espécies forestales de la Amazonia peruana. **Revista Florestal do Peru**, v. 12, n. 1-2, p. 98-117, 1984.

CATTANI, I. M.; BARUQUE-RAMOS, J. **Fibra de buriti (*Mauritia flexuosa* Mart.) e aplicações em produtos têxteis**. 2º CONTEXMOD, v. 1, n. 2, p. 15-30, 2014.

DINIZ, J.; CARDOSO, A. D. L.; STAHL, J. A.; VILLETTI, M. A.; MARTINS, A. F. Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. **Ciência e Natura**, v. 26, n. 2, p. 25-32, 2004.

ESTIATI, I.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T.; AGUADO, R.; OLAZAR, M. Fitting performance of artificial neural networks and empirical correlations to estimate higher heating values of biomass. **Fuel**, v. 180, p. 377-383, 2016.

FERNANDES, N. SCHLEMMER, D.; SALES, M. J. A.; RESCK, I. S. Preparação, caracterização e degradação de blendas PS/TPS usando glicerol e óleo de buriti como plastificantes. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 6-13, 2010.

FRANÇA, L. F.; REBER, G.; MEIRELES, M. A. A.; MACHADO, N. T.; BRUNNER, G. Supercritical extraction of carotenoids and lipids from buriti (*Mauritia flexuosa*), a fruit from the Amazon region. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 14, n. 3, p. 247-256, 1999.

FRANZEN, D. C. Estudo das propriedades físicas e químicas de madeiras provenientes de espécies nativas da Amazônia Legal. **Enciclopédia biosfera**, v.15, n.27, p. 499- 509, 2018.

GARCÍA, R.; PIZARRO, C.; LAVÍN, A. G.; BUENO, J. L. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. **Bioresource Technology**, v. 103, n. 1, p. 249-258, 2012.

GOULART, S. L.; MORI, F. A.; RIBEIRO, A. D. O.; COUTO, A. M.; ARANTES, M. D. C.; MENDES, L. M. Análises químicas e densidade básica da madeira de raiz, fuste e galho de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* Coville) de bioma cerrado. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 59-66, 2012.

- KIM, D.; LEE, K.; PARK, K. Y. Upgrading the characteristics of biochar from cellulose, lignin, and xylan for solid biofuel production from biomass by hydrothermal carbonization. **Journal of industrial and Engineering Chemistry**, v. 42, p. 95-100, 2016
- LORENZI, H.; NOBLICK, L.; KAHN, F.; PEREIRA, E. **Flora Brasileira: Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa: Instituto Platorum P.S., 2010, 368 p.
- MARTINS, M. P.; BENÍCIO, E. L.; DIAS JÚNIOR, A. F.; ALMEIDA, R. B. D.; CARVALHO, A. M. D.; YAMAJI, F. M. Production and evaluation of charcoal fines briquettes compressed with cellulosic waste from paper and pulp industry. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 173-180, 2016.
- MEI, Y.; LIU, R.; YANG, Q.; YANG, H.; SHAO, J.; DRAPER, C.; ZHANG, S.; CHEN, H. Torrefaction of cedarwood in a pilot scale rotary kiln and the influence of industrial flue gas. **Bioresource Technology**, v. 177, p. 355-360, 2015.
- MIRANDA, C. S.; FIUZA, R. P.; CARVALHO, R. F.; JOSÉ, N. M. Efeito dos tratamentos superficiais nas propriedades do bagaço da fibra de piaçava *Attalea funifera* Martius. **Quimica Nova**, v. 38, p. 161-165, 2015.
- MORAIS, M. J.; OLIVEIRA, M. S.; BARBOSA, E. G.; CRUZ, G. H. T. Caracterização da casca de pequi (*Caryocar Brasiliense* Camb.) para sua utilização como biomassa. In: Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG ,3, 2017, Pirenópolis. **Anais...** Pirenópolis, 2017.
- MOTTIN, A. C. ; AYRES, E. ; OREFICE, R. L. ; CAMARA, J. J. D. What changes in poly (3-hydroxybutyrate) (PHB) when processed as electrospun nanofibers or thermo-compression molded film?. **Materials Research**, v. 19, n. 1, p. 57-66, 2016.
- MOUTINHO, V. H. P.; ROCHA, J. J. M.; AMARAL, E. P.; SANTANA, L. G. M.; ÁGUIAR, O. J. R.. Propriedades químicas e energéticas de madeiras amazônicas do segundo ciclo de corte. **Floresta Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 443-449, 2016.
- M ZEL, S. D.; OLIVEIRA, K. A.; HANSTED, F. A. S.; PRATES, G. A.; GOVEIA, D. Poder calorífico da madeira de *Eucalyptus grandis* e da *Hevea brasiliensis*. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 8, n. 2, p. 166-172, 2014.
- NETO, A. D. P. M.; LINS, C. F.; BRANDÃO, S.; DUARTE, B.; ALMIR, J.; MARANGON, L. C.; FELICIANO, A. L. P. Densidade e poder calorífico como base para prevenção de incêndios florestais sob linhas de transmissão. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 10-15, 2015.
- NOGUEIRA, K. M. V.; NUNES, J. V. S.; RIOS, M. A. S. Análise da densidade energética do briquete de bagaço de cana-de-açúcar em função da pressão de compactação. **Encontros Universitários da UFC**, v. 1, n. 1, p. 742, 2016.
- OLIVEIRA, J. T. S.; SOUZA, L. C.; DELLA LUCIA, R. M.; SOUZA JÚNIOR, W. P. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. SIF (Sociedade de Investigações Florestais). **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.
- PASSOS, M. A. B.; MENDONÇA, M. S. Epiderme dos segmentos foliares de *Mauritia flexuosa* L. f. (Arecaceae) em três fases de desenvolvimento. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 431-436, 2006.

PASSOS, M. A. B.; MENDONÇA, M. S. Epiderme dos segmentos foliares de *Mauritia flexuosa* L. f. (Arecaceae) em três fases de desenvolvimento. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 431-436, 2006.

PEAKE, S.; EVERETT, B.; BOYLE, G. Introducing energy systems and sustainability. In: EVERETT, B.; BOYLE, G.; PEAKE, S.; RAMAGE, J. **Energy systems and sustainability**. Oxford: Oxford University, p. 1-45, 2012.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L, TRUGILHO, P. F., MELO, I. C. N. A; OLIVEIRA, A. C. Estudo da degradação térmica da madeira de *Eucalyptus* através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, 2013.

