

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

CAMILLA DE OLIVEIRA SOUZA

RESÍDUOS DE MOGNO AFRICANO E EUCALIPTO PARA
BRIQUETAGEM

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2015

CAMILLA DE OLIVEIRA SOUZA

RESÍDUOS DE MOGNO AFRICANO E EUCALIPTO PARA
BRIQUETAGEM

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2015

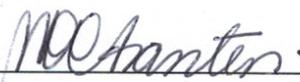
CAMILLA DE OLIVEIRA SOUZA

RESÍDUOS DE MOGNO AFRICANO E EUCALIPTO PARA
BRIQUETAGEM

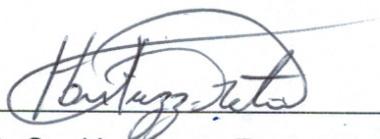
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Aprovado em 17 de junho de 2015

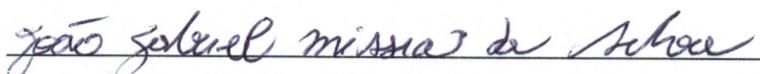
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. D. Sc. Marina Donária Chaves Arantes
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora



Prof. D. Sc. Humberto Fantuzzi Neto
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador



M. Sc. João Gabriel Missia da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

*“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação.
Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.”*

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela dádiva da vida e por colocar em meu caminho pessoas maravilhosas, que contribuíram para o meu crescimento pessoal, profissional e intelectual.

Aos meus pais, Luíz Paulo e Adélia, muito obrigada por contribuírem emocionalmente e financieramente para a realização desse sonho. Às minhas irmãs, sobrinhas e familiares pelas alegrias da vida.

Ao meu companheiro, amigo e futuro esposo, Adílio, quero agradecer pela paciência, amor e questionamentos, dos quais me levaram a enxergar o mundo de uma forma mais ampla e tolerante.

Agradeço também minhas amigas de república, Katiúss e Marília, que fizeram de Alegre um lar para mim.

À Universidade Federal do Espírito Santo, por fornecer meios acadêmicos para minha formação, aos professores do Centro de Ciências Agrárias, por compartilharem seus conhecimentos e ensinamentos. Em especial à professora Michaele, que foi minha primeira orientadora e se tornou uma amiga, ao amável professor José Tarcísio que despertou minha paixão pela Área de Tecnologia da Madeira e à professora e atual orientadora Marina, que me fez amadurecer academicamente nesse último ano.

Aos técnicos laboratoriais e amigos, Damielle, Gilson, José Geraldo e Luciano, pelo companherismo e apoio em pesquisas e projetos. Ao doutorando, João Gabriel, pela disponibilidade e alegria em me ajudar. À minha banca examinadora pela disponibilidade. E finalmente aos meus colegas de academia, que contribuíram de alguma forma para a minha formação.

RESUMO

Esse trabalho teve por objetivo avaliar o potencial energético de resíduos de mogno africano e eucalipto para briquetagem. Para isso, foram utilizados resíduos do processamento primário de duas espécies de mogno africano (*Khaya ivorensis* e *Khaya senegalensis*) e de um clone de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) para a composição dos diferentes tratamentos, ou seja, T1: 100% mogno africano; T2: 100% eucalipto; T3: 50% mogno africano + 50% eucalipto; T4: 25% mogno africano + 75% eucalipto; T5: 75% mogno africano + 25% eucalipto; os quais foram utilizados tanto para caracterização da matéria-prima como também para a confecção dos briquetes. As madeiras de mogno africano possuíam 19 anos e foram provenientes de uma parcela experimental da Reserva Natural Vale (RNV), localizada em Linhares, Espírito Santo. O clone de eucalipto (13 anos) foi proveniente de um plantio experimental situado na cidade de Alcobaça, sul da Bahia. Para a avaliação da matéria-prima, fez-se a preparação e classificação dos resíduos, análises de umidade, teor de extrativos, teor de lignina, teor de cinzas, poder calorífico superior e densidade a granel. Para a produção dos briquetes, foi utilizado uma briquetadeira laboratorial, com temperatura de 120 °C e pressão de 100 Kgf cm⁻², tempo de compactação e resfriamento de 5 e 7 minutos, respectivamente. Foram produzidos 40 briquetes para cada tratamento, totalizando 200 briquetes, dos quais foram avaliados a resistência a absorção de água, a densidade relativa aparente, a densidade energética e a resistência a compressão axial. Dessa forma, observou-se que nos tratamentos com maior percentagem de mogno africano ocorreu maior teor de extrativos, menor teor de lignina, maior teor de cinzas, menor umidade, maior poder calorífico superior e menor densidade a granel. Para os briquetes oriundos dos tratamentos com maior percentagem de eucalipto verificou-se maior absorção de água, menor densidade relativa aparente, menor densidade energética, maior umidade e menor resistência a compressão axial. Dessa forma concluiu-se que os dois resíduos possuem potencial para a geração de energia, porém os briquetes que possuíam maior percentagem de mogno africano na sua composição possuem maior potencial energético e são mais resistentes.

Palavras-chaves: *Khaya* sp., Energia da Biomassa, Aproveitamento.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 O problema e sua importância	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo geral.....	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 O mogno africano: <i>Khaya ivorensis</i> e <i>Khaya senegarensis</i>	14
2.2 O eucalipto: Híbrido <i>urograndis</i>	16
2.3 Resíduos de madeira	18
2.4 Biomassa madeireira: energia renovável	20
2.5 Briquetagem de resíduos madeireiros.....	22
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 Espécies e origem do material	25
3.2 Análises dos resíduos madeireiros.....	25
3.2.1 Umidade dos resíduos.....	26
3.2.2 Teor de cinzas dos resíduos.....	26
3.2.3 Análise química dos resíduos	27
3.2.4 Densidade a granel dos resíduos	30
3.2.5 Poder calorífico superior dos resíduos	31
3.3 Briquetagem dos resíduos	32
3.3.1 Resistência à absorção de água dos briquetes	33

3.3.2	Densidade relativa aparente e densidade energética dos briquetes	34
3.3.3	Resistência a compressão axial dos briquetes	35
3.4	Análise estatística	35
4	RESULTADOS DA PESQUISA	36
4.1	Qualidade dos resíduos	36
4.1.1	Umidade e teor de cinzas dos resíduos.....	36
4.1.2	Teor de extrativos dos resíduos.....	38
4.1.3	Teor de lignina dos resíduos	39
4.1.4	Densidade a granel dos resíduos	41
4.1.5	Poder calorífico superior dos resíduos	42
4.2	Qualidade dos briquetes	43
4.2.1	Resistência a absorção de água dos briquetes	44
4.2.2	Densidade relativa aparente e densidade energética dos briquetes	45
4.2.3	Resistência a compressão axial dos briquetes	47
5	CONCLUSÕES.....	49
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios do teor de lignina total dos diferentes tratamentos...	40
Tabela 2 - Densidade energética dos briquetes com diferentes tratamentos.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição e principais utilizações dos resíduos de madeira.....	19
Quadro 2 - Composição de cada tratamento.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Obtenção do teor de cinzas por meio da incineração dos resíduos..	27
Figura 2 -	Extração por solvente.....	29
Figura 3 -	Obtenção do poder calorífico superior por meio de calorímetro adiabático.....	31
Figura 4 -	Trituração e classificação dos resíduos.....	32
Figura 5 -	Briquetadeira laboratorial.....	33
Figura 6 -	Método estequiométrico para obtenção da densidade relativa aparente.....	34
Figura 7 -	Ensaio de compressão axial nos briquetes.....	35
Figura 8 -	Valores médios de umidade e teor de cinzas de diferentes tratamentos com resíduos.....	36
Figura 9 -	Valores de teor de extrativos de diferentes tratamentos com resíduos.....	38
Figura 10 -	Valores de teor de lignina solúvel e insolúvel em diferentes tratamentos de resíduos.....	39
Figura 11 -	Valores médios de densidade a granel dos resíduos.....	41
Figura 12 -	Valores médios de poder calorífico superior dos resíduos.....	42
Figura 13 -	Imersão dos briquetes (Tratamento 3) em água destilada e seu comportamento ao longo do tempo.....	44
Figura 14 -	Absorção de água pelos briquetes ao longo do tempo.....	45
Figura 15 -	Valores médios de densidade relativa aparente dos briquetes.....	46
Figura 16 -	Valores médios da força máxima de ruptura obtida pelo ensaio de resistência a compressão axial e umidade dos briquetes.....	47

1 INTRODUÇÃO

Resíduo é todo material ou produto resultante de um processo de exploração ou produção destinado ao abandono por seu proprietário (QUIRINO, 2002). Normalmente os resíduos são deixados perifericamente na indústria e são expostos a ação do tempo (TEIXEIRA, 2005).

Muitos resíduos de madeira são produzidos a partir do processamento mecânico das toras, desde o descascamento até a usinagem. Além disso, outras atividades contribuem para a geração de resíduos, como as operações de colheita, transporte, construção civil, indústria moveleira e de preservação (TEIXEIRA, 2005).

Nesse cenário, há uma forte demanda da população por produtos mais sustentáveis, juntamente com a minimização dos gastos nas indústrias de processamento de madeira, criando assim uma tendência mundial para diminuir os desperdícios e reaproveitar os resíduos de madeiras e outros materiais de origem vegetal. Um exemplo dessa vertente é a geração de energia a partir da biomassa.

Atualmente, há quase 1.850 usinas termelétricas em funcionamento no Brasil, correspondendo a aproximadamente 30% da capacidade instalada de geração de energia no país. Desse total, 27% das usinas termelétricas (493 usinas) usam como combustível alguma forma de biomassa, sendo a cana de açúcar a principal, seguida pela madeira (FUNCHAL, 2015).

Segundo o mesmo autor, a madeira é uma importante alternativa para produção termelétrica no Brasil, apresentando duas formas na produção de energia: *in natura* (cavaco, maravalha, costaneira, refilo); e na forma de licor negro (subproduto gerado pelo processamento da madeira na fabricação de celulose).

Estima-se que anualmente 330 milhões de toneladas de resíduos de biomassa são produzidos no Brasil (FELFLI et al., 2011). Considerando que nos últimos anos o plantio de mogno africano tem crescido no país, para atender a demanda crescente por madeira para produtos sólidos, há poucos trabalhos científicos publicados a respeito das propriedades tecnológicas da madeira, tão pouco sobre o aproveitamento dos resíduos gerados no seu beneficiamento (SILVA, 2014).

Algumas pesquisas destacam apenas, a utilização da casca da árvore do mogno africano como remédio contra gripes e resfriados, repelente contra insetos,

vermífugo e agente antimicrobiano (ADEMOLA, FAGBEMI, IDOWU, 2004; FRIMPONG-OPUNI et al., 2008; ZHANG et al., 2007).

Uma das alternativas para aproveitar os resíduos da madeira é por meio da fabricação de briquetes, que podem ser utilizados em fornalhas, fornos ou caldeiras, para geração de energia em residências, estabelecimentos comerciais e indústrias.

O processo de briquetagem ou compactação favorece a homogeneização da biomassa, pois é um processo mecânico que transforma um resíduo vegetal de baixa densidade em um combustível com maior densidade energética, baixa umidade, granulometria regular e uniforme, facilitando assim o transporte, a manipulação e o armazenamento (QUIRINO et al., 2012).

Dessa forma, acredita-se que a otimização da cadeia produtiva, juntamente com a conscientização da população, proporcionará uma redução significativa nos danos ao ambiente, garantindo um uso mais sustentável dos recursos florestais, contribuindo também, para a diminuição dos desperdícios da madeira e para o aumento dos lucros nas indústrias do setor florestal.

1.1 O problema e sua importância

Atualmente, vários produtores estão plantando espécies de mogno africano no Brasil, porém, por ser uma cultura nova, é quase inexistente o número de publicações científicas a respeito das características genéticas, silviculturais, de manejo, das propriedades da madeira e do aproveitamento de resíduos dessas espécies no país.

Segundo Feitosa (2003), mesmo as empresas mais modernas de transformação da madeira, que possuem gerenciamento ambiental e aproveitamento de seus subprodutos, não são totalmente eficientes em relação ao destino final de seus resíduos.

Normalmente os resíduos são deixados perifericamente na indústria e são expostos a ação do tempo. Esse mau armazenamento pode degradar o resíduo pelo encharcamento causado pela água da chuva ou pela ação de agentes biodeterioradores (TEIXEIRA, 2005).

Em serrarias, grande parte dos resíduos são queimados em caldeiras para gerar energia; porém essa queima, quando realizada de forma inadequada, contribui

para o aumento da poluição atmosférica, ocasionando danos ao ambiente e prejudicando a saúde dos operários e da população vizinha ao empreendimento (SILVA, 2002).

Globalmente a utilização dos recursos naturais ocorre de forma ineficiente, desde a obtenção da matéria-prima até o processamento do produto final e seus resíduos. Este é um dos fatos que mais contribui para o aumento da escassez de matéria-prima nativa no setor florestal, além de cooperar para a grande geração de resíduos, que na maioria das vezes se torna lixo industrial (TEIXEIRA, 2005).

Todavia, há muitas alternativas para o melhor aproveitamento dos resíduos madeireiros, exemplo disso é a fabricação de painéis de madeira reconstituída, adubo, geração de energia por meio do carvão vegetal, briquetes ou *pellets*.

Considerando que há poucos trabalhos publicados a respeito da madeira do mogno africano e seus resíduos e destacando a importância do aproveitamento dos resíduos madeireiros para a geração de energia renovável, este trabalho é justificado, pois avaliou os resíduos da madeira de mogno africano e eucalipto plantadas no Brasil para fins energéticos.

Dessa forma, torna-se relevante conhecer as propriedades, características e o potencial energético dos resíduos madeireiros, para que no futuro haja melhor direcionamento da indústria madeireira no que diz respeito a produção de mudas até a utilização final de sua madeira e resíduos. Favorecendo assim a economia e o meio ambiente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial energético de resíduos da madeira de mogno africano e eucalipto plantadas no Brasil.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar qual resíduo possui melhor característica para a produção de energia;
- Determinar qual tratamento possui melhor potencial energético por meio da briquetagem.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O mogno africano: *Khaya ivorensis* e *Khaya senegarensis*

As primeiras sementes do gênero *Khaya*, denominado mogno africano, foram trazidas para o Brasil há mais de 30 anos, como alternativa a utilização da espécie nativa *Swietenia macrophylla* King., que teve seu uso restrito por lei, inviabilizando economicamente sua produção no país (COUTO et al, 2004; GASPAROTTO et al., 2001).

