



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

EDUARDO ZACHARIAS NUNES

**CARACTERIZAÇÃO DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE
EUCALIPTO (*Eucalyptus pellita*) E DE COCO-DA-BAÍÁ (*Cocos nucifera*)**

Prof. Dr. AZARIAS MACHADO DE ANDRADE
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JULHO, 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

EDUARDO ZACHARIAS NUNES

**CARACTERIZAÇÃO DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE
EUCALIPTO (*Eucalyptus pellita*) E DE COCO-DA-BAÍÁ (*Cocus nucifera*)**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. AZARIAS MACHADO DE ANDRADE
Orientador

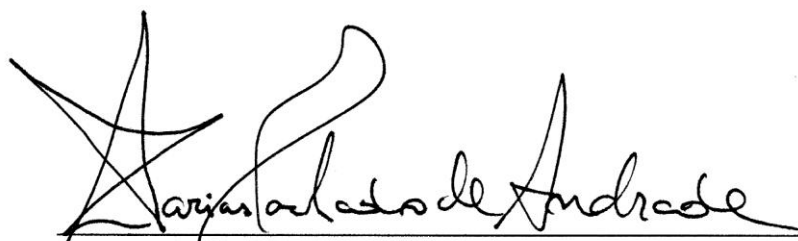
Seropédica, RJ
JULHO-2014

**CARACTERIZAÇÃO DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE
EUCALIPTO (*Eucalyptus pellita*) E COCO-DA-BAÍÁ (*Cocus nucifera*)**

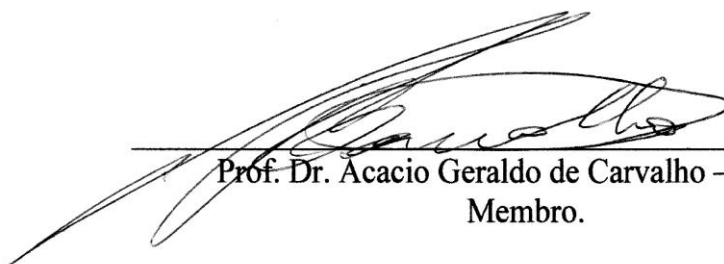
EDUARDO ZACHARIAS NUNES

Monografia aprovada em 04 de julho de 2014.

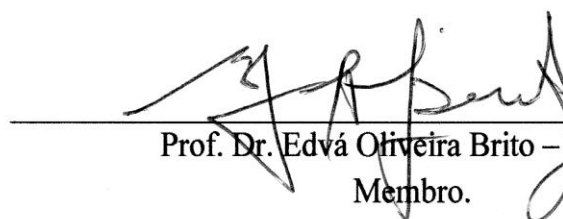
Comissão examinadora:



Prof. Dr. Azarias Machado de Andrade – UFRRJ
Orientador.



Prof. Dr. Acacio Geraldo de Carvalho – UFRRJ
Membro.



Prof. Dr. Edvá Oliveira Brito – UFRRJ
Membro.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a DEUS, a toda minha família,

E aos verdadeiros amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir tudo que foi realizado até aqui.

Ao meu saudoso pai Gelson de Lima Nunes que junto à minha mãe e melhor amiga Wanise Zacharias Nunes sempre me deram total apoio e incentivo.

Aos meus irmãos Gelson, Marcelo e Rodolfo que estiveram presentes sempre para o que der e vier.

À todos os parentes e amigos que estiveram e estão na minha jornada.

À minha namorada Tainara Cruz, meus amigos Vitor Werneck Soares, Yan Gama, Marcelo Vinícius da Silva, Lívia Cristina Magalhães, Lara Carva, Pablo Hugo, Pablo Vieira, Daniel Lins, Tharles Pereira E Silva, Luis Otávio Vieira, Cléssio Gomes, Igor Meirelles, Alan Castro, Humberto Amaral, Leonardo Sanches, André Gallo Verniê, Maria Isabel Rocha, Claire Mello, Hugo Leonardo, Carlos Eduardo Silveira, Jairo Tenório, Wallace Lino, Ana Caroline da Silva, Arthur Domingos, Felliipe Villas Boas, Mayara da Silva Cruz, Marco Antonio Cruz e aqueles de quem nós não falamos.