PEREIRA, M. A.; SILVA, J. R. M.; RABELO, G. F.; ANDRADE, A. C. A. Propriedades anatômicas, químicas e de densidade da madeira de *Coffea arabica* L. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 363-367, 2014.

PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2017**. Rio de Janeiro. 2017. Disponível em < http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-81/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf> acessado em 25 de outubro de 2018.

PESSOA, J. D. C; TEIXEIRA, G.H de A. Tecnologias para inovação nas cadeias *Euterpe*. Brasília: **Embrapa**, 2012. 343 p.

PROTÁSIO, T. D. P.; MELO, I. C. N. A. D.; GUIMARÃES JUNIOR, M.; MENDES, R. F.; TRUGILHO, P. F. Thermal decomposition of torrefied and carbonized briquettes of residues from coffee grain processing. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 3, p. 221-228, 2013.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. D. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da madeira**, n. 89, p. 100-106, 2005.

ROCHA, J. D.; PÉREZ, J.M. M.; CORTEZ, L.A.B. **Aspectos Teóricos e Práticos do Processo de Pirólise de Biomassa**. Curso: Energia na indústria de açúcar e álcool. UNIFEI, p. 1-22, 2004.

RODRIGUES, A.; CRUZ, M. A. N. O. E. L.; BEZERRA, C. V.; SILVA, I. Q. D.; SILVA, L. H. M. D. Propriedades reológicas do suco de buriti (*Mauritia flexuosa*). **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 38, n. 1, p. 176-186, 2016.

ROSA, M. F.; CHIOU, B. S.; MEDEIROS, E. S.; WOOD, D. F.; WILLIAMS, T. G.; MATTOSO, L. H., ... & IMAM, S. H. Effect of fiber treatments on tensile and thermal properties of starch/ethylene vinyl alcohol copolymers/coir biocomposites. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 21, p. 5196-5202, 2009.

ROSOT, N. C. **Estimativa do peso de madeira seca de *Pinus taeda* L. por ocasião do primeiro desbaste**. 1980. 90 p. Dissertação (mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

ROVIERO, J. P.; FREITA, L. A.; FREITA, C. M.; TRALLI, L. F.; SILVA, A. F.; MUTTON, M. J. R. Poder calorífico da palha e do bagaço de cana após pré-tratamento e hidrólise. **Ciência & Tecnologia Fatec-JB**, v. 10, p. 37-42, 2018.

SAMPAIO, J. A.; SILVA, F. A. N. G. **Determinação das densidades de sólidos e de polpa.** Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais – CETEM/MCT, UFRJ, 2007. Disponível em <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1019/1/Cap%202%20Densidade%20Final.pdf>> acessado em 27 de outubro de 2018.

SAMPAIO, M. B.; CARRAZZA, L. R. Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do Buriti (*Mauritia flexuosa*). Brasília: **Instituto Sociedade, População e Natureza** (ISPN), 2012. 80 p.

SANTANA, M. A. E.; OKINO, E. Y. A. Chemical composition of 36 brazilian amazon forest wood species. **Holzforschung**, v. 61, n. 5, p. 469 - 477, 2007.

SANTOS, R. S.; COELHO-FERREIRA, M. Miriti artifacts (*Mauritia flexuosa* L. f.) in Abaetetuba, Pará State, Brazil: from production to marketing. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 6, n. 3, p. 559-571, 2011.

SILVA, A. P.; MELO, B.P. Fruteiras do cerrado. Disponível em <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/fruteiras%20do%20cerrado.html>> acessado em 01 de agosto de 2017.

SILVA, C. J. VALE, A. T; MIGUEL, E. P. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 63-75, 2015.

SILVA, C. J; VALE, A. T. Density model for forest species from cerrado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 396-404, 2018.

SILVA, D. S.; HOLANDA, C. A.; SANTANA, S. A.; BEZERRA, C. W. B.; SILVA, H. A. Adsorção do corante têxtil azul remazol por pecíolo de buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.). **Cadernos de pesquisa**, v. 9, n. especial, 2012.

SILVA, J. de C. e; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. **IPEF**, v. 34, p. 31-34, 1986.

SILVA, L. L. H.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; PIMENTA, M. A. C.; PIMENTA, A. S.; DANTAS, M. K. L. Energy characteristics of charcoal aroeira (*Myracrodruon urundeuva* allemao) and leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit). **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 412-420, 2018.

SOUZA, S. D.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum Technology**, v. 26, n. 2, p. 127-133, 2004.

TEIXEIRA, M. A. Biomassa de babaçu no Brasil In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, n. 4, Campinas. 2002. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2002.

TODARO, L., RITA, A., CETERA, P.; D'AURIA, M. Thermal treatment modifies the calorific value and ash content in some wood species. **Fuel**, v. 140-155, p. 1-3, 2015.

VALE A. T. BRASIL, M. A. P. LEÃO A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p 71-80, 2002.

VALE, A. T.; MOREIRA, A. C. O.; MARTINS, I. S. Avaliação do potencial energético de *Bambusa vulgaris* em função da idade. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e00123314, 2017.

VIEIRA, A. C.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Varia Scientia Agrarias**, v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.

VIRAPONGSE, A.; ENDRESS, B. A.; GILMORE, M. P.; HORN, C.; ROMULO, C. Ecology, livelihoods, and management of the *Mauritia flexuosa* palm in South America. **Global Ecology and Conservation**, v. 10, p. 70-92, 2017.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

3. EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS NO PECÍOLO DE *Mauritia flexuosa* L.F.

3.1 INTRODUÇÃO

A *Mauritia flexuosa*, conhecida como buriti, é uma palmeira presente no território brasileiro. É de grande versatilidade, pois todas as suas partes podem ser integralmente utilizadas, principalmente como alimento e na fabricação de artesanato, sendo a principal fonte de renda para muitas pessoas nas comunidades ribeirinhas no norte do país. A característica mais expressiva desse material é a sua baixa densidade que lhe proporciona potencial como absorvente e materiais de construção com isolamento térmico e acústico (VOLFKOVICH; FILLIPOV; BAGOTSKY, 2014).