Entre as espécies exóticas plantadas no Brasil, o mogno africano é a que mais se destaca na produção de madeira nobre, em virtude do seu alto valor econômico internacional, do seu rápido desenvolvimento e da sua facilidade em produção de mudas, podendo, também, ser utilizada em diferentes áreas de recuperação florestal (FALESI; BAENA, 1999; GOMES et al., 2006).

Segundo Carvalho (2011), a maioria das mudas das espécies de mogno africano são produzidas por sementes, por isso é preciso uma grande base genética para minimizar o risco de ataque por pragas, doenças e danos na forma e na qualidade da madeira. Porém, hoje já se produz mudas de mogno africano por reprodução vegetativa (enraizamento de estacas semilenhosas e enxertia), prática esta que facilitou a disseminação desse gênero no Brasil.

Dessa forma, as espécies de mogno africano já estão sendo cultivadas no estado do Espírito Santo, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Bahia e Paraná e demonstram bom desenvolvimento silvicultural e baixa mortalidade de mudas (CARVALHO, 2011).

Segundo a Associação Brasileira de Plantadores de Mogno Africano (ABPMA, 2015), estima-se que existe, atualmente no Brasil, uma área plantada com mais de 10 mil hectares de mogno africano, a maioria entre um e sete anos, que poderão ser cortados a partir dos 12 anos.

Por ser uma madeira com características semelhantes a do mogno nativo (*S. macrophylla*), o mogno africano se adaptou muito bem ao clima brasileiro, sendo relativamente resistente à broca-das-meliáceas (*Hypsipyla grandella* Zeller) (LUNZ et al., 2009). No Brasil, a ocorrência de *H. grandella* no mogno nativo tornou inviável o

seu cultivo em maciços comerciais, um vez que esta praga causa danos irreversíveis a madeira, como nós, bifurcações e tortuosidades no caule, afetando sua trabalhabilidade, resistência mecânica e causando perda parcial da tora, diminuindo assim seu valor comercial (OHASHI et al., 2005).

Além disso, o uso do mogno africano não possui restrições legais, sendo um grande atrativo aos produtores florestais.

A espécie *K. ivorensis* é monoica, podendo ser decídua ou sempre verde. Pode chegar a 60 m de altura, com diâmetro superior a 2 m e tronco retilíneo com ramificações a partir dos 30 m (FAGUNDES, 2013).

O mesmo autor afirma que, no aspecto fenótipo, não há diferença significativa entre a *K. ivorensis* e o mogno brasileiro. Todavia a *K. ivorensis* apresenta coloração avermelhada, por causa da alta concentração de antocianina, e preferência por solos úmidos com boa distribuição hídrica ao longo do ano. É uma espécie de crescimento rápido, necessitando para isso de radiação solar, água e nutrientes disponíveis no solo (PINHEIRO et al., 2011). Sua madeira é valorizada por apresentar boas características tecnológicas e beleza natural.

A madeira de *K. ivorensis* possui densidade de baixa a média, variando de 0,41 a 0,47 g cm⁻³ (SILVA, 2014), alta durabilidade, fácil trabalhabilidade quando seca, alburno da cor marrom-amarelada e cerne marrom-avermelhado. Sua madeira é empregada na indústria moveleira (CARVALHO et al., 2010) e sua casca é utilizada para fins medicinais, como no combate a malária, gripes, resfriados e repelentes de mosquitos (TAYLOR et al, 1971).

A espécie *K. senegalensis* também é monoica, apresenta porte mediano, podendo atingir 35 m de altura, diâmetro de até 2,50 m e densidade moderada, variando de 0,55 a 0,63 g cm⁻³ (SILVA, 2014). Seu tronco é mais curto e torto se comparado a espécie *K. ivorensis* (PINHEIRO et al., 2011).

Segundo Pinheiro et al. (2011), a espécie *K. senegalensis* prefere solos profundos com boa drenagem. É tolerante a estações chuvosas e ao alagamento e sua semente apresenta viabilidade germinativa de até 8 meses, podendo ser armazenadas por até 4 anos em condições controladas de umidade e temperatura (5% de umidade, com temperatura de 0 à 10°C).

As propriedades da madeira de *K. senegarensis* são pouco conhecidas por causa da escassez de estudos e dificuldade de encontrar essa espécie na natureza. Apesar disso, sua madeira é empregada na carpintaria, marcenaria, fabricação de

móveis, construção de navios e laminados decorativos (REILLY; ROBERTSON, 2006; FAGUNDES, 2013).

Segundo Pinheiro et al. (2011) o valor do metro cúbico de madeira beneficiada do mogno africano é de R\$ 2.500,00 e da madeira não beneficiada é de R\$ 1.225,00. Porém, apesar de ser comumente estudada, cultivada e utilizada na Europa e nos Estados Unidos, seu cultivo e manejo são pouco conhecidos no Brasil, evidenciando assim a importância de pesquisas a respeito do potencial das espécies de mogno africano para a obtenção de produtos com maior valor agregado.

2.2 O eucalipto: Híbrido *urograndis*

O gênero *Eucalyptus* é caracterizado por árvores de rápido crescimento, plasticidade (estado em que ocorre deformações permanentes à madeira, sem desfavorecer suas propriedades mecânicas), tronco retilíneo, desrama natural e madeira com propriedades tecnológicas variáveis adaptadas a diferentes condições de uso (OLIVEIRA et al., 1999).

Atualmente a madeira do gênero *Eucalyptus* é a mais utilizada no Brasil, aumentando assim o número de informações sobre suas diferentes espécies.

A qualidade da madeira do eucalipto varia de acordo com sua estrutura anatômica, composição química e propriedades físicas. Apresentando assim, diferenças entre as espécies e dentro de uma mesma espécie (TOMAZELLO FILHO, 1994).

Além de ser o principal gênero cultivado no Brasil, o eucalipto é plantado em quase todo o mundo, principalmente nos países de clima tropical e subtropical, por causa do seu rápido crescimento, grande produtividade, boa capacidade de adaptação, diversidade de espécies e ampla possibilidade de uso (MORA; GARCIA, 2000).

No Brasil a principal utilização da madeira de eucalipto é para a produção de papel, carvão vegetal, lenha industrial e serraria, podendo também ser utilizada em empresas farmacêuticas, alimentícias, de reflorestamento e de recreação.

A seleção das espécies para o plantio de eucalipto considera as características do local de cultivo, as características de cada espécie e objetivo da produção no que diz respeito a utilização final de sua madeira.

Para atender a grande demanda a indústria florestal, há problemas de melhoramento genético que selecionam as melhores características de cada espécie, produzindo híbridos com maior valor agregado.

O melhoramento modifica o patrimônio genético da planta com o objetivo de produzir híbridos (ou variedades) mais resistentes a pragas e doenças, mais produtivos, com maior qualidade e capacidade de adaptação às variações ambientais (SANTOS, 2005).

O híbrido urograndis foi introduzido no Brasil a partir do cruzamento das espécies *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, para fornecer madeira de boa qualidade e rápido crescimento. Segundo Carvalho (2000), o objetivo desse híbrido foi unir o bom crescimento do *E. grandis* com a boa densidade e rendimento de celulose do *E. urophylla*.

De acordo com Souza (2008), a madeira do híbrido urograndis tem cerne de cor rosa claro distinto do alburno, com camadas de crescimento levemente demarcadas e densidade básica média que varia de 0,479 a 0,601 g cm⁻³.

O melhoramento genético ajudou a ampliar as possibilidades de utilização da madeira de eucalipto, que se tornou uma madeira alternativa ao uso das espécies nativas e um investimento promissor para diminuir a escassez de matéria-prima no setor florestal.

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2014) a área plantada com árvores destinadas para as indústrias no Brasil atingiu 7,60 milhões de hectares no ano de 2013, sendo 72% desse total representados pelo plantio de eucalipto, que estão preferencialmente distribuídos nos estados da Bahia, Espírito Santo, São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul.

A cadeia produtiva de árvores plantadas no Brasil gera uma diversidade de produtos, que incluem atividades desde a produção até o beneficiamento da madeira *in natura* em celulose, papel, painéis de madeira, madeira serrada, laminados decorativos, carvão vegetal e móveis (IBÁ, 2014).

Em consequência disso, aumentou-se também o volume de resíduos produzidos durante todo o processamento da madeira de eucalipto. Segundo IWAKIRI et al. (2000), os resíduos oriundos desse processamento possuem boa capacidade de reutilização na produção de painéis de madeira, adubo, carvão e produção de briquetes e *pellets* para a geração de energia a partir da sua biomassa.

2.3 Resíduos de madeira

De acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 10004 (ABNT, 2004), resíduo é qualquer material descartado nas diferentes linhas de produção e consumo, não apresentando valor econômico ou de utilização na atual forma, podendo causar impactos negativos ao ambiente quando descartados de forma inadequada.

Segundo essa norma, os resíduos sólidos podem ser classificados como perigosos - que podem causar risco de mortalidade e incidência de doenças a população - ou não perigosos, sendo estes subclassificados em inertes e não inertes.

Sem a presença dos contaminantes - produtos químicos, como tintas, resinas e vernizes - os resíduos madeireiros são biodegradáveis e podem ser considerados como não inertes, sendo classificado pela NBR 10004 (ABNT, 1987) como de Classe II, pois possuem peculiaridade de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

Para Teixeira (2005), os resíduos da Classe II possuem várias possibilidades de reaproveitamento nos processos das indústrias de base florestal, podendo ser transformados em produtos similares ou alternativos ao original.

Dessa forma, os resíduos florestais são classificados como não perigosos e não inertes, sendo qualquer material considerado sem utilidade gerado pelas atividades de manejo, colheita e beneficiamento da madeira.

Os resíduos oriundos do processamento da madeira, como maravalha, serragem, cavacos e resíduos de cultura agrícola, como palha de arroz, casca de café e bagaço de cana, são considerados resíduos ligno-celulósicos. Esse tipo de resíduo possui diferentes formas e tamanhos, baixa densidade e alta umidade (QUIRINO, 2004).

Genericamente, os resíduos oriundos da madeira serrada, não considerando as perdas no momento da extração, são constituídos de casca (7%), serragem (10%) e costaneiras e aparas (28%), proporcionando um aproveitamento de cerca de 50% da árvore nas industriais madeireiras (FREITAS, 2000).

Os resíduos madeireiros podem ser transformados em partículas menores e gerar painéis reconstituídos de madeira, energia para a produção de calor, vapor e

eletricidade em termoelétricas e carvão vegetal (QUIRINO, 2004), como é exposto no Quadro 1.

Quadro 1. Descrição e principais utilizações dos resíduos de madeira.

Resíduo	Descrição	Utilizações
Serragem	Pó de serra. Produzido durante todo processamento mecânico ou manual da madeira.	Adubo: <i>in natura</i> ou após compostagem, para fertilizar o solo. Cama aviária: forro de cama para o animal e após sua utilização, essa serragem suja com estrume, pode ser utilizada como adubo. Geração de energia: fabricação de briquetes e pellets para a produção de calor, vapor e energia térmica. Madeira reconstituída: fabricação de chapas de madeira reconstituída, como MDF e MDP.
Maravalha	Aparas de madeira, maior do que a serragem. Formato: espiral. Geralmente produzidas por desempenadeiras e dessengrossadeiras.	Extração de óleos, resinas plásticas, colas e essências: na produção de tintas, vernizes, cosméticos, indústria de alimentos, automobilística e outros. Madeira reconstituída: fabricação de chapas de madeira reconstituída, como: MDF, OSB e MDP. Geração de energia: fabricação de briquetes e pellets para a produção de calor, vapor e energia térmica. Papel e celulose: desfibrilação para a produção da pasta de celulose e papel.
Cavacos	Pequenos pedaços de madeira. Obtidos pela picagem da madeira na direção das fibras. Comprimento: 5 à 50mm.	Lenha: obtenção de energia elétrica (usinas termoelétricas) e/ou energia térmica (fornos e caldeiras). Carvão e combustíveis: produção de carvão, álcool, metanol e gás combustível. Madeira reconstituída: fabricação de chapas de madeira reconstituída. Papel e celulose: desfibrilação para a produção da pasta de celulose e papel.

Fonte: LATORRACA (2003), LIPPEL (2015), QUIRINO (2004), TEIXEIRA (2005).

A Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2015) afirma que durante o processo de fabricação de qualquer indústria madeireira há geração de um grande volume de resíduos que não são aproveitados economicamente.

Na maioria das vezes, os resíduos madeireiros são queimados a céu aberto ou são descartados em lugares inapropriados, como em margens de rios. Segundo Oliveira (2015), o destino inadequado dos resíduos madeireiros pode se tornar uma problemática para o empresário, tanto no aspecto ambiental, quando no aspecto econômico. Por esse motivo, o autor afirma que deve-se buscar alternativas tecnológicas para o destino mais adequado dos resíduos de madeira, permitindo assim que a empresa tenha um reconhecimento no mercado por apresentar um comportamento ecologicamente correto, gerando renda a partir dos resíduos e agregando valor a sua destinação final.

2.4 Biomassa madeireira: energia renovável

A aceleração do efeito estufa, que provoca mudanças climáticas indesejáveis, juntamente com a demanda energética e o elevado preço do petróleo, aumenta a procura da população por fontes renováveis de energia.

Diante dessa crise dos combustíveis fósseis, a madeira vem como alternativa de produção de energia limpa e cada vez mais ganha atenção de grandes empresas e políticos (ESCOBAR et al., 2009; POMPELLI et al., 2011)

Entre as principais vantagens da utilização da biomassa florestal como energia, está seu potencial para substituir o petróleo e não prejudicar o meio ambiente, pois é proveniente de ciclos naturais renováveis. Outra vantagem é a captura do CO₂ atmosférico, um importante fato que dá a empresas brasileiras a oportunidade de negociar créditos no mercado de carbono (GOMES; MAIA, 2013).

Além dessas vantagens, as florestas contribuem para o equilíbrio ambiental, minimizando a temperatura, aumentando as precipitações e evitando a erosão e o desgaste do solo (SILVEIRA et al., 2008).