Ao professor Azarias Machado de Andrade, que me orientou e ajudou a me tornar um profissional melhor.

Ao professor Edvá de Oliveira Brito, pelos ensinamentos e amizade.

Ao professor Alexandre Miguel do Nascimento pelo apoio dado para a conclusão deste trabalho.

Ao professor Acacio Geraldo de Carvalho pelas correções e conselhos.

À UFRRJ pelos momentos incríveis que me proporcionou e que ficaram eternos na minha memória.

RESUMO

O presente trabalho objetivou a avaliação de briquetes de resíduos de eucalipto (*Eucalyptus pellita*) e de coco-da-baía (*Cocos nucifera*), sob os pontos de vista físico, químico e térmico. Os briquetes foram produzidos sob sete diferentes formulações, consorciando-se ou não os resíduos e, assegurando-se teores de 100%, 80%, 60%, 50%, 40% e 20% para cada um dos resíduos analisados. Foram estimadas a densidade básica e a massa específica aparente dos briquetes (g/cm^3), além da umidade de equilíbrio (%) e do ritmo de degradação térmica dos briquetes (g/min). Os poderes caloríficos superior e inferior dos briquetes, em kcal/kg, foram estimados com base em equações ajustadas, utilizando-se como variáveis independentes os teores de materiais voláteis, de cinza e de carbono fixo, obtidos após a análise química imediata. A massa específica aparente dos resíduos de *E. pellita* ($0,2224 \text{ g/cm}^3$) mostrou-se 23,35% maior do que a massa específica aparente dos resíduos de *C. nucifera* ($0,1803 \text{ g/cm}^3$). Os resultados permitiram inferir que as densidades básicas, as massas específicas aparentes e os ritmos de queima dos briquetes não foram afetados significativamente pela composição e pela umidade de equilíbrio. Sob as condições analisadas os briquetes apresentaram elevados teores de matérias voláteis, baixos teores de carbono fixo e elevados poderes caloríficos superior e inferior (kcal/kg). A liberação de elevados volumes de gases inflamáveis durante a combustão dos briquetes pode favorecer a formação de grandes quantidades de chamas e o uso dos mesmos em fogões, fornalhas e secadores.

Palavras-chave: *Eucalyptus pellita*, *Cocos nucifera*, briquetes.

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate waste briquettes of eucalyptus (*Eucalyptus pellita*) and coconut (*Cocos nucifera*), under the viewpoints of physical, chemical and thermal. The briquettes were produced under seven different formulations, ensuring levels of 100%, 80%, 60%, 50%, 40% and 20% for each of the analyzed residue. Were estimated basic density and the apparent density of briquettes (g/cm^3), equilibrium moisture (%) and rate of thermal degradation of briquettes (g/min). The upper and lower briquettes calorific powers, in kcal/kg, were estimated on the basis of adjusted equations, using as independent variables the levels of volatile materials, ash and fixed carbon, obtained after immediate chemical analysis. The apparent density of the residues of *E. pellita* (0.2224 g/cm^3) showed 23.35% greater than the apparent density of residues of *C. nucifera* (0.1803 g/cm^3). The results allowed to infer that the basic densities, apparent specific masses and the rhythms of burning briquettes were not affected significantly by the composition and moisture. Under the conditions examined the briquettes presented high levels of volatile materials, low levels of fixed carbon and high superior and inferior calorific powers. The release of high volumes of flammable gases during combustion of briquettes can favor the formation of large quantities of flames and the usage in stoves, furnaces and dryers.

Keywords: *Eucalyptus pellita*, *Cocos nucifera*, briquettes.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	02
2.1. Resíduos agrofloretais.....	02
2.2. Briquetagem.....	03
2.3. Características dos briquetes.....	04
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	05
3.1. Resíduos Agrofloretais.....	05
3.2. Produção dos briquetes.....	06
3.3. Ensaio físicos.....	07
3.4. Análises químicas e térmicas dos briquetes.....	09
3.5. Análise dos dados.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
4.1 Briquetes produzidos.....	10
4.2 Ensaio físicos dos briquetes.....	12
4.3 Análise química imediata dos briquetes.....	14
4.4 Análise térmica dos briquetes.....	15
5. CONCLUSÕES.....	16
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Composição dos briquetes.....	06
Tabela 2. Valores médios das massas específicas aparentes dos resíduos de eucalipto (<i>E. pellita</i>) e de coco (<i>C. nucifera</i>), em g/cm ³	10
Tabela 3. Valores médios das umidades de equilíbrio higroscópico dos briquetes (%).....	10
Tabela 4. Valores médios da densidade básica e massa específica aparente dos briquetes (g/cm ³) e ritmos de queima (g/min).....	12
Tabela 5. Valores médios dos teores de materiais voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF) dos briquetes.....	14
Tabela 6. Valores médios dos poderes caloríficos superior (PCS) e inferior (PCI) dos briquetes, em kcal/kg.....	15