Buscando melhorar aspectos tecnológicos de materiais lignocelulósicos, (características físico-mecânicas, químicas e biológicas) é possível realizar tratamentos térmicos em biomateriais conhecidos como retificação térmica ou termorretificação, geralmente conduzido a altas temperaturas que variam de 100 a 250 °C (HULLER et al., 2017).

A modificação térmica é um processo em que o calor é aplicado à normalmente madeira em temperaturas que provocam o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses, que são os mais sensíveis à ação do calor (HULLER et al., 2017).

Além disso, suas propriedades organolépticas como cheiro e cor também são afetadas, junto com as propriedades mecânicas por alterações de massa, cristalinidade e redução do grau de polimerização devido à decomposição dos componentes primários e liberação de vapor água (ALVAREZ; VÁZQUEZ, 2004).

Aplicar a termorretificação no pecíolo da *M. flexuosa*, assim como na madeira (BRITO et al., 2006), possivelmente proporcionaria um produto sólido apresentando características diferenciadas comparativamente a seu estado original, sendo que algumas delas podem ser interessantes para aplicações diversas.

Nesse contexto, o presente estudo objetivou analisar o efeito da termorretificação sobre as propriedades físicas e mecânica do pecíolo de *Mauritia flexuosa*.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Coleta do material e preparo das amostras

A coleta foi realizada no município de Abaetetuba, pertence a Mesorregião do Nordeste Paraense e à Microrregião de Cametá (IBGE, 2016). O clima da região é do tipo Af (clima tropical chuvoso de floresta), segundo a classificação de Köppen. A temperatura média

anual é de 27 °C, com a amplitude térmica variando de 21 °C a 33 °C com solo do município predominantemente do tipo Latossolo Amarelo distrófico (ANDRADE et al., 2017).

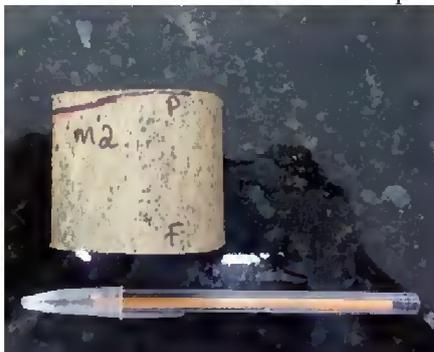
Para este trabalho, foram selecionados aleatoriamente 5 indivíduos (palmeiras) que apresentaram boa fitossanidade, sendo de cada uma coletada 1 folha, para retirada dos pecíolos. Os pecíolos foram secos ao ar livre e em seguida descascados para obtenção do miolo.

Para identificação da espécie, foram coletados material botânico composto de folhas e frutos, foram enviados ao laboratório de botânica da Embrapa Amazônia Oriental e identificados pelo método de comparação com amostras já identificadas do herbário IAN e posteriormente confirmadas por especialista.

3.2.2 Tratamento Térmico

As amostras foram seccionadas com 5 cm (Figura 15) e secas em estufa por 24h a temperatura de 105 ± 2 °C previamente aos tratamentos. Os tratamentos térmicos ocorreram em forno tipo mufla a 180 °C por 60 minutos (T_{60}) e à 150 minutos (T_{150}). As amostras foram retiradas da mufla e em seguida resfriadas até 25 °C. Para cada tratamento, dez repetições foram tratadas (duas por pecíolo). Os pecíolos tratados foram comparados com os pecíolos não tratados (T_0).

Figura 15: corpo de prova de 5cm de altura retirado do pecíolo de *Mauritia flexuosa*



3.2.3 Análise química molecular

A análise química molecular foi realizada para o pecíolo não tratado. O teor de extrativos totais (com base na massa total) foi determinado de acordo com a norma NBR 14853 (ABNT, 2010b). Para extrativos solúveis em água foi utilizada a norma NBR 14577 (ABNT, 2010a)

O teor de lignina insolúvel (com base na massa livre de extrativos) foi determinado conforme as recomendações da norma NBR 7989 (ABNT, 2010b).

O teor de minerais na forma de cinzas com base na massa total foi obtido utilizando um forno do tipo mufla seguindo os procedimentos dispostos na norma NBR 13999 (ABNT, 2017).

O teor holocelulose (base massa livre de extrativos) foi determinado por extração da lignina com clorito de sódio e ácido acético de acordo com a metodologia apresentada por Browning (1963). Em seguida, a partir da holocelulose, o teor de celulose foi obtido pela metodologia proposta por Keneddy, Phillips e Williams (1987) com o uso de hidróxido de potássio.

A diferença entre os valores de holocelulose e de celulose corrigidos forneceu os teores de hemiceluloses. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

3.2.4 Densidade

A determinação da densidade do pecíolo foi calculada para o pecíolo tratado e não tratado.

As amostras foram condicionadas em estufa com circulação de ar a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ e pesadas até obterem massa constante (0 % de umidade), em seguida, foi determinado o volume da amostra pelo método da balança hidrostáticas. Posteriormente foi calculada a densidade anidra das amostras conforme a Equação 4.

Equação 4

$$Da = \frac{MS\ 0\%}{V\ 0\%}$$

Onde:

Da: densidade anidra (g/cm^3);

MS 0%: massa seca a 0% de umidade (g);

V 0%: volume a 0% de umidade (cm^3).

Após a determinação da densidade a 0% de umidade, as amostras foram saturadas em dessecador com bomba a vácuo para posterior determinação do volume saturado. Em seguida, foram pesadas para obtenção da massa constante a 0% em balança com precisão de 0,0001g. A densidade básica foi calculada pela relação entre a massa absolutamente seca (0% de umidade) e o volume saturado, conforme equação 5.

Equação 5

$$Db = \frac{MS\ 0\%}{VS}$$

Onde:

Da: densidade básica (g/cm^3);

MS 0%: massa seca a 0% de umidade (g);

Vs: volume saturado (cm^3).

3.2.5 Difração de Raios-X

Para obtenção dos difratogramas utilizou-se um difratômetro modelo XRD 600 (Rigaku®) operando com 30 kV, 30 mA e radiação CuK α ($\lambda = 1540 \text{ \AA}$). As amostras foram compactadas nos sulcos de porta amostras de alumínio. O escaneamento foi realizado a uma taxa de $2\theta/\text{min}$ de 0 a 90° . O índice de cristalinidade foi calculado a partir da intensidade máxima obtida no pico de cristalinidade principal do difratograma e da intensidade mínima localizada entre os dois picos cristalinos pela Equação 6 sugerida por Segal et al (1959).