Do ponto de vista econômico, as fontes energéticas de origem florestal tem custo pouco variável, pois os recursos são abundantes e bem distribuídos, diferentemente dos combustíveis fósseis (LUCOM; GOLDEMBERG, 2009).

Segundo estudos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014), a produção das hidrelétricas brasileiras cairá até 11% em 2016, evidenciando assim a necessidade de diversificar a matriz energética do país. O mesmo estudo diz que

essa redução, aumentará a geração de energia térmica a partir do carvão mineral, gás natural, óleo combustível e biomassa.

O aumento do consumo dessas fontes alternativas pode proporcionar maior segurança no que diz respeito ao abastecimento de energia, pois irá reduzir a dependência de uma única fonte de combustível (petróleo).

Dessa forma, a geração de energia a partir da biomassa ganhou um importante destaque como fonte de energia renovável.

A biomassa é um material orgânico de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizado na produção de energia (GOMES; MAIA, 2013)

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2014), a biomassa compreende 27% da oferta interna de energia primária no Brasil, desse total 10,8% é composto por madeira e seus derivados, como lenha e carvão vegetal.

Segundo Escobar (2015), o Brasil possui 105 milhões de hectares de áreas degradadas, que possuem potencial para produzir madeira de alto valor agregado para gerar energia, visando atender o mercado interno, por meio de carvão vegetal, *pellets* ou briquetes de madeira.

Se comparada aos combustíveis fósseis, a utilização de biomassa como fonte de energia é mais limpa, pois libera menos enxofre na atmosfera e a emissão de gás carbônico durante o processo de queima da madeira é compensada pela absorção do mesmo gás por povoamentos florestais recém-plantados (ANDRADE et al., 2013).

Além disso, há a possibilidade de aproveitar os resíduos de madeira gerados pelas indústrias do setor florestal, prática economicamente viável, que dá destino ao que antes era rejeitado pela indústria.

O Brasil consome 82,8 milhões de toneladas de madeira para fins energéticos, dos quais apenas 31,1 milhões de toneladas de madeira são provenientes de florestas plantadas, aumentando assim o desmatamento e o déficit de matéria-prima nativa (BEN, 2014). Uma boa alternativa a esse consumo é a utilização de resíduos de madeira como biomassa para a geração de energia.

Os principais resíduos madeireiros utilizados como biomassa são obtidos pelas atividades de desbaste, colheita florestal e processamento primário (serrarias e laminadoras) e secundário (beneficiamento e fábrica de compensado) dos produtos florestais (OLIVEIRA, 2015), sendo representados por cascas, costaneiras, pó de serra, pó de lixa, refilos, destopos e peças desclassificadas (BIOMAS, 2015).

Apesar disso, estudos mostram que a geração de resíduos das indústrias de celulose e papel no Brasil, sem aproveitamento energético, é de cerca de 5 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (GOMES; MAIA, 2013).

Entre as principais vantagens da utilização de resíduos de madeira como biomassa, estão o baixo custo de obtenção da matéria-prima, fácil armazenamento e independência de fatores ambientais, como o vento, a chuva e o sol. Além disso, a utilização dos resíduos de madeira, diminui o desmatamento e o consumo de combustíveis fósseis, como o petróleo, que não são renováveis.

Segundo Oliveira (2015), o Brasil possui uma ótima tecnologia de produção de queimadores industriais e de caldeira para a geração de energia a partir da biomassa, que pode ser utilizada em briquetes e *pellets*.

O mesmo autor afirma que o uso sustentável da energia renovável pela biomassa, *pellets* e briquetes traria investimentos internacionais de US\$ 450 bilhões entre os anos de 2015 e 2030, contribuindo assim, para a demanda energética do país, para a diminuição dos desperdícios das indústrias de base florestal e para a preservação ambiental.

2.5 Briquetagem de resíduos madeireiros

A técnica da briquetagem surgiu nos Estados Unidos em 1848, por meio da conversão de carvão triturado em torrões sólidos. Anos depois essa técnica foi utilizada e aperfeiçoada na Europa, sendo o procedimento alemão utilizado até hoje no Brasil (FIEC, 2003).

A briquetagem é o processo de compactação de um material particulado por meio de aplicação de elevada temperatura e pressão, podendo ser utilizada ou não resinas artificiais (QUIRINO; BRITO, 1991).

No caso da madeira, não há necessidade de adicionar ligantes ao material, pois em alta temperatura ocorre a plastificação da lignina, processo chamado de transição vítrea, que irá atuar como aglomerante das partículas, criando também uma camada que protege o briquete de variações de umidade (FURTADO et al., 2010).

Segundo os mesmos autores, a transição vítrea é a mudança de um estado desordenado rígido para um estado desordenado maior, onde as cadeias poliméricas ficam com maior mobilidade.

A lignina é um polímero termoplástico, por isso que o aquecimento da madeira faz com que sua cadeia polimérica fique desordenada e móvel. Contudo, após o resfriamento do briquete, a lignina volta a ser rígida, pelo mesmo processo de transição vítrea, fazendo com que as partículas de madeira continuem unidas.

Os briquetes surgiram para substituir a lenha na indústria de cerâmica, olaria, alimentícia e outras indústrias que precisam de vapor. Além disso são utilizados em fornalhas, fornos ou caldeiras de restaurantes, pizzarias e padarias (QUIRINO et al., 2012).

Não há necessidade de adequação das caldeiras industriais para a utilização dos briquetes, pois os mesmos não necessitam de tecnologia específica para queima, podendo ser queimados nas mesmas caldeiras destinados a outros materiais. Além disso, há maior geração de energia por unidade de massa do material, ou seja, o mesmo volume de briquetes podem ter 5 vezes mais energia do que a madeira *in natura* (QUIRINO; BRITO, 1991), favorecendo assim o seu transporte, manuseio e armazenamento (DIAS, 2002).

Para Quirino (2005), a briquetagem é um meio eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa, pois 1,0 m³ de briquetes pode ter de 2 a 5 vezes mais energia que 1,0 m³ de resíduos. Mas para isso, o mesmo autor afirmou que, o resíduo tem que estar com umidade adequada para não prejudicar a estabilidade e o empacotamento dos briquetes.

De acordo com a Biomachine (2007), as principais características dos briquetes são: Umidade de 10 a 12%; carbono fixo de 13,6%, cinzas de 2%; materiais voláteis de 84,4%; poder calorífico entre 4300 a 5000 Kcal Kg⁻¹; e densidade entre 1000 a 1300 Kg m⁻³.

As principais características que qualificam os briquetes são: (a) poder calorífico superior, que indica o potencial de geração de energia por unidade de massa; (b) densidade, que expressa a quantidade de material por unidade de volume, ou seja, quanto maior a densidade, maior o potencial energético do briquete; e (c) resistência a compressão, que está relacionada com a resistência dos briquetes durante sua manipulação e transporte (FURTADO et al., 2010).

Devido a pressão da população por produtos ambientalmente corretos e da indústria para a diminuição de gastos, busca-se desenvolver metodologias para otimizar o processo de briquetagem. Sendo uma das alternativas empregadas a utilização dos resíduos florestais e de industriais madeireiros como matéria-prima para a fabricação dos briquetes.

Segundo Quirino (2003), um resíduo lignocelulósico tem capacidade de ser reciclado e transformado em matéria-prima para outro processo diferente daquele de origem, como é o caso dos briquetes. Dessa forma, os resíduos deixam de ser um risco e passam a gerar lucro se conduzidos de forma correta (VALE; GENTIL, 2008).

O formato cilíndrico padronizado do briquete reúne alta densidade de resíduos prensados, reduzindo os custos, facilitando o transporte, manipulação e armazenamento dos produtos. Outra vantagem é que os briquetes contribuem para diminuição do desmatamento e da poluição, uma vez que é fabricado a partir dos resíduos da indústria madeireira e não possuem produtos químicos ou aglutinantes em sua composição (FIEC, 2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Espécies e origem do material

As espécies estudadas de mogno africano foram a *Khaya ivorensis* A. Chev e a *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., ambas com 19 anos, provenientes de uma parcela experimental da Reserva Natural Vale (RNV), localizada em Linhares, Espírito Santo, Brasil. Os resíduos dessas duas espécies foram provenientes do desdobro primário do trabalho de Silva (2014) e se encontravam misturados, sendo considerado genericamente como mogno africano neste trabalho.

O clone do eucalipto utilizado foi do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, coletado em um plantio experimental situado na cidade de Alcobaça, Sul da Bahia, Brasil. O plantio foi instalado em outubro de 2000 e o clone foi extraído aos 13 anos. Os resíduos da madeira de eucalipto foram provenientes do processamento secundário do trabalho de França (2014a).

3.2 Análises dos resíduos madeireiros

Para as análises dos resíduos, os mesmos foram triturados em moinho tipo Wiley e classificados em peneiras de 40/60 mesh (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM, 1977).

Fez-se a combinação dos materiais referentes a composição de cada tratamento (Quadro 2) para cada granulometria (de 40 e 60 mesh), dos quais foram condicionadas em uma sala de climatização com umidade e temperatura constantes, durante 15 dias. Após climatização, foi determinada a umidade, os teores de cinzas, de extrativos e de ligninas, a densidade a granel e poder calorífico superior de cada tratamento.

Quadro 2. Composição de cada tratamento.

Tratamento	Proporções
T1	100% mogno africano
T2	100% eucalipto
T3	Eucalipto 50% + mogno africano 50%
T4	Eucalipto 75% + mogno africano 25%
T5	Eucalipto 25% + mogno africano 75%

3.2.1 Umidade dos resíduos

Para a determinação da umidade foram utilizados aproximadamente cinco gramas de serragem que ficaram retidas na peneira de 40 mesh, sendo estas conduzidas à estufa sob temperatura de 103 ± 2 °C. Após constatar massa constante, as amostras foram retiradas da estufa e alocadas em dessecador até seu resfriamento e em seguida foram pesadas para obtenção da massa seca e por fim, determinou-se a umidade pela Equação 1.

$$U(\%) = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

em que:

U = Umidade (%);

M_u = Massa úmida (g);

M_s = Massa seca em estufa (g).

3.2.2 Teor de cinzas dos resíduos

O teor de cinzas foi realizado de acordo com a Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel M 11 (ABTCP, 1977). Essa análise consistiu na utilização de cinco gramas de serragem que ficou retida na peneira de 40 mesh. Os cadinhos de porcelana com as amostras foram alocados com tampa dentro de um forno mufla (Figura 1), sendo a temperatura gradualmente aumentada (a cada 100 °C) até atingir $575^\circ\text{C} \pm 15$ °C. Quando atingiu essa temperatura os cadinhos continuaram tampados por \pm três horas, após esse período tirou-se a tampa dos mesmos e continuou a incineração por mais três horas. Após esse procedimento, os cadinhos foram

retirados da mufla e transferidos para um dessecador até o resfriamento para posterior pesagem das cinzas. O teor de cinzas foi determinado pela Equação 2.

$$\text{TCz (\%)} = \frac{P_c}{P_{as}} \times 100 \quad (2)$$

em que:

TCz = Teor de cinzas (%);

P_c = Massa de cinzas que restou no cadinho (g);

P_{as} = Massa da serragem classificada (g).



Figura 1 - Obtenção do teor de cinzas por meio da incineração dos resíduos (A: forno mufla; B: cadinhos de porcelana).

Fonte: autor.

3.2.3 Análise química dos resíduos

A análise química da madeira pela quantificação dos teores de extrativos e lignina procedeu-se segundo M 68 (ABTCP, 1968) e adaptação da Norma Tappi Technical Divisions and Committees T204-05-76 (Tappi, 1976), respectivamente.

Para a quantificação dos extrativos foi utilizada a serragem que passou na peneira de 40 mesh e que ficou retida na peneira de 60 mesh, sendo pesados dois gramas secos dentro de cadinhos com peso conhecido, que foram extraídos em três tipos de solventes [etanol: tolueno (1:2), álcool absoluto e água quente].

Inicialmente, os tratamentos foram extraídos em etanol: tolueno (1:2), por cinco horas. Os balões volumétricos de peso conhecido que continham os extrativos de cada tratamento foram transferidos para uma estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante duas

horas, após foram para um dessecador até resfriarem. Os balões foram pesados e obteve-se o teor de extrativos em etanol: tolueno (1:2), conforme a Equação 3.

Para determinar os extrativos totais, os mesmos cadinhos submetidos ao álcool tolueno continuaram a extração em álcool absoluto por quatro horas e, finalmente, por água quente por mais uma hora (Figura 2). Após este procedimento, os cadinhos foram levados a estufa à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por duas horas, depois foram resfriados em dessecadores e pesados para obtenção do teor total de extrativos pela Equação 4.

$$E (\%) = \frac{P_f - P_i}{2} \times 100 \quad (3)$$

em que:

E = Extrativos em álcool tolueno (%);

P_f = Massa final do balão volumétrico (g);

P_i = Massa inicial do balão volumétrico (g).

$$ET (\%) = \frac{2 - (P_{as} - P_{cad})}{2} \times 100 \quad (4)$$

em que:

ET = Extrativos totais (%);

P_{as} = Massa do cadinho com a massa da serragem seca em estufa (g);

P_{cad} = Massa do cadinho (g).