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Prensa hidráulica (A) e molde de aço (B) utilizados na produção dos briquetes.....	07
Figura 2. Sistema utilizado para a queima controlada dos briquetes.....	08
Figura 3. Pesagem de volumes conhecidos de resíduos de <i>E. pellita</i> (A) e <i>C. nucifera</i> (B), para a determinação das massas específicas aparentes antes do processo de briquetagem.....	08
Figura 4. Sistema utilizado para a determinação dos volumes dos briquetes..	09
Figura 5. Briquetes sendo submetidos à secagem ao ar para a estabilização da umidade com ambiente.....	11
Figura 6. Superfícies dos briquetes formados com 100% de resíduos de eucalipto (T1) e 100% de resíduos de coco (T7), visualizadas após um aumento de 800X em microscópio digital.....	12
Figura 7. Relação entre ritmo de queima (g/min) e massa específica aparente (g/cm ³).....	14

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos urbanos causam alguns problemas ambientais e demandam planejamento e políticas públicas eficazes em qualquer região onde a sua taxa de produção é alta. Segundo dados do IPEA (2012) o Brasil produz cerca de 60 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano. O setor florestal brasileiro participa, de uma forma significativa, da produção de resíduos que, muitas vezes, são descartados de uma forma inadequada. Estima-se que, anualmente, são gerados 38,5 milhões de toneladas de resíduos florestais, principalmente durante a colheita e o processamento mecânico da madeira. Somente este material seria suficiente para a produção de 1.604 MW de energia elétrica/ano. Além do licor negro residual que já é utilizado para fins energéticos nas indústrias de celulose e papel, outros 10 milhões de toneladas de resíduos sólidos são gerados anualmente por este setor, e ainda não têm uma utilização definida (IPEA, 2012). Frequentemente, em indústrias madeireiras, são formadas pilhas de serragem que acabam liberando chorume para o meio (PAULA, 2006).

Organizações em todo o mundo vêm buscando alternativas para a conversão de resíduos em energia, com vistas à diminuição dos impactos causados ao ambiente. Vale ressaltar que os resíduos sólidos, quando depositados de maneira inadequada, podem interferir negativamente na paisagem; prejudicar a qualidade e diminuir a quantidade de água; poluir o solo; provocar odores desagradáveis; e, colocar em risco a saúde pública. O acúmulo de resíduos sólidos contribui para a proliferação de vetores transmissores de doenças como moscas, percevejos, baratas e roedores, além de atrair animais peçonhentos (SILVEIRA, 2008).

Outro resíduo produzido em larga escala no Brasil é a casca do coco da baía (*Cocos nucifera*). Segundo dados do IBGE (2006), o Brasil possui uma área de cerca de 300 mil ha plantados com coco, com a produção de aproximadamente 2 bilhões de frutos/ano. A casca representa, em média, 80% do peso do fruto e estudos já comprovaram que as mesmas podem ser aproveitadas para diversas finalidades (ROSA et al., 2001).

A grande preocupação com o aumento desordenado da quantidade de resíduos sólidos, o aumento dos custos das matérias-primas e o desenvolvimento de novas tecnologias tem viabilizado o reaproveitamento dos resíduos rurais e urbanos. Isto, por sua vez, tem resultado em economia de recursos naturais, diminuição da poluição ambiental, geração de empregos diretos e indiretos e redução do volume de material nos aterros sanitários. Um dos procedimentos técnicos adotados para o reaproveitamento de resíduos agroflorestais é a briquetagem, que trata da densificação e homogeneização de resíduos, tendo se apresentado como uma atividade ecológica e economicamente viável.