Equação 6

$$IC = \left(1 - \frac{I_{am}}{I_c} \right) * 100$$

Onde:

IC : o índice de cristalinidade (%);

I_c : a intensidade máxima do pico cristalino localizado a $2\theta = 22,6^\circ$;

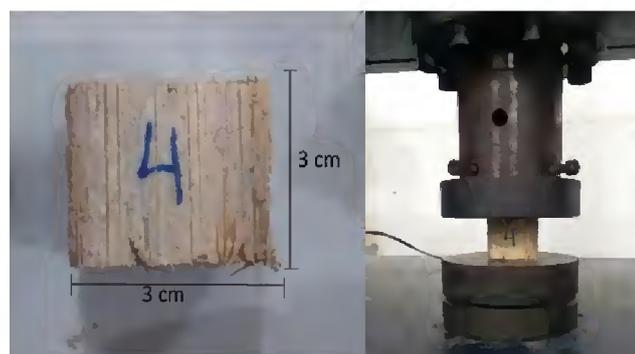
I_{am} : intensidade mínima obtida entre os picos localizados a $2\theta = 16,5^\circ$ e a $2\theta = 22,6^\circ$.

3.2.6 Resistência física e mecânica

Foi calculado o percentual da quantidade de água absorvida e inchamento volumétrico das amostras quando imersas em água da condição absolutamente seca (0%) até saturação da massa e volume. Essas propriedades foram determinadas de acordo com as normas ASTM D1037/2012.

Para determinação da resistência à compressão, os ensaios foram realizados de acordo com a norma NBR 7190/1997 adaptada em corpos de prova com dimensões de $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}$ (Figura 16).

Figura 16: Determinação da resistência a compressão do pecíolo de *M. flexuosa*.



A resistência à compressão paralela às fibras é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova com seção transversal quadrada sendo calculada pela Equação 7.

Equação 7

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Onde:

σ : tensão é a resistência à compressão paralela às fibras (MPa);

F : máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio (N);

A : área inicial da seção transversal comprimida (mm²).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Química molecular

A caracterização química completa do pecíolo *in natura* compreende os teores de extrativos totais, inorgânicos, lignina e holocelulose que é formada pela celulose e as hemiceluloses (Tabela 6).

Tabela 6: Composição química do pecíolo da *Mauritia flexuosa*

Análise	-----%-----
Extrativos*	8,88 ^(0,13)
Inorgânicos*	2,09 ^(0,005)
Lignina**	19,2 ^(2,16)
Holocelulose**	78,38 ^(0,97)
Celulose**	42,05 ^(0,78)
Hemiceluloses**	36,33 ^(0,29)

*base massa total de madeira; **base massa de madeira livre de extrativos; desvio padrão entre parênteses.

A holocelulose com 78% é o que possui maior proporção sendo representada pela soma de celulose com hemiceluloses (42% e 36%, respectivamente). Esses valores foram próximos do encontrado por Sousa (2016) que reportou 75% de holocelulose (Celulose 61% + Hemicelulose 14%), 17% de lignina e 2% de cinzas para o pecíolo de *M. flexuosa*.

A composição química está de acordo com os dados publicados por Pereira et al. (2003) que relataram a composição geral das folhas da *M. flexuosa* é de 44% a 63% para celulose, 16,54% de lignina, 2,15% de cinza e 13% de extrativos.

As análises químicas são utilizadas com finalidade técnica e científicas de conhecer a composição material e assim fazer inferências sobre o potencial de uso. Atividades como polpação e branqueamento, durabilidade natural, desenvolvimento da proteção da madeira,

produção de carvão vegetal, etc, são alguns exemplos que requerem o conhecimento da composição química do material (SANTANA e OKINO, 2007).

O terceiro constituinte mais abundante da biomassa é lignina correspondendo a 19,2% da composição química do material. Este componente apresenta maior resistência à degradação térmica quando comparado com celulose e às hemiceluloses). O teor de holocelulose e lignina são inversamente proporcionais, (VITAL; JESUS; VALENTE, 1986).

Os extrativos são compostos químicos que não fazem parte da estrutura da parede celular, classificados em solúveis em água ou solventes orgânicos neutros (MORAIS et al., 2005). De modo geral, quanto maior o teor de extrativos orgânicos presentes na biomassa, menor será a sua permeabilidade, atuando assim como barreira natural à passagem de fluídos (COSTA et al., 2017). Estes componentes corresponderam a aproximadamente 9% do pecíolo de *M. flexuosa*.

Os componentes inorgânicos quantificados na forma de cinzas também não fazem parte da estrutura da parede celular das células. O teor de cinzas observados para o pecíolo foi de 2,09% foram inferiores ao encontrado (1,45%) por Leite et al. (2015) para a madeira de *Coffea arabica* L.

A análise geral da composição química demonstrou que o pecíolo *in natura* consiste de maior teor de celulose seguida da hemicelulose e lignina, essa ordem é similar a outras biomassas, como as de origem agrícola a ordem da quantidade dos componentes não celulósicos sendo a hemiceluloses em maior proporção que a lignina, isso acontece para o milho (celulose 39%; hemiceluloses 22 %; lignina 19%), para a casca de arroz (celulose 35%; hemiceluloses 33 %; lignina 23%) e para cana-de-açúcar (celulose 43%; hemiceluloses 23 %; lignina 21%) (CHEN et al., 2009; JOHAR et al., 2012; KIM; DAY, 2011). Já para biomassas de origem madeireira como o *Eucalyptus grandis* e *Pinus resinosa* (CANETTIERI et al., 2007; BALDOCK; SMERNIK, 2002) o constituinte de maior proporção é a celulose seguida e lignina e hemicelulose.

3.3.1 Densidade

Os resultados da densidade básica e anidra indicam que o tratamento térmico T₆₀ induziu um aumento da densidade do pecíolo quando comparado com T₀. Porém quando comparamos T₆₀ com T₁₅₀ as amostras apresentaram redução nos valores de densidade. Observou-se que a maior Densidade anidra encontrada foi de 0,075 g/cm³ para o pecíolo tratado a 180° C por 60 min, seguida daquele tratado por 150 min (0,066 g/cm³) e depois pela testemunha (0,062 g/cm³), essa sequência se repetiu para a Db (Tabela 7).