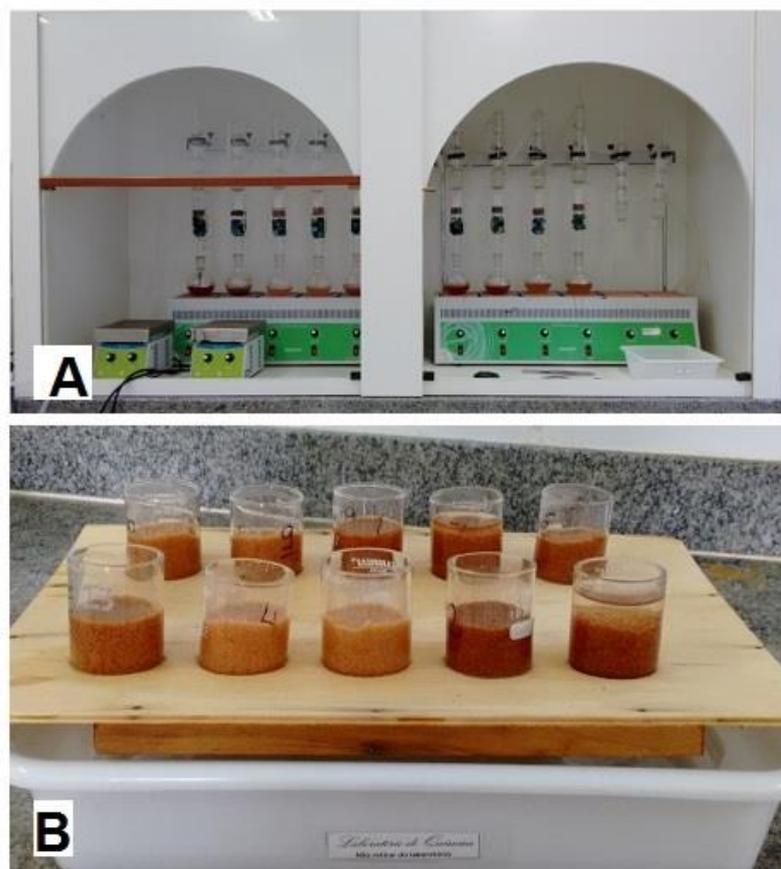


Figura 2 - Extração por solvente (A: Extração em álcool tolueno e álcool absoluto; B: Extração em água quente destilada).
Fonte: autor.

Para a quantificação de lignina, pesou-se 0,3 g secos de serragem livre de extrativos, que foram colocadas em um tubo de ensaio com 3 mL de ácido sulfúrico (72%) e mantidas em banho-maria a $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por uma hora. Posteriormente, as amostras foram diluídas em água destilada e colocadas em um frasco fechado hermeticamente, com tampa de borracha e lacre de alumínio, sendo levadas para autoclave com água à 118°C durante uma hora. Após serem retiradas da autoclave, as amostras contendo os tratamentos foram filtradas em um cadinho de vidro sinterizado com uma camada de óxido de alumínio de massa conhecida e depois foram transferidas para uma estufa à $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por duas horas, após seu resfriamento em dessecadores, obtendo-se o peso seco das amostras e foi calculado a lignina insolúvel pela Equação 5. O líquido remanescente da filtração da lignina insolúvel foi analisado em espectrofotômetro UV (em A_{215} e A_{280}), para determinação da lignina solúvel, de acordo com a Equação 6. E o teor de lignina total foi determinado pelo soma das frações solúvel e insolúvel.

$$LI (\%) = \frac{Pf - Pi}{0,3g} \times 100 \quad (5)$$

em que:

LI = Lignina insolúvel (%);

Pf = Massa do cadinho com massa da serragem seca em estufa (g);

Pi = Massa do cadinho (g).

$$LS (\%) = \frac{[(4,53 \times A_{215}) - A_{280}]}{300 \times Pas} \times 100 \quad (6)$$

em que:

LS = Lignina solúvel (%);

Pas = Massa seca da serragem livre de extrativos (g).

3.2.4 Densidade a granel dos resíduos

A densidade a granel foi realizada de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6922 (ABNT, 1983). Essa análise consistiu na introdução do material dentro de uma caixa com volume conhecido, obtendo-se a massa da amostra, por meio da diferença da massa total em relação a massa da caixa vazia, como mostra a Equação 7. Para isso foram utilizadas amostras com maior granulometria (10 mesh), sendo feitas duplicatas para cada tratamento.

$$Dg = \frac{M_2 - M_1}{Vc} \quad (7)$$

em que:

Dg = Densidade a granel ($g \text{ cm}^{-3}$);

M₂ = Massa da caixa com resíduos (g);

M₁ = Massa da caixa vazia (g);

Vc = Volume da caixa (cm^{-3}).

3.2.5 Poder calorífico superior dos resíduos

O poder calorífico superior (PCS) foi determinado por meio de um calorímetro adiabático, conforme NBR 8633 (ABNT, 1984). Foram pesados aproximadamente 0,5 g secos de serragem, com granulometria de 40 mesh, em cadinho metálico [Figura 3 (A)], sendo alocado na cápsula da bomba, onde foi submetido a uma pressão de 30 Kgf cm⁻² com oxigênio [Figura 3 (B)]. Após completa oxidação, a cápsula contendo a amostra foi transferida para o calorímetro adiabático.

O equipamento adiabático funciona com o princípio de compensação de temperatura externa em relação a temperatura da amostra, ou seja, eleva-se a temperatura gradualmente em um meio líquido homogêneo e é pelo aumento da temperatura que ocorre a reação química (VISOMES, 2015). O acompanhamento dessa reação é realizado eletronicamente, no qual se obtém o poder calorífico superior no visor do equipamento, como ilustra a Figura 3 (C).

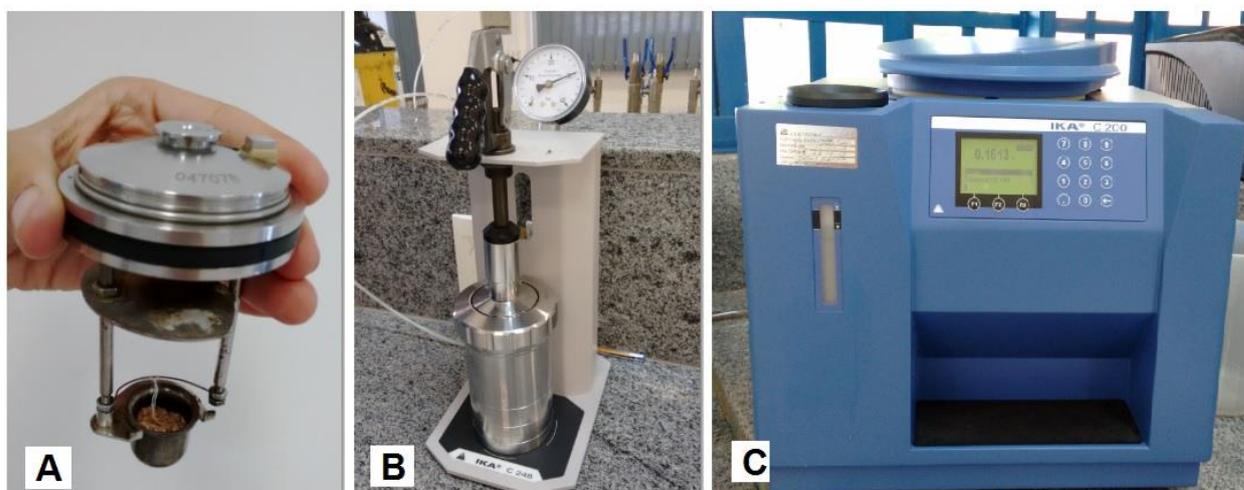


Figura 3 - Obtenção do poder calorífico superior por meio de calorímetro adiabático (A: Fio de algodão em contato com o material dentro do cadinho; B: Bomba de oxigênio a uma pressão de 30 Kgf cm⁻²; C: Calorímetro adiabático).

Fonte: autor.

3.3 Briquetagem dos resíduos

Para a produção dos briquetes, utilizou-se resíduos triturados em moinho tipo Wiley e classificados em peneira vibratória de 10 mesh (Figura 4), no qual foi preparada a mistura de acordo com cada tratamento (Quadro 2).

Em seguida, esse material foi levado à sala de climatização, com umidade e temperatura constantes, durante o período de 15 dias.

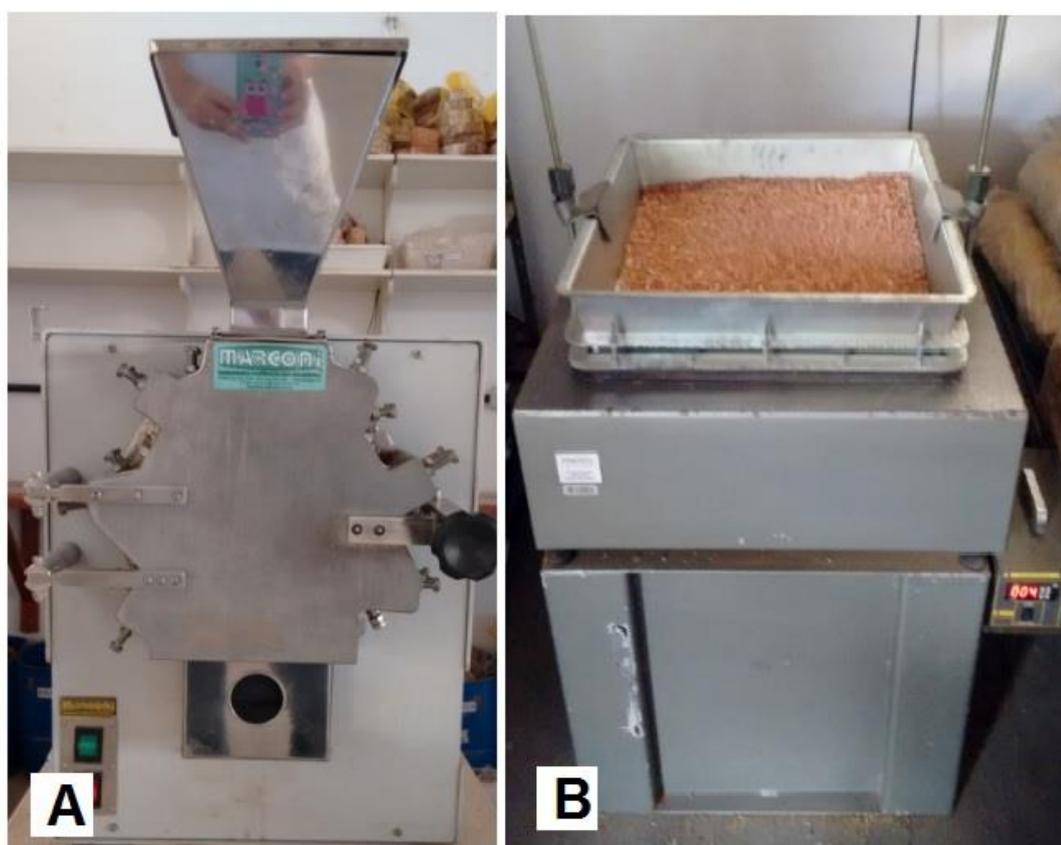


Figura 4 - Trituração e classificação dos resíduos (A: Moinho tipo Wiley; B: Peneira vibratória com tela de 10 mesh).

Fonte: autor.

Determinou-se a umidade de cada tratamento de acordo com a Equação 2 e após confirmação da umidade desejada (8 a 15%) iniciou-se a fabricação dos briquetes.

Para a compactação do material foi utilizada uma briquetadeira laboratorial (Figura 5), com temperatura de 120°C, pressão de 100 Kgf cm⁻², tempo de compactação e resfriamento de cinco e sete minutos, respectivamente. Foram produzidos 40 briquetes para cada tratamento, totalizando 200 briquetes.



Figura 5. Briquetadeira laboratorial.
Fonte: autor

Após a produção, os briquetes ficaram 15 dias numa sala de climatização, para posterior avaliação da resistência à absorção de água, densidade relativa aparente, densidade energética e resistência a compressão axial.

3.3.1 Resistência à absorção de água dos briquetes

A resistência à absorção de água foi determinada por meio da imersão dos briquetes em um recipiente com água destilada, determinando-se a variação do peso inicial ao longo de duas horas, medindo-se a massa ao final desse tempo (CUNHA, 2006).

3.3.2 Densidade relativa aparente e densidade energética dos briquetes

A densidade relativa aparente (DRA) dos briquetes foi determinada pelo método estequiométrico, que consistiu em obter o volume a partir de medições com o auxílio de um paquímetro, e a massa do briquete foi obtida em uma balança com precisão de 0,001g (Figura 6). A DRA foi obtida por meio da relação massa/volume, representada na Equação 8.

$$DRA = \frac{M}{V} \quad (8)$$

em que:

DRA = Densidade relativa aparente (g cm^{-3});

M = Massa do briquete (g);

V = Volume do briquete (cm^3).

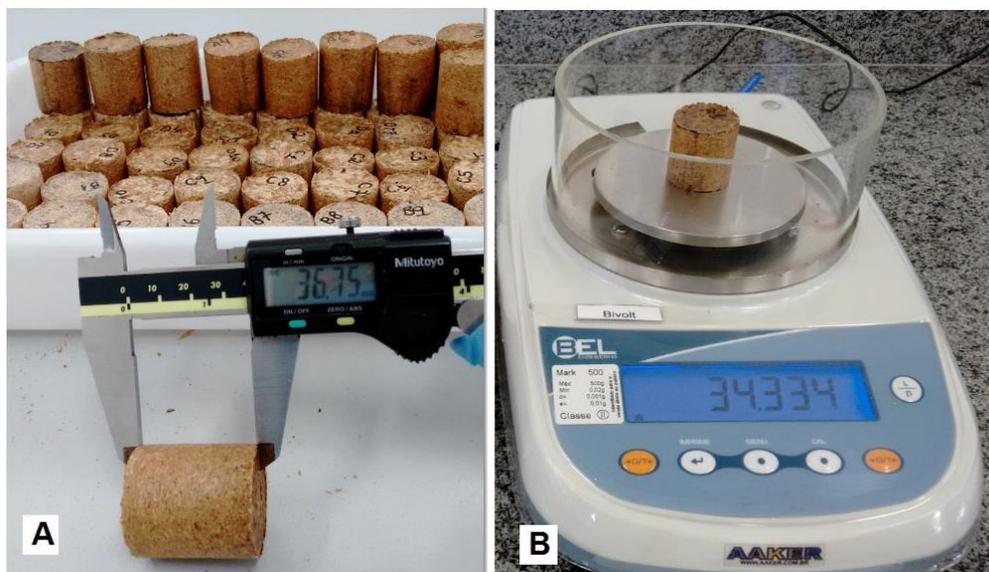


Figura 6 - Método estequiométrico para obtenção da densidade relativa aparente (A: Paquímetro eletrônico; B: Balança de precisão).
Fonte: autor

A densidade energética é a quantidade de energia por unidade de volume de um combustível e foi obtida pelo produto da multiplicação da DRA com o PCS.

3.3.3 Resistência a compressão axial dos briquetes

O ensaio da resistência à compressão dos briquetes foi realizado em uma máquina universal de ensaios, com capacidade máxima de 100 KN, em que foi calculada a resistência à compressão axial em função da força de resistência do briquete até a liberação de sua carga de tensão (observada pela ruptura do briquete). A força foi aplicada perpendicularmente na lateral do briquete, com velocidade de ensaio de 3 mm min^{-1} (Figura 7). Na ausência de normas específicas para os testes mecânicos em briquetes, o procedimento foi realizado como uma adaptação da NBR 7190 (ABNT, 1997).