Em complementação às considerações anteriores, pode-se afirmar que a briquetagem é uma das alternativas viáveis para a utilização dos resíduos orgânicos gerados anualmente no Brasil. Combustíveis sólidos com uma alta eficiência térmica podem ser produzidos a partir deste processo, que é de implementação relativamente

simples. Combustíveis briquetados, geralmente, são homogêneos no que diz respeito à densidade, poder calorífico, umidade, dimensão e forma. Tais características, além de promoverem a concentração de uma maior quantidade de energia por unidade de volume, facilitam o manuseio, transporte e armazenamento do combustível (NOGUEIRA et al., 2000).

A presente pesquisa objetivou a produção de briquetes de resíduos de *Cocos nucifera* e, ou, *Eucalyptus pellita*. Depois de produzidos sob sete formulações, os briquetes foram avaliados física, química e termicamente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Resíduos agroflorestais

Devido a crescente preocupação mundial de aumentar o uso de energia de fontes renováveis, resíduos das mais variadas origens despontam-se como interessantes alternativas energéticas. No Brasil há uma grande produção de resíduos provenientes da biomassa agroflorestal que pode provocar danos ambientais que vão do assoreamento de rios e lagoas à contaminação dos cursos d'água, ocupação de extensas áreas nas indústrias e poluição do ar pela queima a céu aberto (PROTÁSSIO et al., 2011).

A biomassa florestal é composta por elementos aéreos e subterrâneos das árvores (troncos, galhos, folhas e raízes), bem como pela serrapilheira (biomassa morta), vegetação herbácea e arbustiva e pelos líquens (COUTO et al., 2004). Considera-se como biomassa florestal todo o material orgânico derivado de sistemas nativos ou implantados, resultante da manufatura de produtos florestais na indústria de base florestal, de resíduos urbanos oriundos da utilização dos produtos manufaturados ou mesmo do manejo de florestas urbanas (BRAND, 2010). A biomassa, que pode ser direcionada para o processo de briquetagem, é formada pela combinação de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera e água (H_2O), absorvida pelas raízes das plantas na fotossíntese clorofiliana, que produz os hidratos de carbono (CH_2O). Através da reação química básica: fóton + CO_2 + H_2O → (CH_2O) + O_2 , a energia solar é armazenada nas ligações químicas dos componentes estruturais dessa biomassa (VASCONCELOS, 2002). Segundo Quirino (2004), esses resíduos podem ser transformados em partículas e constituir-se em painéis à base de madeira, sendo também utilizado energeticamente na produção de calor, de vapor ou de eletricidade em termoelétricas. Outro aproveitamento deste material é sob a forma de combustível sólido, como o carvão vegetal.

As indústrias de base florestal têm baixo rendimento e geram grandes quantidades de resíduos no processo produtivo, principalmente as indústrias de transformação primária. Para Brito (1996), as indústrias de madeira serrada, lâminas e compensados geram resíduos da ordem de aproximadamente 20 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, na forma de costaneiras, refilos, aparas, cascas, serragem, cepilhos ou maravalhas, etc., representando 50,7 % do volume original das toras.

O aumento progressivo da quantidade de madeira desdobrada tem revelado problemas como o crescimento no consumo da matéria-prima, em um momento que o mercado apresenta diminuição de oferta da mesma, além da disponibilização de quantidades ainda maiores de resíduos que, na maioria das vezes, não têm utilização na indústria onde os mesmos foram gerados. Aliado a isto, a disponibilização dos resíduos, sem uma destinação adequada, gera graves problemas ambientais como: assoreamento e

poluição dos rios, poluição do ar devido à queima para eliminação deste material que poderia ser destinado para outros fins e o desperdício de matéria-prima que entra na indústria (BRAND et al., 2002).

Porém, a partir do desenvolvimento de técnicas para a utilização em larga escala da madeira de eucalipto, foram observados alguns problemas tecnológicos nesta matéria-prima que aumentaram o desperdício durante o seu processamento. Apesar das melhorias nas técnicas de processamento primário e secundário, o desperdício na indústria madeireira ainda é considerável (VIEIRA, 2006).