Tabela 7: Densidade básica e anidra do pecíolo de *M. flexuosa*

Propriedades	Tratamento		
	T ₀	T ₆₀	T ₁₅₀
Densidade Anidra (g/cm ³)	0,062 ^(0,03)	0,075 ^(0,02)	0,066 ^(0,003)
Densidade Básica (g/cm ³)	0,042 ^(0,01)	0,051 ^(0,01)	0,047 ^(0,003)

T₀: *in natura*; T₁: 180° C 1h; T₂: 180° C 2:30h; desvio padrão entre parênteses

O processo de termorretificação geralmente ocasiona contração e perda da massa do material tratado (CARVALHO et al., 2017). O tratamento térmico T₆₀ aumentou a densidade básica e anidra do pecíolo, sendo esse aumento justificado pela contração nesse caso não ter sido proporcional a perda de massa, e sim maior.

O tratamento T₁₅₀ apresentou apesar de ter aumentado a densidade em comparação com o T₀, quando comparado com T₆₀ houve a diminuição dessa propriedade física. Esperava-se maior redução da densidade com o aumento da temperatura (RODRIGUES; ROUSSET, 2009), uma vez que quanto maior a temperatura maior degradação dos componentes da parede celular, principalmente, holocelulose que são os primeiros afetados com o aumento da temperatura.

Esse comportamento foi demonstrado por Carvalho et al. (2017) onde as madeiras temorretificadas de *Eucalyptus urophylla* e *Pinus oocarpa* apresentaram aumento de densidade com temperaturas de 175°C e diminuição da densidade quando a temperatura de tratamento foi de 200°C.

A madeira é um material que pode ser classificado como de alta (0,720 g/cm³), média (0,551 a 0,720 g/cm³), ou baixa densidade (0,550 g/cm³), de acordo com Silva, Vale e Miguel (2015). O pecíolo de *M. flexuosa* apresenta densidade básica aproximadamente 13 vezes inferior às madeiras de baixa densidade.

Os materiais que apresentam baixa densidade tendem a apresentar propriedades adequadas para isolamento térmico (SOUZA; CARVALHO, 2017), como o poliestireno expandido (EPS) e a espuma de poliuretano que são os principais isolantes térmicos utilizados na construção civil e apresentam densidades de 0,009 - 0,04g/cm³ e 0,032 g/cm³, respectivamente (NOVAIS et al., 2015; PINTO; COLLATO, 2017).

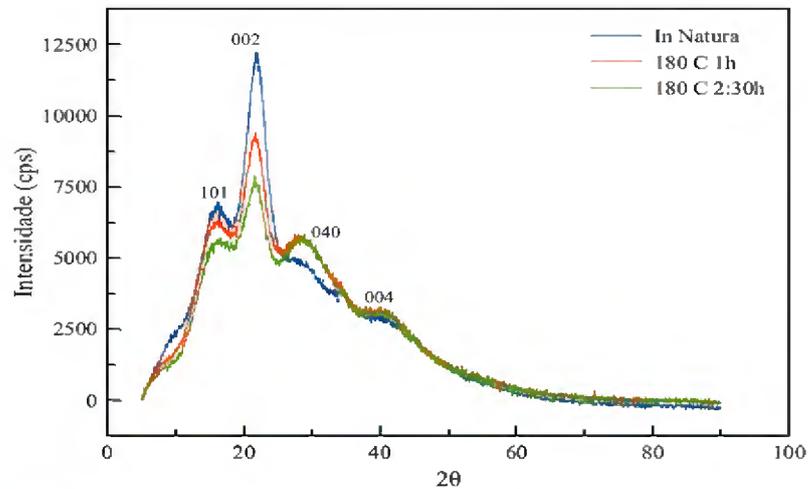
3.3.2 Difração de Raio-X

O difratograma de Raios-X do pecíolo (Figura 16) apresenta comportamento típico de estrutura semicristalina, o qual evidência dois picos bem definidos referentes às fases amorfa e cristalina do material. O pico de menor intensidade (I_{am}) é referente à fase amorfa das

microfibrilas de celulose e se encontra próximo de $2\theta = 18^\circ$. Já, o pico mais elevado (I002) está relacionado à fração cristalina das microfibrilas de celulose e está próximo de $2\theta = 22^\circ$.

Os padrões de difração obtidos para (A) pecíolo *in natura*, (b) pecíolo tratado a 180°C por 60 min e (c) pecíolo tratado a 180°C por 150 min são típicos da celulose I com três picos cristalinos bem definidos em torno de $2\theta = 18^\circ$, 22° e 28° (Figura 17). O pico de menor intensidade (Iam) é referente halo amorfo e se encontra próximo de $2\theta = 18^\circ$. O pico mais elevado (I002) está relacionado à fração cristalina e está próximo de $2\theta = 22^\circ$. O picos $2\theta = 28^\circ$ das amostras tratadas se tornam mais definido com os tratamentos térmicos.

Figura 17: Difratomogramas dos pecíolos de *M. flexuosa* na condição não tratada (*in natura*), tratada a 180°C por 60 min e 150 min



As microfibras são compostas de regiões cristalinas, onde as cadeias de celulose estão ordenadas e alinhadas paralelamente ao eixo, e por região desordenadas. A celulose é um dos mais abundantes materiais na terra e é encontrada como celulose I (cadeias paralelas) que se formam naturalmente, enquanto a celulose II (cadeias antiparalelas) é encontrada após modificações químicas (MOURA et al., 2018).

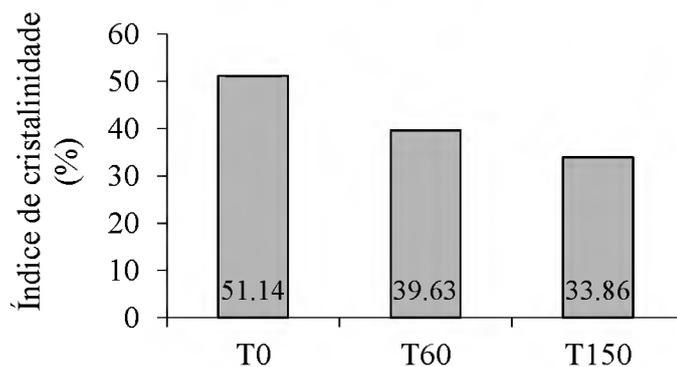
A celulose é um material de alta cristalinidade (BENADUCCI; BRANCIFORTI, 2016) que tem estrutura cristalina diferente da hemiceluloses e lignina, que são de estrutura amorfa. Essa cristalinidade da celulose está associada a interações de ligação do hidrogênio e da força de Van der Waals entre as moléculas (ZHANG; LYND, 2004).