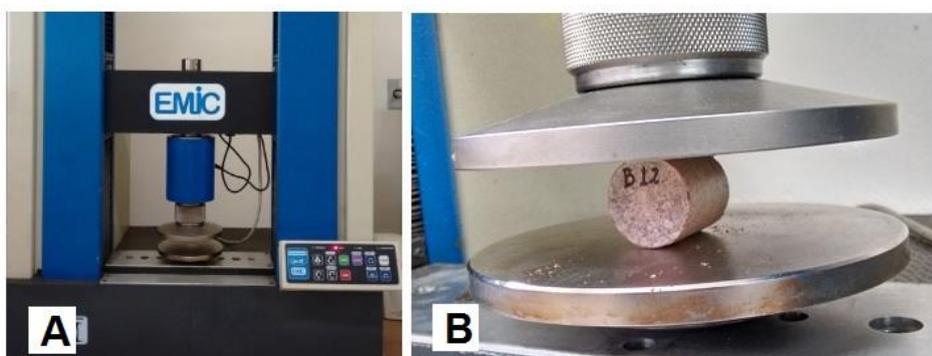


Figura 7 - Ensaio de compressão axial nos briquetes (A: Máquina universal de ensaios; B: Força aplicada perpendicularmente na lateral do briquete).

Fonte: autor.

3.4 Análise estatística

Para análise de normalidade dos dados e homogeneização das variâncias (umidade dos briquetes, compressão axial dos briquetes e DRA dos briquetes) foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk e de Cochran, respectivamente.

O experimento foi conduzido sob um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) e o nível de significância adotado para todos os testes foi de 5%. Foram utilizados 5 tratamentos com 10 repetições para cada variável (compressão axial dos briquetes e DRA dos briquetes). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste F e quando esse foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

4.1 Qualidade dos resíduos

Para o desenvolvimento de novos produtos a partir dos resíduos é necessário quantificar e qualificar os mesmos, para que se possa determinar qual seu potencial de uso e destina-los a indústrias específicas para o seu melhor aproveitamento. Para tal, as principais análises utilizadas para classificar os resíduos são: densidade, análise química, poder calorífico superior e umidade. Dessa forma, nas Figuras 8, 9, 10, 11 e 12 encontram-se, respectivamente, os valores médios para umidade e teores de cinzas, extrativos, lignina, densidade a granel e poder calorífico superior dos resíduos.

4.1.1 Umidade e teor de cinzas dos resíduos

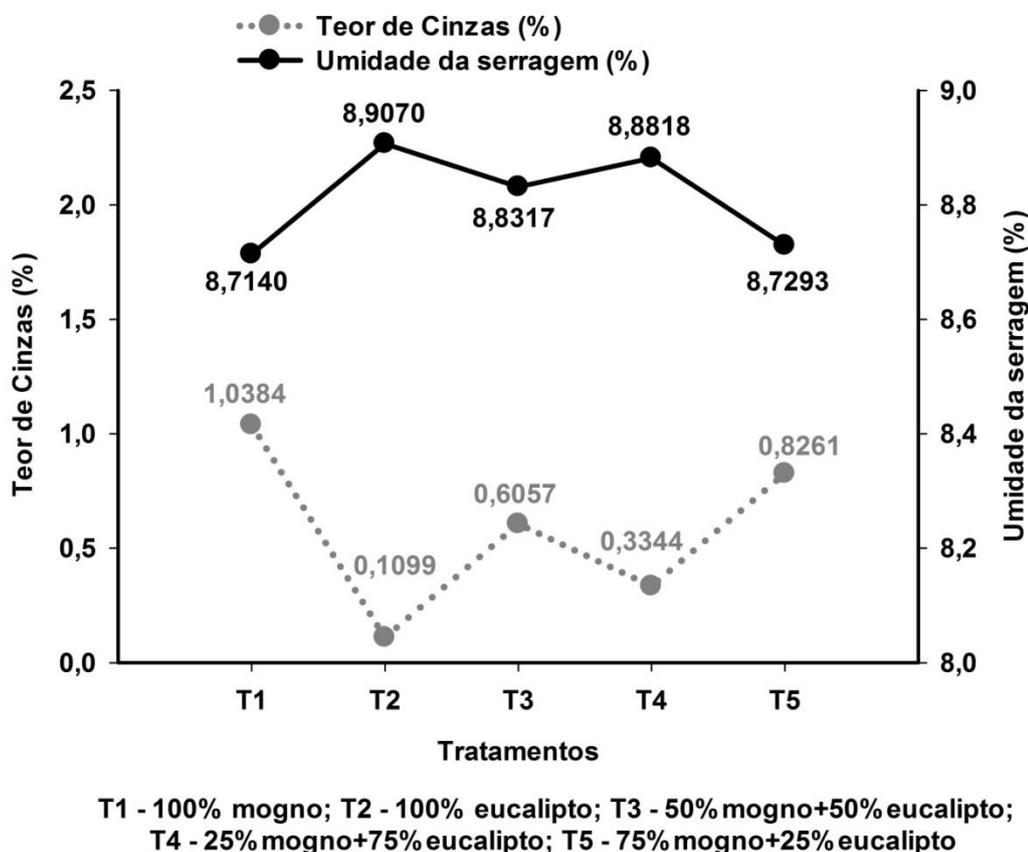


Figura 8 – Valores médios de umidade e teor de cinzas dos resíduos nos tratamentos.

A Figura 8 ilustra que o resíduo com madeira de mogno africano possuiu o maior teor de cinzas (1,04%). Pinheiro et al. (2004), ao estudarem resíduos de indústrias madeireiras do Pará com serragem de maçaranduba, guarapá, itaúba e outras espécies, encontraram valores de cinzas superiores aos do presente trabalho, dos quais variaram de 0 a 5%. Mas, apesar de serem valores altos, esses resultados estão dentro da faixa de 0,5% a 5% de cinzas citada por Pereira et al. (2000).

Deseja-se que a madeira tenha menor quantidade de minerais, pois os mesmos podem prejudicar a produção de energia, uma vez que o teor de cinzas corresponde a quantidade de material que não produz calor (GONÇALVES et al., 2009). Constatando-se assim, que os valores obtidos nessa pesquisa são satisfatórios para a produção de energia, pois possuem baixo teor de cinzas.

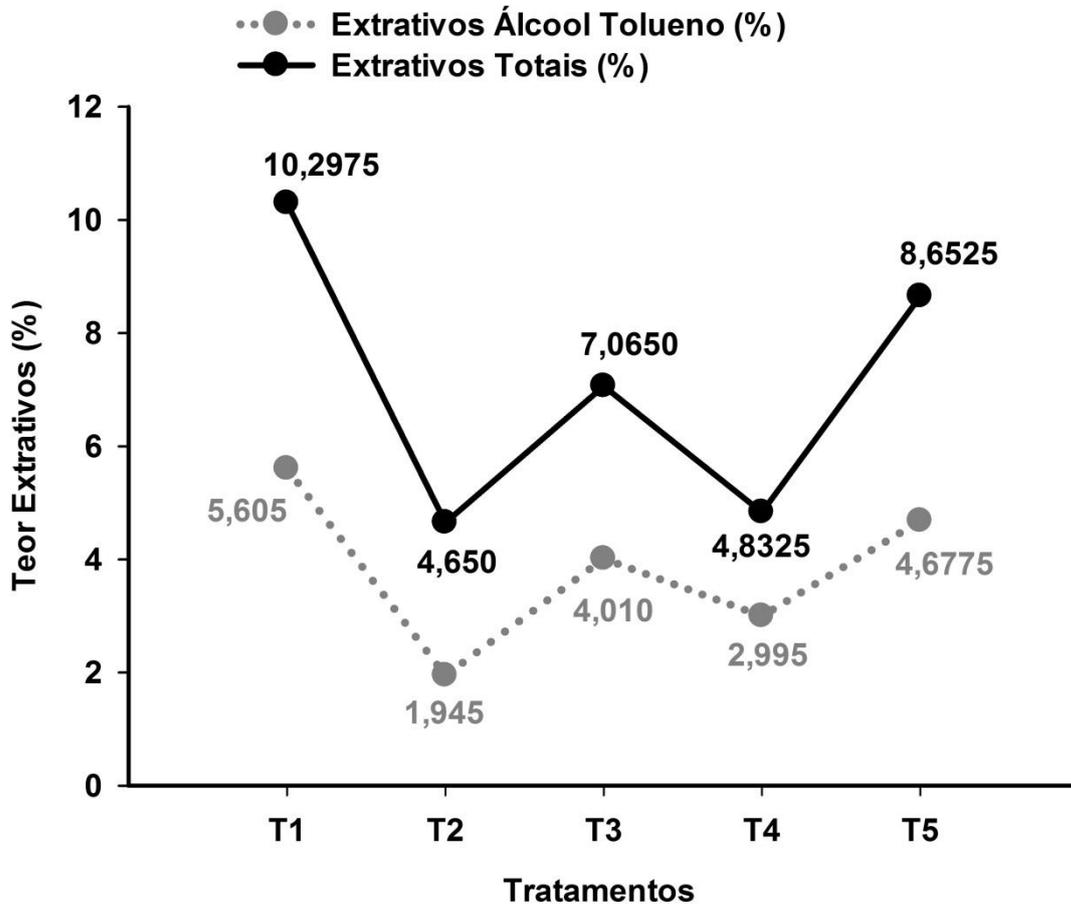
Observou-se que a umidade (Figura 8) foi sutilmente superior nos tratamentos T2 e T4 e inversamente proporcional ao teor de cinzas, porém não há uma variação expressiva de umidade entre os tratamentos. Isso porque, a granulometria dos resíduos foi padronizada em 60 mesh e os mesmos ficaram submetidos à uma sala de climatização com controle de temperatura e umidade durante o mesmo período de tempo.

Segundo Vale (2000), quanto maior a umidade, menor a produção de calor por unidade de massa, pois parte da energia liberada é consumida para vaporizar a água. Também não é desejável variações na umidade, pois prejudicará o processo de combustão, necessitando assim de ajustes periódicos no sistema no qual é utilizada a biomassa (BRITO, 1986).

Contudo a umidade de todos os tratamentos no presente estudo são aceitáveis para a produção de briquetes, pois para ocorrer a plastificação da lignina durante a compactação dos briquetes, as partículas precisam estar com a umidade entre 8 e 15% (BIOMAX, 2014).

A baixa umidade exigida para os resíduos briquetados, juntamente com a alta densidade relativa aparente dos briquetes, diminui a higroscopicidade do material, deixando-o mais resistente ao apodrecimento, facilitando assim sua estocagem, transporte e comercialização (QUIRINO, 2004).

4.1.2 Teor de extrativos dos resíduos



**T1 - 100% mogno; T2 - 100% eucalipto; T3 - 50% mogno+50% eucalipto;
T4 - 25% mogno+75% eucalipto; T5 - 75% mogno+25% eucalipto**

Figura 9 - Valores de teor de extrativos de diferentes tratamentos com resíduos.

Em relação aos extrativos (Figura 9), o T2 (100% eucalipto) possuiu o menor teor de extrativos em álcool tolueno (1,94%). Esse resultado foi próximo a média de 2,03% do teor de extrativos da madeira do híbrido urograndis observado por Silvério et al. (2006), que também concluíram que o solvente mais eficiente para determinar o teor de extrativos em urograndis é a combinação etanol:tolueno (1:2), a mesma utilizada neste trabalho.

No tratamento com 100% de mogno africano (T1) foi observado maior teor de extrativos (5,60%), porém esse resultado foi menor do que o obtido por França (2014b), que obteve 8,6% e 9% de extrativos em etanol:tolueno (1:2) para as espécies *K. ivorensisi* e *K. senegalensis*, respectivamente. Essa diferença no

resultado pode ser explicada pela situação em que o material se encontrava, pois a mesma autora avaliou toras selecionadas de cada espécie separadamente, enquanto o presente trabalho utilizou uma amostra composta dos resíduos obtidos pelo processamento primário dessas duas espécies.

Também pode-se verificar que a quantidade de extrativos aumentou gradualmente do tratamento com maior quantidade de eucalipto (T2) para o tratamento com maior quantidade de mogno africano (T1). Resultado explicado pelas diferentes quantidades de extrativos das duas espécies.

Segundo Santos (2010), dependendo da resistência à degradação térmica dos extrativos, uma maior quantidade de extrativos na madeira poderá favorecer o aumento do poder calorífico. Dessa forma, acredita-se que os tratamentos com maior quantidade de mogno africano (T1 e T5) liberarão mais calor durante a combustão, gerando assim mais energia.

4.1.3 Teor de lignina dos resíduos

Pela Figura 10, observa-se que os teores de lignina solúvel e insolúvel são proporcionais e maiores nos tratamentos com maior quantidade de eucalipto na sua composição.

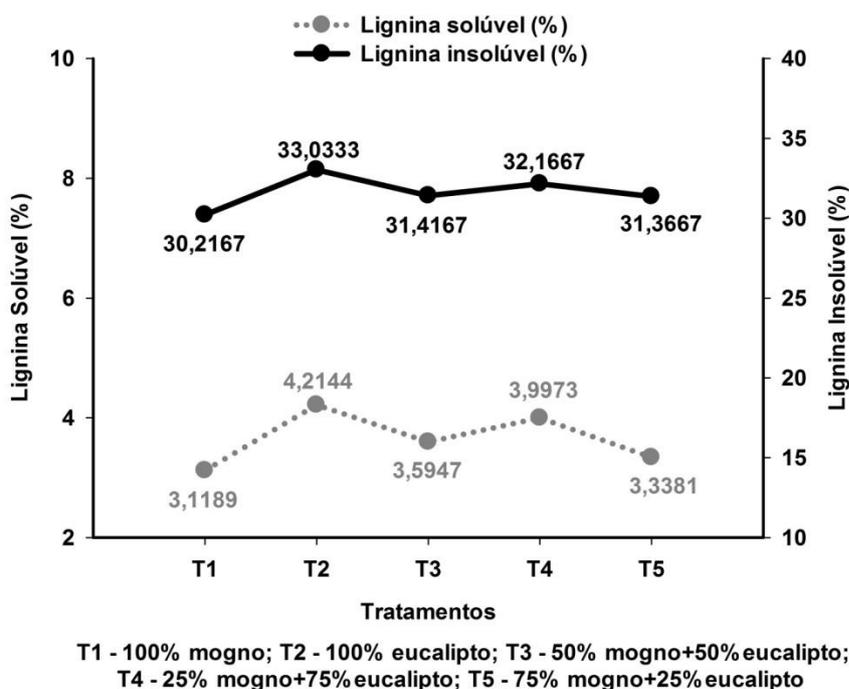


Figura 10 – Valores de teor de lignina solúvel e insolúvel em diferentes tratamentos de resíduos.