Resíduos de baixo custo, como os provenientes das atividades agrícolas (esterco animal, casca de cereais, resíduos resultantes da colheita mecanizada do trigo, arroz, algodão, soja, etc.) ou das atividades florestais (cascas, folhas, restos da colheita e poda, cepas, lenha, resíduos do desdobro mecânico em serrarias e outros) representam uma alternativa energética viável (VALE et al., 2000; SANTIAGO & ANDRADE, 2005). Um material deixa de ser considerado resíduo pela sua valorização como matéria-prima para a produção de novos produtos. Com isso, as cascas do coco verde, por exemplo, enquanto matéria-prima não utilizada apresenta custos e impactos para a sociedade e ambiente, ao passo que o seu aproveitamento, para geração de energia, agrega valor ao resíduo e pode trazer benefícios para o meio como um todo (VALLE, 1995).

Segundo Ferreira et al. (1998), o fruto do coqueiro é uma drupa, formada por uma epiderme lisa ou epicarpo, que envolve o mesocarpo espesso e fibroso, ficando mais no interior uma camada muito dura (pétrea), o endocarpo. O fruto está envolto numa casca externa esverdeada ou amarelada que, com o tempo, torna-se seca e castanha. Sob a casca, encontra-se uma camada de fibras com 3 a 5 cm de espessura. Santos (2002) citou que as fibras do coco se caracterizam pela sua dureza e durabilidade, atribuídas ao alto teor de lignina em comparação com outras fibras naturais. Andrade et al. (2003) encontraram, em 100 cocos residuais verdes, um peso médio de 1415,71 g \pm 190 g por coco (coeficiente de variação = 13,42%) e um percentual de matéria absolutamente seca (base úmida) de 16,26% \pm 1% (coeficiente de variação = 6,15%).

As cascas de coco representam de 70 a 80% do lixo de praia no nordeste brasileiro, sendo a sua degradação lenta (em torno de oito anos), o que causa grande impacto ambiental nos aterros sanitários em função, principalmente, do grande volume (ROSA et al., 2006). A quantidade gerada de resíduos está relacionada a fatores como o nível tecnológico empregado no processo produtivo. A qualidade dos equipamentos, nível de capacitação dos trabalhadores, qualidade da matéria-prima e características do processo também podem interferir na geração de resíduos (BRAND, 2010).

2.2 Briquetagem

A briquetagem é uma forma eficiente para concentrar a energia disponível na biomassa. Este fato pode ser explicado pela consideração de que 1 m³ de briquetes contém pelo menos quatro vezes mais energia que 1 m³ de resíduos, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio destes materiais (QUIRINO, 1991).

Segundo Quirino (2003), entre 30 e 40 usinas de briquetagem já funcionam no país, produzindo briquetes dos mais variados resíduos ligno-celulósicos. A briquetagem é um processo de densificação de resíduos. Todo resíduo de origem vegetal pode ser compactado pela briquetagem, bastando atender às necessidades de granulometria e teor

de umidade. Esse processo possui a vantagem de transformar um resíduo de baixíssima densidade em um material lenhoso de alta qualidade.

Segundo Quirino (1991), na fabricação de briquetes as matérias-primas utilizadas podem ser serragem, maravalha, casca de arroz, palha de milho, sabugo, bagaço de cana-de-açúcar, casca de algodão, casca de café entre outras, obtendo-se briquetes com boa qualidade.

Para Bezzon & Ivengo (1999) a briquetagem consiste na trituração da madeira (moagem) ou de materiais ligno-celulósicos, com a posterior compactação a elevadas pressões e temperaturas na faixa dos 100 °C. O aumento da temperatura provoca a "plastificação" da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas de madeira. Para que esta aglomeração tenha sucesso há necessidade de uma umidade de 8 a 15% e granulometria média das partículas de 5 a 10 mm. O produto final deste processo, um combustível que apresenta formatos variáveis (cubos, almofadas, cilindros, etc.) e com um elevado grau de compactação, são conhecidos por "briquetes", uma excelente fonte de energia, que apresenta inúmeras vantagens em relação à lenha.

A briquetagem é uma boa alternativa tecnológica para se produzir energia elétrica de forma mais econômica, principalmente por usinas termoelétricas cujas principais vantagens são: baixo custo de operação, menor impacto ambiental e redução do custo de transporte da matéria-prima (SILVA, 2007). A densificação de resíduos através da briquetagem viabiliza a valorização de uma série de resíduos, uma vez que promove a sua homogeneização em termos de umidade, granulometria e densidade. Na verdade, a briquetagem (compactação ou prensagem) não é utilizada só para resíduos vegetais, sendo também empregada para compactar ou aglomerar minérios, restos de metais e produtos químicos variados (QUIRINO, 2000).