É possível observar que o material apresenta um difratograma típico de celulose I, com picos na região amorfa (18°) e picos na região cristalina (22°), correspondendo aos planos

cristalográficos (101), (002) e (040) comportamento similar ao bagaço da cana de açúcar (PAIVA; MULINARI, 2017; PEREIRA et al., 2012).

O índice de cristalinidade foi determinado para as amostras e os resultados estão resumidos na Figura 18. Após o tratamento térmico, o índice de cristalinidade continuamente diminuiu, sendo o maior valor (51,14%) corresponde à pecíolo não tratado, que também exibiu o pico mais forte e mais nítido em $2\theta = 22^\circ$.

Figura 18: Índices de cristalinidade obtidos dos pecíolos de *M. flexuosa* não tratadas (T0) e tratado termicamente a 180 ° C por 60 min e por 150 min.



Geralmente os tratamentos térmicos promovem o aumento da cristalinidade em comparação com a matéria-prima *in natura*, atribuindo esse fato à remoção progressiva de materiais não celulósicos amorfos. Nesse caso a diminuição subsequente do valor de IC% demonstra que houve degradação dos componentes amorfos e também de parte da celulose cristalina.

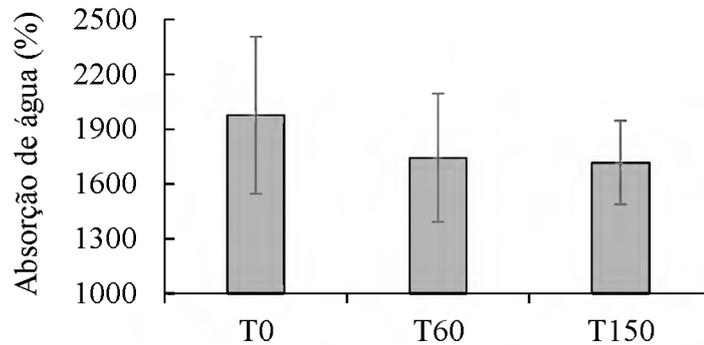
Quando analisado o IC obtido do pecíolo (Figura 18), observou-se um valor superior ao da palmeira real australiana de 28% (ROCHA; MULINAR, 2017). Além disso, o valor foi inferior quando comparados a outros materiais, tais como, bagaço de cana-de-açúcar com IC de 51% (MOTAUNG; ANANDJIWALA, 2015), linhaça com IC de 60% e cânhamo com IC de 58% (FOCHER et al., 2001).

3.3.3 Resistência física

Para os tratamentos T₆₀ e T₁₅₀ a absorção de água apresentou um decréscimo de aproximadamente 11,78% e 13,15% respectivamente, em comparação com o material não tratado (T0). Os valores médios de absorção de água para o material não tratado e tratado foram 1975,68% ± 430, 1743,11% ± 351 e 1715,93% ± 229, respectivamente. Os valores do pecíolo não tratado foram superiores em relação aos pecíolos tratados sob as duas condições. Os valores

de absorção das amostras modificadas termicamente não foram estatisticamente diferentes (Figura 19).

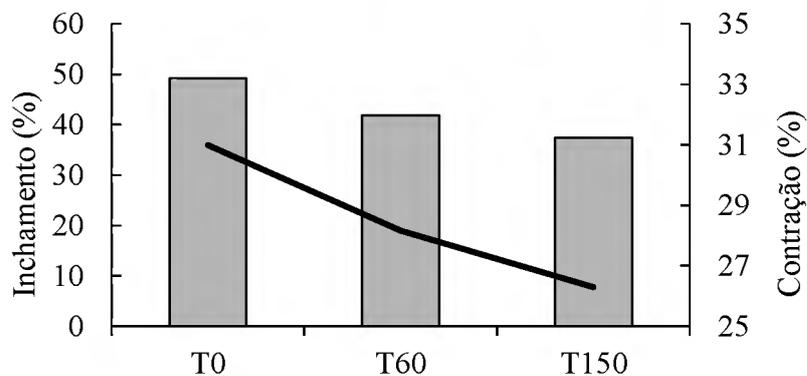
Figura 19: Absorção de água pelo pecíolo *M. flexuosa* não tratado (T0) e tratado termicamente a 180 ° C por 60 min (T₆₀) e por 150 min (T₁₅₀).



Para espécies madeireiras, o comportamento é semelhante. Com o aumento da temperatura e do tempo de tratamento ocorre a diminuição na absorção de água em cerca 35-38% (CADEMARTORI et al., 2014; PERTUZZATTI et al., 2016).

Para o inchamento volumétrico os valores médios também diminuíram com os tratamentos térmicos sendo que o material *in natura* apresentou valores de 49,25% ± 29,31, enquanto que os tratados termicamente 180°C foram de 41,82 % ± 21,14 e 37,43% ± 15,99 para 60 min e 150 min respectivamente (Figura 20). Esse comportamento se repetiu para os dados de contração volumétrica para a condição não tratada (30,99% ± 12,10), 60 min (28,16% ± 8,99) e 150 min (26,29% ± 8,21).

Figura 20: Contração (linha) e inchamento volumétrico (barra) do pecíolo de *M. flexuosa* não tratada (T0) e tratado termicamente a 180 ° C por 60 min (T₆₀) e por 150 min (T₁₅₀).



Menezes et al. (2014), analisando três temperaturas de termorretificação (140° C, 160°C e 180°C), observou que a temperatura de 180° C foi a que mais reduziu o inchamento volumétrico das espécies de *Eucalyptus saligna* e *Corymbia citriodora*. Resultado semelhantes

aos descritos por Huller et al., (2017) que verificou que tratamento térmico aplicado na madeira de *Eucalyptus cloeziana* também reduziu a quantidade de água absorvida bem como o inchamento volumétrico das amostras.