Ao avaliar 12 clones do híbrido urograndis, Ferreira et al. (2006) observou valor médio de lignina insolúvel de 26,2% e Couto (2009), ao avaliar a serragem de 60 mesh de *Eucalyptus* sp. para fins energéticos, encontrou valor de lignina total de 31,1%, ambos resultados inferiores ao obtido por este trabalho (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios do teor de lignina total dos diferentes tratamentos.

Tratamento	Lignina total (%)
T1	33,34
T2	37,48
T3	35,01
T4	36,16
T5	34,70

Como pode ser observado na Tabela 1, os tratamentos que tiveram maior teor de lignina total foram T2 (37,48%) e T4 (36,16%), que são constituídos por 100% e 75% de eucalipto respectivamente. Resultado superior ao obtido por Moulin et al. (2011), que ao avaliarem maravalhas de eucalipto para fins energéticos, obtiveram um resultado de 32,25% de lignina e concluíram que esse valor é apto para a geração de energia, pois quanto maior o teor de lignina, maior o poder calorífico e consequentemente, maior o rendimento gravimétrico.

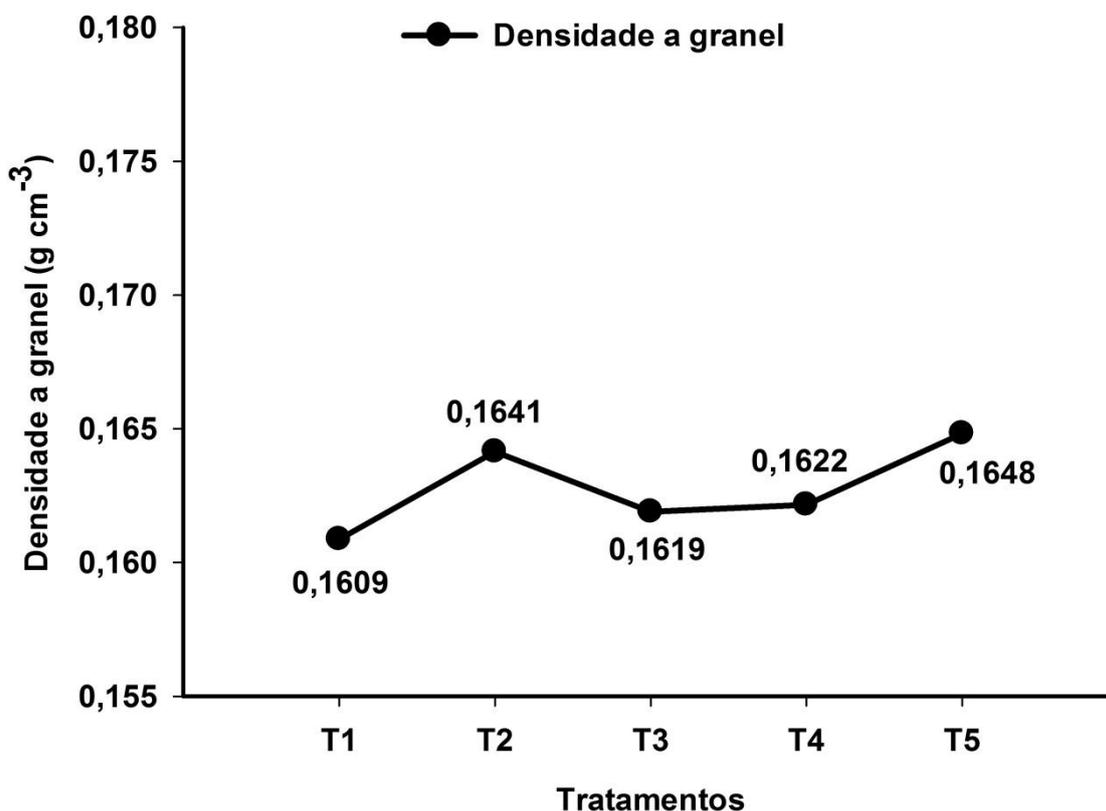
Morais (2008), encontrou teores de lignina variando de 28,7 a 31,67 % para o clone *E. grandis* e de 28,8 a 31,6 % para o clone urograndis, verificando também que o teor de lignina diminuiu com a idade da madeira, resultado este explicado por Trugilho et al. (1996), onde afirmaram que espécies jovens tendem a possuir maior proporção de lenho juvenil, que é mais rico em lignina. Fato contrário ao do presente estudo, cujo resíduo foi procedente de uma madeira de urograndis com 13 anos e apresentou maior teor de lignina se comparado aos trabalhos citados acima.

Porém, esse resultado pode ser explicado pela baixa densidade básica da madeira do clone avaliado, que foi de 0,452 g cm⁻³ (FRANÇA, 2014a). Segundo Trugilho et al. (1996), quanto menor o teor de lignina, maior o teor de holocelulose e, consequentemente, maior a densidade básica da madeira, ou seja, madeiras menos densas possuam maiores quantidades de lignina.

Desta forma, os valores encontrados em todos os tratamentos são favoráveis para a geração de energia, pois a lignina e os extrativos possuem baixo grau de oxidação e alto calor de combustão, aumentando assim o poder calorífico e o

rendimento gravimétrico dos resíduos (KUMAR et al., 1992; PIMENTA; BARCELLOS, 2000).

4.1.4 Densidade a granel dos resíduos



**T1 - 100% mogno; T2 - 100% eucalipto; T3 - 50% mogno+50% eucalipto;
T4 - 25% mogno+75% eucalipto; T5 - 75% mogno+25% eucalipto**

Figura 11 - Valores médios de densidade a granel dos resíduos.

De acordo com a Figura 11, o tratamento com maior densidade a granel foi o T2 (0,1641 g cm⁻³) e o com menor valor foi T1 (0,1609 g cm⁻³), sendo inferiores aos valores encontrados por Hillig et al. (2009) em resíduos moveleiros (0,223 g cm⁻³). Essa diferença pode ser explicada pela granulometria do material, pois nesse estudo foram utilizadas partículas de 10 mesh, enquanto o estudo de Hillig et al (2009) utilizou serragem proveniente do desbobo secundário da madeira.

Já Ribeiro e Machado (2005), encontraram valores inferiores aos obtidos no presente trabalho, sendo de 0,130 g cm⁻³ para maravalha. Isso também pode ser explicado pelo tamanho das partículas avaliadas, pois quanto maior a granulometria

das partículas, menor o espaço ocupado por elas dentro da caixa, aumentando assim os espaços vazios. Considerando que a densidade é a relação massa/volume, a diminuição dessa massa dentro de um mesmo volume irá provocar a diminuição da densidade do material.

Kaliyan e Morey (2009) afirmaram que o tamanho das partículas exerce uma forte influência na durabilidade e na resistência dos briquetes, pois partículas com menor granulometria favorecem a união das mesmas, diminuindo os espaços vazios entre as partículas, ocasionando o aumento da densidade relativa aparente, devido a compactação de mais massa em um mesmo volume.

Dessa forma, é desejável que os resíduos lignocelulósicos tenham maiores valores de densidade a granel, pois irá favorecer a viabilidade econômica pelo transporte de um material com maior densidade energética.

4.1.5 Poder calorífico superior dos resíduos

O poder calorífico superior (PCS) é um ótimo parâmetro para avaliar o potencial energético da biomassa, sendo definido como a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa, tendo forte dependência da composição química elementar e mineral da biomassa (PROTÁSIO et al., 2011).

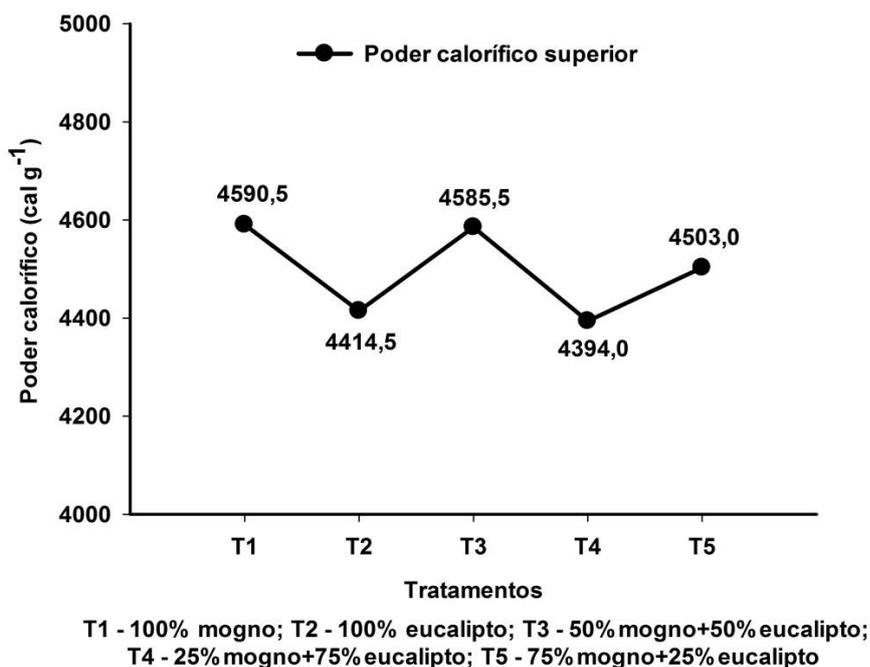


Figura 12 - Valores médios de poder calorífico superior dos resíduos.

Os valores observados para o PCS no presente trabalho (Figura 12), foram próximos aos de Moulin et al. (2011) e Pinheiro et al. (2004), que ao avaliarem diferentes resíduos de serraria para fins energéticos, obtiveram valores entre 4600 e 4750 cal g⁻¹ e 4000 a 5000 cal g⁻¹, respectivamente.

Segundo Quirino (2000), independente da espécie, o calor gerado pela combustão da madeira varia em função dos seus constituintes, se aproximando da faixa de 4700 a 5000 cal g⁻¹ para a madeira seca a 0% de umidade. O mesmo autor afirma que os resíduos lignocelulósicos possuem poder calorífico superior semelhante à madeira, podendo variar em função da contaminação do material.

Pereira et al. (2000), avaliando alguns clones de eucalipto plantados no Brasil, obteve PCS de 4523 cal g⁻¹ para o híbrido urograndis. Já Protásio et al. (2011) encontraram PCS médio de 4412,33 cal g⁻¹ para serragem de eucalipto, ambos valores superiores ao encontrado no presente trabalho para o T2.

Os tratamentos T1, T5 e T3 foram mais eficientes para a geração de energia. Isso pode ser explicado pelo fato dos tratamentos com maior percentagem de mogno africano possuírem maior teor de extrativos e menor umidade, favorecendo assim o aumento do seu poder calorífico.

Furtado et al. (2010), estudando diferentes resíduos para a produção de briquetes, observou que o poder calorífico variou entre as espécies de pinus e eucalipto, fato explicado pela diferença da composição química entre as espécies, principalmente em relação aos teores de lignina e extrativos.

4.2 Qualidade dos briquetes

De modo geral, a qualidade dos briquetes é avaliada de acordo com o seu comportamento durante sua utilização. Para isso o presente trabalho avaliou o comportamento dos briquetes produzidos para os diferentes tratamentos, por meio de análises de resistência a absorção de água, densidade relativa aparente, densidade energética e resistência a compressão axial.

4.2.1 Resistência a absorção de água dos briquetes

O conhecimento da absorção de água é importante para entender a estabilidade dimensional e a resistência dos briquetes quando expostos a variações ambientais ao longo do seu armazenamento e transporte (SILVA et al., 2013). Porém, neste trabalho, não foi possível determinar a resistência à absorção de água dos tratamentos, pois durante a realização do ensaio, os briquetes se desintegraram ao primeiro contato com a água. Isso inviabilizou a retirada dos briquetes de dentro do recipiente, impossibilitando a determinação da massa após a imersão.

A Figura 13 ilustra o comportamento do Tratamento 3 durante o ensaio de absorção de água. Esse mesmo comportamento foi observado em todos os tratamentos, com diferença apenas no tempo de absorção de água, como ilustra a Figura 14.