3.3.4 Resistência mecânica

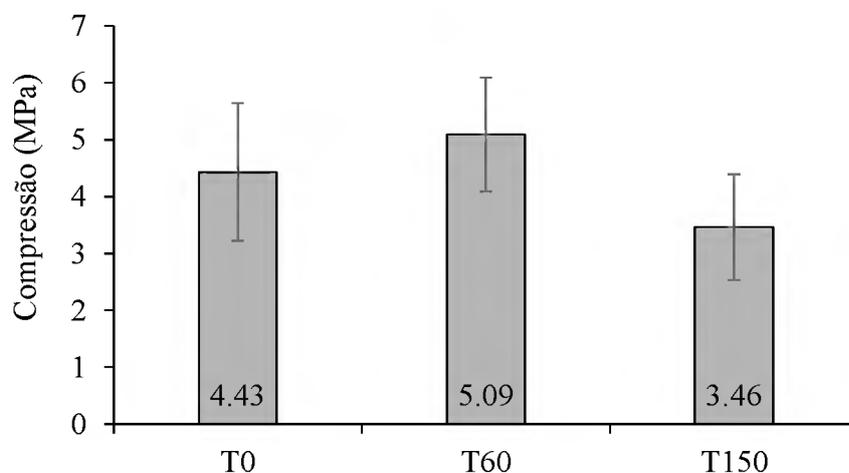
Nos testes de compressão, obteve-se nas amostras tratadas a 180°C por 60 min (T₆₀) uma resistência média 14,90 % maior relação as amostras não tratadas (T₀). Já para as amostras 180°C por 150 min (T₁₅₀) o tratamento ocasionou a diminuição da resistência em 21,90 %.

Esse resultado encontrado para T1 (5,09 MPa) é similar ao encontrado por Soares (2014) para o *Ochroma pyramidale* conhecida como Pau de balsa (5,93 MPa) (Figura 21).

Modes et al. (2017) aplicaram tratamento térmico (130° C por 3h) na madeira de *Pinus taeda*, e observaram que, embora sem influência significativa, o tratamento térmico reduziu 7,97% dos valores de compressão quando comparados com amostras não tratadas.

Verifica-se que o tratamento de maior densidade básica de T1 (0,051 g/cm³) atingiu a maior resistência mecânica nos ensaios de compressão, em comparação com T2 e *in natura*, evidenciando uma relação entre a densidade e as suas propriedades. Esse comportamento foi observado no Lobão et al. (2004) para madeiras de eucalipto indicando que a densidade influencia intensamente a resistência mecânica da madeira.

Figura 21: Resistência a compressão pecíolo de *M. flexuosa* não tratada (T₀) e tratado termicamente a 180 ° C por 60 min (T₆₀) e por 150 min (T₁₅₀).



Esse comportamento pode ser observado para outros materiais como o poliestireno expandido (EPS) muito utilizado na construção civil. Um estudo realizado por Avesani Neto

(2008) verificou que a resistência à compressão do EPS pode ser relacionada diretamente à densidade, onde o aumento da densidade aumentou de forma linear a resistência do material.

3.4 CONCLUSÕES

O pecíolo termorretificado se tornou menos higroscópico e mais estável dimensionalmente, demonstrando que os tratamentos térmicos aplicados a 180° C são eficientes na melhoria das propriedades físicas avaliada.

Entretanto, pode-se afirmar o aumento do tempo do tratamento térmico reduz a resistência a compressão paralela as fibras do pecíolo espécie *M. flexuosa*.

Como recomendação, sugere-se que futuras pesquisas sejam conduzidas com estas e mais espécies de palmeiras para usos múltiplos, no sentido de otimização do processos industriais e utilização de novas matéria-prima.

3.5 REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V. A.; VÁZQUEZ, A. Thermal degradation of cellulose derivatives/starch blends and sisal fibre biocomposites. **Polymer Degradation and Stability**, v. 84, n. 1, p. 13-21, 2004

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D 1037: standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials**. Philadelphia, 2012.

ANDRADE, V. M. S. et al. Considerações sobre clima e aspectos edafoclimáticos da mesorregião Nordeste paraense. In: CORDEIRO, I. M. C. C. et al. *Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias*. Belém: EDUFRA, 2017. 323 p. cap 2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira — determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14577: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona**. Rio de Janeiro, 2010a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projetos de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989: pasta celulósica e madeira - determinação de lignina insolúvel em ácido**. Rio de Janeiro, 2010b.

AVESANI NETO, J. O. **Caracterização do comportamento geotécnico do EPS através de ensaios mecânicos e hidráulicos**. 2008. 228 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

BALDOCK, J. A.; SMERNIK, R. J. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. **Organic Geochemistry**, v. 33, n. 9, p. 1093-1109, 2002.

BENADUCCI, D.; BRANCIFORTI, M. C. Estudo da estabilidade térmica e propriedades mecânicas de nanocompósitos de poliamida 6, 6 com nanofibras de celulose. **Matéria**, v. 21, n. 4, p. 898-905, 2016.

BRASIL. IBGE. **Cidades - Abaetetuba**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

BRITO, J. O.; NIVALDO GARCIA, J.; BORTOLETTO, G.; CHAGAS PESSOA, A. M.; M LLER DA SILVA, P. H. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. **Cerne**, v. 12, n. 2, 2006.

BROWNING, B.L. **The chemistry of wood**. New York: Interscience, 1963. 689 p.

CADEMARTORI, P.H.G.; MISSIO, A.L.; MATTOS, B.D.; SCHNEID, E.; GATTO, D.A. Physical and mechanical properties and colour changes of fast-growing Gympie messmate wood subjected to two-step steam-heat treatments. **Wood Material Science and Engineering**, v. 9, n. 1, p.40-48, 2014.

- CANETTIERI, E. V.; ROCHA, G. J. M.; DE CARVALHO JR, J. A.; E SILVA, J. B. D. A. Optimization of acid hydrolysis from the hemicellulosic fraction of *Eucalyptus grandis* residue using response surface methodology. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 2, p. 422-428, 2007.
- CARVALHO, A. G. ZANUNCIO, A. J. V.; SILVA, C.; CARNEIRO, A. D. C. O.; PAULA, M. Método de ressonância para predição de propriedades mecânicas das madeiras de *Eucalyptus urophylla* e *Pinus oocarpa* termorretificadas. **Revista Matéria**, v. 22, n. 1, p. e11772, 2017.
- CHEN, M.; ZHAO, J.; XIA, L. Comparison of four different chemical pretreatments of corn stover for enhancing enzymatic digestibility. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 10, p. 1381-1385, 2009.
- COSTA, A. C. S.; LEAL, C. S.; SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C. Propriedades da madeira de cerne e alburno de *Eucalyptus camaldulensis*. **Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 1, 2017.
- FOCHER, B.; PALMA, M. T.; CANETTI, M.; TORRI, G.; COSENTINO, C.; GASTALDI, G. Structural differences between non-wood plant celluloses: evidence from solid state NMR, vibrational spectroscopy and X-ray diffractometry. **Industrial Crops and Products**, v. 13, n. 3, p. 193-208, 2001.
- HULLER, L. A. S.; HASELEIN, C. R.; DA SILVEIRA, A. G.; DE MENEZES, W. M.; TALGATTI, M.; DE SOUZA, J. T.; SANTINI, E. J. Modificação térmica e propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 90, p. 183-188, 2017.
- JOHAR, N.; AHMAD, I.; DUFRESNE, Alain. Extraction, preparation and characterization of cellulose fibres and nanocrystals from rice husk. **Industrial Crops and Products**, v. 37, n. 1, p. 93-99, 2012.
- KENNEDY, F.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A.; **Wood and cellulose**: industrial utilization, biotechnology, structure and properties. Ellis Horwood, 1987. 702 p.
- KIM, M.; DAY, D. F. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. **Journal of industrial microbiology & biotechnology**, v. 38, n. 7, p. 803-807, 2011.
- LEITE, E. R. S.; PROTÁSIO, T. P.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; TONOLI, G. H. D.; BUFALINO, L. Avaliação da qualidade da madeira de *Coffea arabica* como fonte de bioenergia. **Cerne**. v. 20, n. 4, p. 541-549, 2014.
- LOBÃO, M. S.; LÚCIA DELLA, R. M.; SARMET, M. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 889-894, 2004.
- MENEZES, W. M.; SANTINI, E. J.; SOUZA, J. T.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6, 2014.
- MODES, K. S. K., SANTINI, E. J.; VIVIAN, M. A.; HASELEIN, C. R. Efeito da termorretificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 291-302, 2017.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I-estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, 2005.

MOTAUNG, T. E.; ANANDJIWALA, R. D. Effect of alkali and acid treatment on thermal degradation kinetics of sugar cane bagasse. **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 472-477, 2015.

MOURA, H. O.; CAMPOS, L. M.; DA SILVA, V. L.; DE ANDRADE, J. C.; DE ASSUMPTÃO, S. M.; PONTES, L. A.; DE CARVALHO, L. S. Investigating acid/peroxide-alkali pretreatment of sugarcane bagasse to isolate high accessibility cellulose applied in acetylation reactions. **Cellulose**, v. 25, n. 10, p. 5669-5685, 2018.

NOVAIS, J. W. Z.; DE OLIVEIRA, E. V.; JOAQUIM, T. D. O.; NOGUEIRA, M. C. D. J. A.; SANCHES, L.; LEAL, L. A. Comparação do desempenho térmico de painéis em EPS como alternativa aos tijolos cerâmicos no conforto térmico de residências em Cuiabá-MT. **UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 13, n. 1, 2015.

PAIVA, R. L. M.; MULINARI, D. R. Avaliação do envelhecimento ambiental e das propriedades mecânicas dos compósitos de polipropileno/bagaço de cana-de-açúcar. **Cadernos UniFOA**, v. 8, n. 1, p. 19-28, 2017.

PEREIRA, P. H.; VOORWALD, H. J. C.; CIOFFI, M. O.; PEREIRA, M. L. D. S. Preparação e caracterização de materiais híbridos celulose/NbOPO₄.nH₂O a partir de celulose branqueada de bagaço de cana-de-açúcar. **Polímeros**, v. 22, n. 1, p. 88-95, 2012.

PEREIRA, S. de J. et al. Celulose de buriti (*Mauritia vinifera* Martius). **Scientia Florestalis**, v. 63, p. 202-213, 2003.

PERTUZZATTI, A. MISSIO, A. L.; CONTE, B.; SOUZA, S. C.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. Propriedades físicas da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* termorretrificada sob diferentes atmosferas. **Revista Ciência da Madeira**, v. 7, n. 1, 2016.

PINTO, A. G.; COLLATO, D. Utilização de rejeito de poliuretano na produção de concreto leve. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, v. 1, n. 15, 2017.

ROCHA, J. G.; MULINAR, D. R. Caracterização mecânica dos compósitos de PEBD reforçados com fibras da palmeira. **Cadernos UniFOA**, v. 9, n. 1 (Esp.), p. 45-53, 2017.

RODRIGUES, T. O.; ROUSSET, P. L. A. Effects of torrefaction on energy properties of *Eucalyptus grandis* wood. **Cerne**, v. 15, n. 4, p. 446-452, 2009.

SANTANA, M. A. E.; OKINO, E. Y. A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, v.61, n.5, p.469-477, 2007.

SEGAL, L. G. J. M. A.; CREELY, J. J.; MARTIN JR, A. E.; CONRAD, C. M. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. **Textile Research Journal**, Princeton, v. 29, n. 10, p. 786-794, 1959.

SILVA, C. J. VALE, A. T; MIGUEL, E. P. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 63-75, 2015.

SOARES, R. C. **Reportando propriedades da madeira ao teor de umidade de referência**. 2014. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de edificações). Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá. 2014.

SOUSA, S. V. A. **Estudo da utilização do pecíolo de buriti (*Mauritia flexuosa*) para aplicação em embalagens Biodegradáveis: solução sustentável em Design e tecnologia**. 2016. 107 p. Dissertação (Mestrado em Design). Universidade do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2016.

SOUZA, A. S.; CARVALHO, C. M. Concreto autoadensável de baixa densidade para aplicação em painéis de vedação pré-fabricados. **Revista InterScientia**, v. 5, n. 1, p. 75-91, 2017.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

VOLFKOVICH, Y. M.; FILIPPOV, A. N.; BAGOTSKY, V. S. **Structural properties of porous materials and powders used in different fields of science and technology**. London: Springer, 2014. 328 p.

ZHANG, Y. P.; LYND, L. R. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: noncomplexed cellulase systems. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 88, n. 7, p. 797-824, 2004.