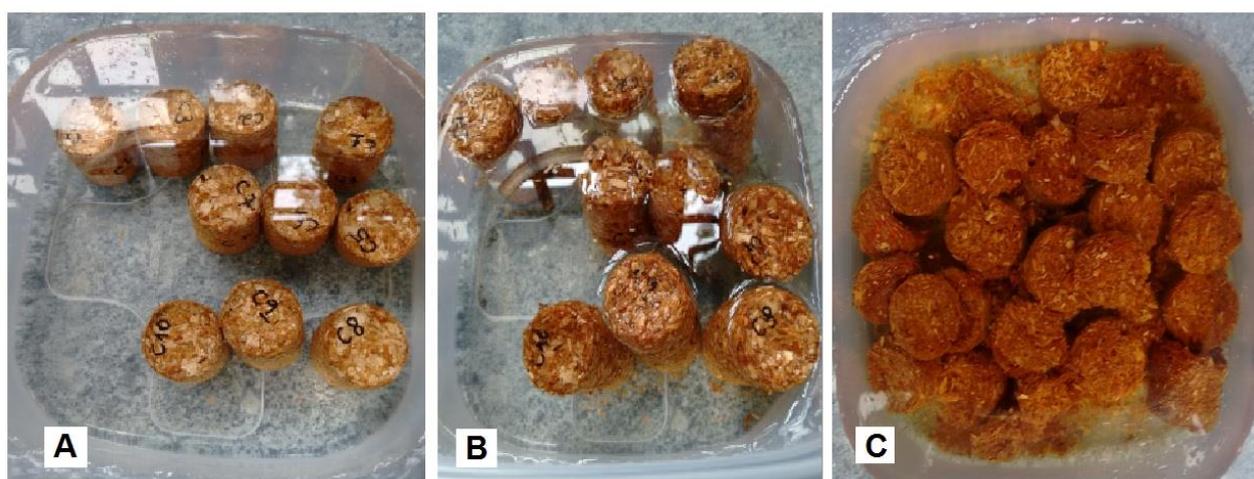
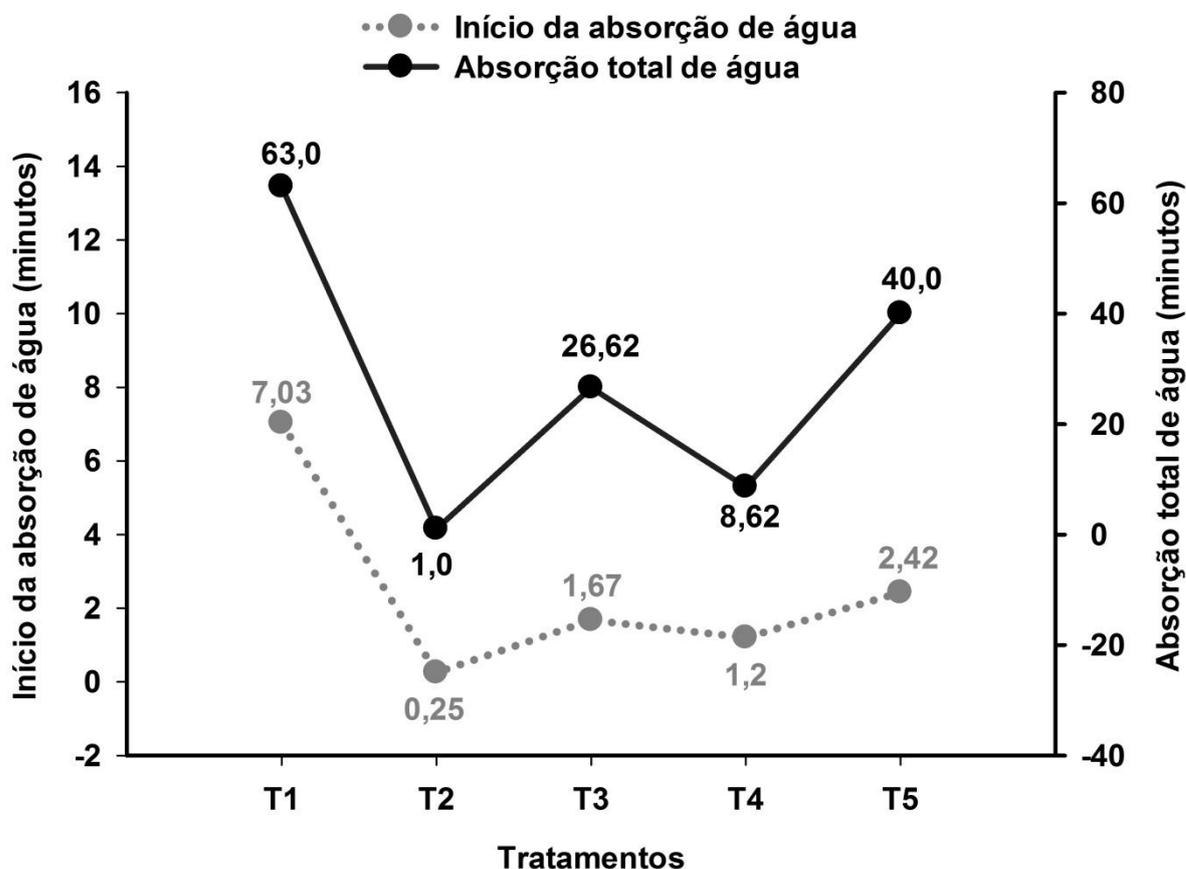


Figura 13 - Imersão dos briquetes (Tratamento 3) em água destilada e seu comportamento ao longo do tempo (A: Briquetes no tempo 0 minutos; B: Briquetes iniciando a absorção da água, no tempo 1,67 minutos; C: Briquetes com absorção total de água, no tempo 26,62 minutos).
Fonte: autor.

Observando a Figura 14, verificou-se que o tratamento que demorou mais tempo para se desintegrar por completo foi o T1 (63 minutos) e o que se desintegrou com mais rapidez foi o T2 (1 minuto). Observou-se também uma tendência no tempo de absorção de água de cada briquete, na qual os tratamentos com acréscimo de mogno africano demoraram mais tempo para iniciar a absorção de água e a se desintegrarem totalmente do que os tratamentos com acréscimo de eucalipto

(T1>T5>T3>T4>T2). Dessa forma, acredita-se que os briquetes de mogno africano sejam mais resistentes a absorção de água do que os briquetes de eucalipto.



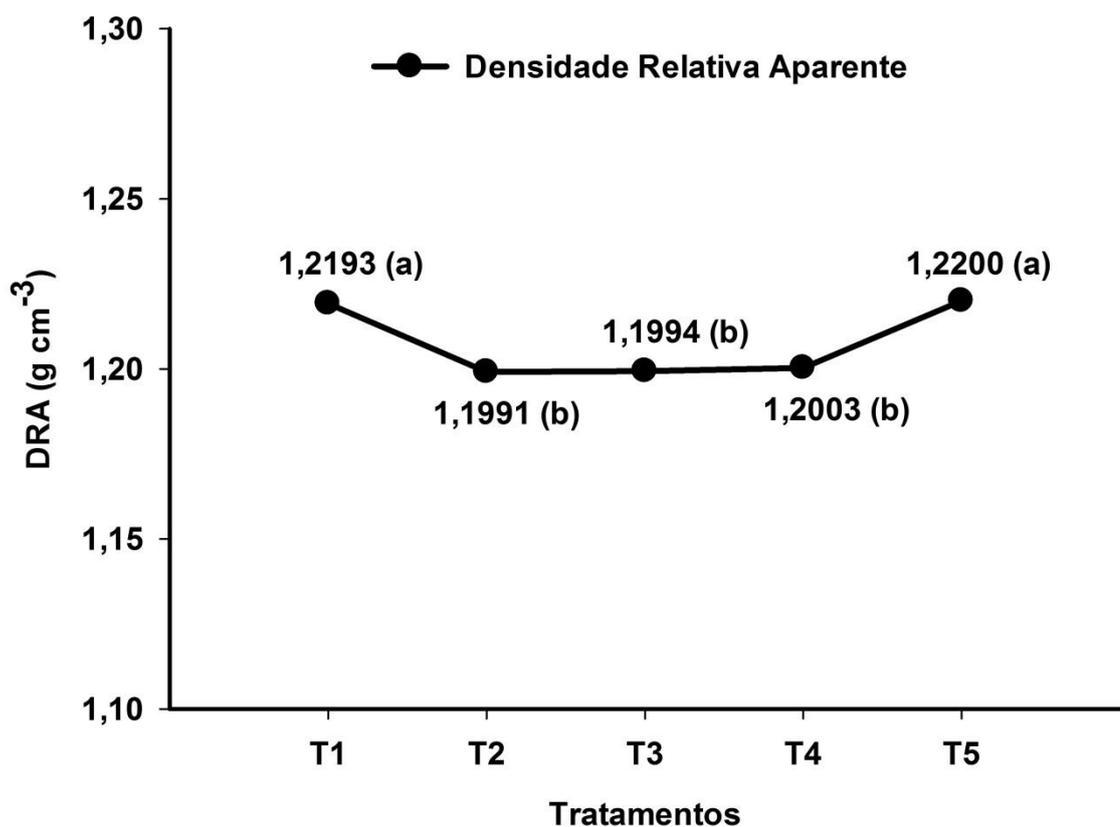
T1 - 100% mogno; T2 - 100% eucalipto; T3 - 50% mogno+50% eucalipto;
T4 - 25% mogno+75% eucalipto; T5 - 75% mogno+25% eucalipto

Figura 14 – Absorção de água pelos briquetes ao longo do tempo.

4.2.2 Densidade relativa aparente e densidade energética dos briquetes

Para a densidade relativa aparente (Figura 15), os tratamentos T1 e T5 diferiram estatisticamente dos demais tratamentos. Esses resultados foram superiores aos obtidos por Paula et al. (2010), que encontraram um valor próximo a $0,8 \text{ g cm}^{-3}$ para maravalha. Apesar disso, os valores do presente trabalho estão dentro da faixa de $0,91$ a $1,22 \text{ g cm}^{-3}$ citada por Quirino (2004) ao avaliar resíduos ligno-celulósicos para a briquetagem.

Dessa forma, Quirino (2010) afirmou que a compactação dos resíduos por meio da briquetagem facilita a valorização do resíduo e promove a homogeneização de sua umidade, granulometria e densidade.



T1 - 100% mogno; T2 - 100% eucalipto; T3 - 50% mogno+50% eucalipto; T4 - 25% mogno+75% eucalipto; T5 - 75% mogno+25% eucalipto

Figura 15 - Valores médios de densidade relativa aparente dos briquetes. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A densidade energética variou pouco entre os tratamentos, sendo maior nos tratamentos T1, T3 e T5 (Tabela 2).

Tabela 2. Densidade energética dos briquetes com diferentes tratamentos.

Tratamentos	Densidade energética (Mcal m ⁻³)
T1	5597,197
T2	5293,427
T3	5499,849
T4	5274,118
T5	5493,660

Protásio et al. (2011) encontraram valor de densidade energética para a serragem de eucalipto de 990 Mcal m⁻³. Lima et al. (2011), ao avaliarem *E. benthamii* obtiveram 2220 Mcal m⁻³. Ambos valores inferiores aos do presente trabalho. Apesar disso os resultados estão dentro da faixa obtida por Silva e Morais (2008) ao

avaliarem diferentes graus de compactação do bagaço de cana na produção de briquetes, tendo de 3985 a 5668 Mcal m⁻³ nas umidades de 0 a 10%.

Assim, o desenvolvimento de novas técnicas para aumentar a concentração de energia por unidade de volume, ampliará a utilização da biomassa como fonte energética. Exemplo disso é a briquetagem, que contribui significativamente para aumentar o potencial energético dos resíduos de madeira.

4.2.3 Resistência a compressão axial dos briquetes

Observa-se na Figura 16 que o T1 se difere estatisticamente dos demais tratamentos com maior resistência a compressão axial (701,55 Kgf), seguido por T3 e T5, que não diferem estatisticamente entre si. O T2 e T4 foram iguais estatisticamente e tiveram o menor valor de resistência a compressão até ruptura do briquete.

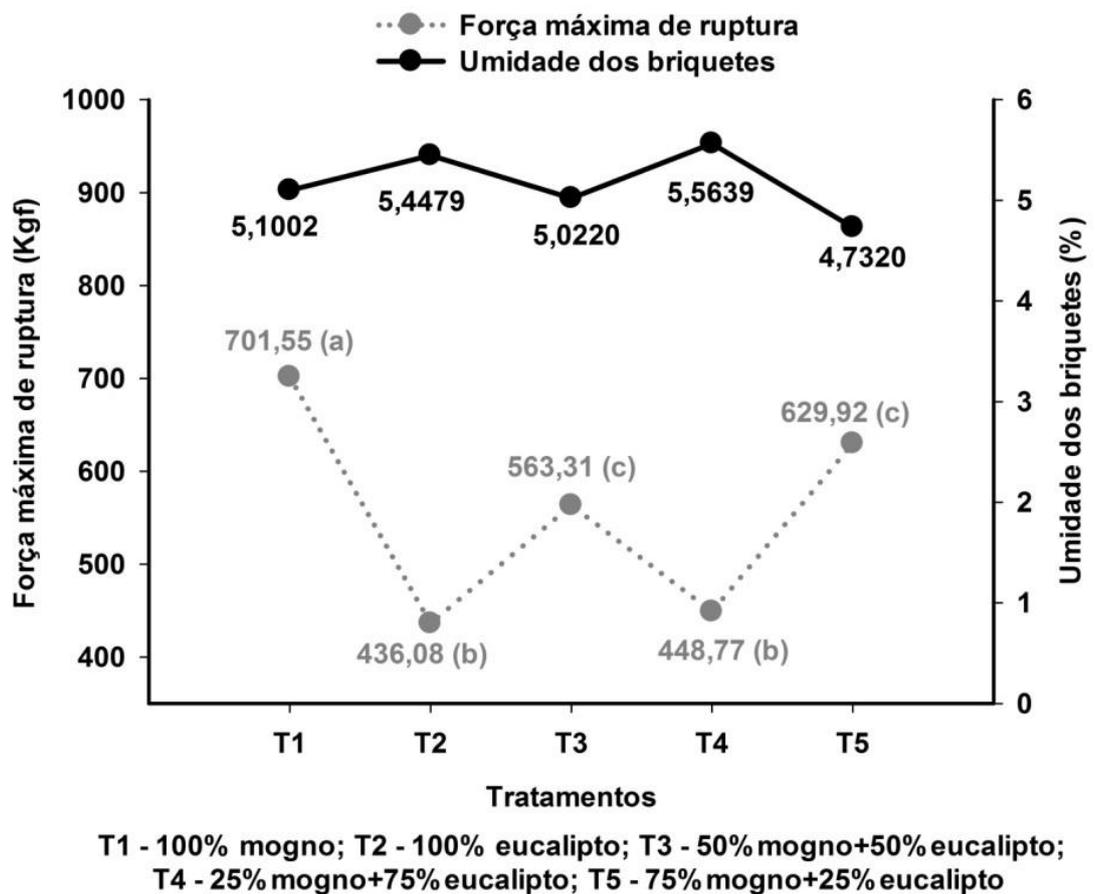


Figura 16 - Valores médios da força máxima de ruptura obtida pelo ensaio de resistência a compressão axial e umidade dos briquetes. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores do presente trabalho foram superiores aos de Gonçalves (2010), que ao avaliar o potencial energético dos briquetes fabricados com resíduos de sólidos urbanos e de *E. globulus*, obteve uma faixa entre 129,91 e 329,98 Kgf.

Dessa forma, verifica-se que à medida que o percentual de mogno africano aumenta, ocorre também um aumento da resistência à compressão dos briquetes, ou seja, a força necessária para provocar a ruptura dos briquetes foi maior quando se tinha maiores proporções de mogno africano.

5 CONCLUSÕES

Na qualificação dos resíduos de mogno africano e eucalipto, concluiu-se que mesmo com as variações existentes entre os diferentes tratamentos, os valores obtidos foram satisfatórios para a produção de energia. Porém os tratamentos T1, T3 e T5 possuem maior potencial energético, pois apresentaram maior PCS.

Na qualificação dos briquetes produzidos a partir dos resíduos de mogno africano e eucalipto, pode-se concluir que os briquetes produzidos com mais quantidade de mogno africano são mais resistentes se comparados aos briquetes com maior quantidade de eucalipto na sua composição. Sendo o T1 mais eficiente na produção de energia, pois apresentou o maior valor de densidade energética.

Dessa forma, espera-se que este trabalho evidencie a importância do aproveitamento dos resíduos madeireiras no que diz respeito a minimização dos desperdícios e a otimização da cadeia industrial. Além de contribuir para o desenvolvimento econômico da indústria de base florestal e para a preservação ambiental.

Espera-se também, que este trabalho contribua para a divulgação de informações das espécies de mogno africano plantadas no Brasil, para que no futuro haja maior direcionamento da empresa no que diz respeito a utilização mais eficiente da madeira de mogno africano e seus resíduos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEMOLA, I. O.; FAGBEMI, B. O.; IDOWU, S. O. Evaluation of the anthelmintic activity of *Khaya senegalensis* extract against gastrointestinal nematodes of sheep: in vitro and in vivo studies. **Veterinary Parasitology**, New York, v. 122, n. 2, p. 151-164, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM. **D 1762**: Standard method for chemical analyses of wood charcoal. Philadelphia: ASTM International, 1977. 1042 p.

ANDRADE, T. C. G. R. de.; BARROS, N. F. de.; DIAS, L. E.; AZEVEDO, M. I. R. Biomass yield and calorific value of six clonal stands of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake cultivated in northeastern Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 467-472, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Revista da Indústria de Biomassa e Energia**. Ano II, n. 8, p. 26, abr. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira - Resistência à compressão paralela às fibras . Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8633**: Carvão vegetal - determinação do poder calorífico - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6922**: Carvão vegetal - ensaios físicos determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MOGNO AFRICANO - ABPMA. **Home**. Disponível em: <<http://abpma.org.br/>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP. **M11**. Normas técnicas. São Paulo: ABTCP, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP . **M68**. Normas técnicas. São Paulo: ABTCP, 1968.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN. **Ministério de Minas e Energia**. Resultados preliminares 2012. Rio de Janeiro, 2013.

BIOMACHINE. **Briquetes**. Disponível em:<<http://www.biomachine.com.br/>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

BIOMAIS. **Revista da Indústria de Biomassa e Energia**. Ano II, n. 8, abr. 2015. 66p.

BIOMAX. **Briquetes**. Disponível em: <<http://www.biomaxind.com.br/site/briquetes>>. Acesso em: 3 nov. 2014.

BRITO, J. O. Madeira para a floresta: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais. **Silvicultura**, v. 11. n. 41. p. 188-193. 1986.

CARVALHO, A. M.; SILVA, B. T. B.; LATORRACA, J. V. F. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Cerne**. Lavras, v. 16, Suplemento, p. 106-114, jul. 2010.

CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. 2000. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CARVALHO, U. Mogno africano surge como opção de madeira de qualidade juntas. **Revista da Madeira**. Ed. 129, nov 2011. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 9 mar. 2015.

COUTO, G. M. **Utilização da serragem de *Eucalyptus* sp. na preparação de carvões ativados**. 2009. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

COUTO, L., C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L., F.; CÂMARA, D. Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa e Energia**, v. 1, n. 1, p.71-92, 2004.

CUNHA, A. F. **Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos**. Ouro Preto: REDEMAT/UFOP, 2006. 110 p.

DIAS, J. J. M. **Utilização da biomassa: avaliação dos resíduos e utilização de pellets em caldeiras domésticas**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 05 de dez. 2014.

ESCOBAR, J. Biomasa lignocelulósica en Brasil Perspectivas de uso para pellets y briquetes en el sector industrial. **The Bioenergy Internacional**, n. 18, p. 38-39, 2013.

ESCOBAR, J. C. et al. Biofuels: environment, technology and food security. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 6-7, p. 1275-1287, 2009.

FAGUNDES, P. R. O. **Propagação vegetativa de mogno africano**. 2013. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -. Universidade Federal de Roraima.

FALESI, I.C.; BAENA, A.R.C. **Mogno africano *Khaya ivorensis* A. Chev em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural do solo.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 52 p.

FEITOSA, B. C. Aproveitamento dos resíduos de madeira no Pará. **Revista da Madeira.** Ed. 114. Curitiba, Lettech Editora e Gráfica Ltda, 2008.

FELFLI, F.F.; MESA P, JUAN M.; ROCHA, J.D.; FILIPPETTO, D.; LUENGO, C.A.; PIPPO, W. A. Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.35, n.1, 2011.

FERREIRA, F. A. et al. Sintomatologia da murcha *Ceratocystis fimbriata* em Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 155-162, 2006.

FRANÇA, F. J. N. **Propriedades da madeira de eucalipto para a produção de madeira serrada.** 2014a. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

FRANÇA, T. S. F. A. **Caracterização tecnológica das madeiras de duas espécies de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev. e *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss.)** .2014b. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

FREITAS, L. C. **A baixa produtividade e o desperdício no processo de beneficiamento da madeira: um estudo de caso.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FRIMPONG-OPUNI, E. et al. Key roles of leaves, stockplant age, and auxin concentration in vegetative propagation of two African mahoganies: *Khaya anthotheca* Welw. and *Khaya ivorensis* A. Chev. **New Forests**, Dordrecht, v. 36, n. 2, p. 115 -123, set. 2008.

FUNCHAL, M. **Geração de Biornergia no Brasil - panorama atual e perspectivas, 2015.** Disponível em <<https://www.ambienteenergia.com.br>>. Acesso em 15 mai. 2015.

FURTADO, T.S.; VALIN, M.; BRAND, M.A.; BELLOTE, A.F.J. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 62, p. 101, 2010.

GASPAROTTO, L.; HANADA, R. E.; ALBUQUERQUE, F. C.; DUARTE, M. L. R. Mancha areolada causada por *Thanatephorus cucumeris* em mogno africano. **Fitopatologia Brasileira**, Viçosa, MG, v. 26, p. 660-661, 2001.

GOMES, C. F. S.; MAIA, A. C. C. Ordenação de alternativas de biomassa utilizando o apoio multicritério à decisão. **Produção**, v. 23, n. 3, p. 488-499, 2013.

GOMES, S.; GOMES, S. J.; GOMES, D. M.; GOMES; M. M. **Análise de viabilidade técnica, econômica-financeira para implantação de cultura do Mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**. Belo Horizonte: Projeto Fazenda Estiva, MG, 2006.

GONÇALVES, J. E. **Avaliação energética e ambiental de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis***. 2010. 104 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Botucatu.

GONÇALVES, J. E.; SARTORIO M. M. P.; LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos e urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 657-661, 2009.

HILLING, E.; SCHNEIDER, V. E.; PAVONI, E. T. Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção. **Production Journal**, v. 19, n. 2, p. 292-303, 2009.

IBÁ. **INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES**, 2014. Disponível em: <http://www.iba.org/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acessado em: 01 jun. 2015.

IWALIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIAL, E.; MENDES, L. M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, Ed. UFPR, v.1, n. 12, p. 23-28, 2000.

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

KUMAR, M.; GUPTA, R. C.; SHARMA, T. Influence of carbonization temperature on the gasification of Acacia wood chars by carbon dioxide. **Fuel Processing Technology**, n. 32, p. 69-76, 1992.

LATORRACA, J. V. F. Painéis de cimento-madeira: características e aplicações. **Revista da Madeira**. Painéis: Edição Especial. Ed. Remade. Curitiba, 2003.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 65, p. 09, 2011.

LIPPEL. **Briquetadeira**. Disponível em: <<http://www.lippel.com.br>>. Acesso em 08 nov. 2014.

LUCOM, O.; GOLDEMBERG, J. **Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil**. Estudos Avançados, v. 23, n. 65, p. 121-130, 2009.

LUNZ, A. M. et al. *Hypsipyla grandella* em Mogno (*Swietenia macrophylla*): Situação Atual e Perspectivas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 59, 2009.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do Eucalipto no Brasil**. Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.

MORAIS, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa.** 2008. 79f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MOULIN, J. C.; ARANTES, M. D. C.; GONÇALVES, F. G.; PAES, J. B.; BARAÚMA, E. E. P.; ROSA, R. A. Avaliação energética da maravalha gerada em uma serraria de pequeno porte. **Journal of Biotechnology and Biodiversity.** v. 2, n. 2, p. 16-22, mai. 2011.

OHASHI, O. S.; SILVA JUNIOR, M. L.; LAMEIRA, O. A.; et al. Danos e controle de broca *Hypsipyla grandella* em plantios de mogno *Swietenia macrophylla* no Estado do Pará. In: POLTRONIERI, L. S.; TRINDADE, D. R.; SANTOS, I. P. (Ed.) **Pragas e doenças de cultivos amazônicos.** Belém: Emprada Amazônia Oriental. p. 125-144. 2005.

OLIVEIRA, C. M. Madeira: o combustível do futuro?. **Revista da Indústria de Biomassa e Energia.** Ano II, n. 8, p. 23-31, abr. 2015.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1 – avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis,** Piracicaba, SP, n. 56, p. 113-124, 1999.

PAULA, L. E. R. da. Caracterização química de resíduos lignocelulósicos visando a produção de energia. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira, 2010.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil.** Pará: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Documentos 38, Colombo, PR, 2000.

PIMENTA, A. S.; BARCELLOS, D. C. **Curso de atualização e carvão vegetal.** Centro de Produções técnicas - CPT, 2000. 76 p.

PINHEIRO, A. L.; COUTO, L.; PINHEIRO, D. T.; BRUNETTA, J. M. F. C. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos africanos (*Khaya* spp.).** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011. 102 p.

PINHEIRO, G. F.; RENDEIRO, G.; PINHA, J. D. Resíduos do setor madeireiro: aproveitamento energético. **Renabio** - Rede Nacional de Biomassa para Energia. Viçosa, v. 1, n.2, p. 199-208, 2004.

POMPELI, M. F.; OROZCO, A. de. J. J.; OLIVIERA, M. T. de.; RODRIGUES, B. R. M.; BARBOSA, M. O.; SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, A. F. M. de.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. de. Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. **Agronomia Colombiana,** 29(2), p. 231-240. 2011.

PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALUZA, A. E. R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 273, 2011.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Laboratório de produtos florestais LPF/ IBAMA. Módulo do Curso “Capacitação de agentes multiplicadores em valorização da madeira e dos resíduos vegetais”, 2000.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília, Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA, 2002. 35 p.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de Resíduos Ligno-celulósicos**. Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA. Brasília, 2004. 10 p.

QUIRINO, W. F. **Metodologia para analisar a viabilidade de usinas para compactação de resíduos**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2010, 35 p.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília, DF: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais. IBAMA-LPF. Série técnica, n. 13, 1991. 16p.

QUIRINO, W. F.; PINHA, I. V. O.; MOREIRA, A. C. O.; SOUZA, F. TOMAZELLO FILHO, M. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.

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**, v.15, n.89, p.100-106, 2005.

REILLY, D. F.; ROBERTSON, R. M. Evaluation of the wood quality and utilisation potential of plantation grown *Khaya senegalensis* (African Mahogany). **Information Booklet** - I. B., v.6, 2006.

RIBEIRO, A. S. e MACHADO, A. A. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. **Ciência Florestal**, v.15, p.1-7, 2005.

SANTOS, R. C. **Parâmetros da qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SANTOS, S.R. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo kraft de polpa na qualidade da polpa branqueada**. 2005. 178 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, C. A. P. Linha Redonda: um exemplo de uso racional da madeira. **Anais...1º Congresso Internacional de Pesquisa em Design e 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. Universidade nacional de Brasília – UNB, Brasília, DF, 2002.

SILVA, J. G. M. **Qualidade da madeira serrada e demarcação do lenho juvenil e adulto do mogno africano**. 2014. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santos, Jerônimo Monteiro.

SILVA, M. B.; MORAIS, A. S. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. In: **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro**. 2008.

SILVA, T. S.; SOUZA, M. M.; VITAL, R. V.; TEIXEIRA, R. R.; BARBOSA, A. C. Briquetes produzidos com resíduos. **Revista da Madeira**. n. 134, mar. 2013. Disponível em <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em 15 nov. 2014.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SILVÉRIO, F. O.; BARBOSA, L. C. A.; GOMIDE, J. L.; REIS, F. P.; PILÓ-VELOSO, D. Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n.6, p.1009-1016, 2006.

SOUZA, N. D. **Identificação de madeiras de clones de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *Eucalyptus urograndis* por RMN ¹³C**. 2008. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES - TAPPI. **TAPPI 204-05-76: solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta, 1976. 6 p.

TAYLOR, D. A. H.; ADESOGAN, E. K.; ADESIDA, G. A.; STYLES, B. T. The limonoids chemistry of the genus *Khaya* (Meliaceae). **Phytochemistry**, n. 10, p. 1845-1853, 1971.

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**. 2005. 156 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

TOMAZELLO FILHO, M. **Formação e caracterização da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus***. In: CURSO DE PROCESSAMENTO MECÂNICO E SECAGEM DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS*. Piracicaba: IPEF, 1994.

TRUGILHO, Paulo Fernando; LIMA, José Tarcísio; MENDES, Lourival Marin. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, v. 2, n. 1, p. 15p, 1996.

VALE, A. T. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* hillex- maiden e *Acacia mangium* willd em diferente níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

VALE, A. T.; GENTIL, L. V. **Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais**. In: TECNOLOGIAS APLICADAS AO SETOR MADEIREIRO III. Rio Branco: Suprema, p. 195-241, 2008.

VISOMES. **Calorímetro adiabático modelo CAL001**. Disponível em: < http://www.visomes.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=136&Itemid=721>. Acesso em: 06 mar. 2015.

ZHANG, H. et al. Anticancer activity of limonoid from *Khaya senegalensis*. **Phytotherapy Research**, London, v. 21, n. 8, p. 731-734, ago. 2007.