Vale e Gentil (2008) comentaram que a serragem, em algumas regiões do Brasil, apresenta o custo de R\$ 10,00/ton. Na condição de briquete essa mesma serragem é vendida às padarias, pizzarias e churrascarias por valores que chegam a R\$ 290,00/ton. Abreu (2007) afirmou que os preços do briquete podem variar de R\$170,00 a R\$200,00/ton. Em comparação com a lenha, seu concorrente direto, o briquete possui maior densidade energética, é mais eficiente do ponto de vista térmico, proporciona redução dos custos de transporte, manuseio e armazenamento, reduz os gastos com mão-de-obra e encargos sociais, além das vantagens ambientais, por ser produzido de resíduos.

Segundo Quirino (2003), ainda não existe normas bem definidas em relação à briquetagem de biomassa para fins energéticos. Atualmente, o que se tem são legislações referentes à exportação de briquetes, como no artigo 8º da Instrução Normativa nº 77, de 07 de dezembro de 2005. Alguns trabalhos sobre a produção e o uso de briquetes já foram desenvolvidos por empresas siderúrgicas e instituições de ensino e pesquisa, mas a bibliografia sobre o assunto, para a orientação dos produtores e consumidores, ainda é escassa (GENTIL, 2008).

2.3 Características dos briquetes

Os combustíveis derivados de resíduos orgânicos devem apresentar determinadas características que os tornem aptos para a geração de energia. O poder calorífico é a propriedade mais importante para se avaliar a viabilidade do uso de uma fonte de energia. Também devem ser consideradas as propriedades físicas e químicas do combustível que, muitas vezes, podem ser tão importantes quanto o poder calorífico, uma vez que podem comprometer a eficiência energética do material. Para se determinar a qualidade da

biomassa agroflorestal para uso energético é fundamental a análise da sua composição química, teor de umidade, poder calorífico, granulometria, nível de degradação, entre outros aspectos (BRAND, 2007; BRAND, 2010).

Pela exigência da baixa umidade e pela elevada densidade relativa aparente que o briquete apresenta, são menos higroscópicos e mais resistentes ao apodrecimento ou à fermentação do que os resíduos na condição natural (QUIRINO, 2004). Outra vantagem da briquetagem é a redução do volume do material, implicando em um armazenamento de energia maior em um menor espaço para estocagem (FLORES et al., 2009).

Segundo Protássio et al. (2011), a resistência à compressão dos briquetes deve ser considerada, principalmente quando os mesmos serão utilizados em equipamentos que exijam baixos teores de finos. Ohana (2012) cita que o teste de tamboramento simula a resistência dos briquetes à abrasão e quedas durante o manuseio e transporte. No entanto, os resultados devem ser interpretados com critério, porque são influenciados pela dimensão e forma dos briquetes, além das propriedades das matérias-primas a partir dos quais foram produzidos.

Segundo Quirino et al. (2012), vários são os fatores que afetam a qualidade do briquete. Dentre os principais citam-se: teor de umidade do resíduo vegetal, tamanho das partículas do resíduo, pressão e temperatura utilizada na compactação. No processo de compactação os resíduos devem estar devidamente secos e moídos. Existe uma faixa de umidade onde o material pode ser compactado adequadamente, variando em função do tipo de matéria-prima e do processo de compactação. O teor de umidade elevado pode provocar explosões devido à formação de vapor de água no interior da biomassa e produz briquetes instáveis dimensionalmente. Partículas muito secas dificultam a ligação entre as mesmas. Segundo Gonçalves (2010), para biomassa de *Eucalyptus* spp recomenda-se teores de umidade de 8 a 12%.

As propriedades que qualificam um briquete são: poder calorífico superior (PCS), densidade ou massa específica, resistência à compressão, teor de umidade, teor de cinza, teor de carbono fixo e teor de matéria volátil. Para muitos propósitos, a densidade é o parâmetro de qualidade mais importante, pois representa a quantidade de energia acumulada no briquete (QUIRINO & BRITO, 1991).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Resíduos agroflorestais

Para a produção dos briquetes foram utilizados frutos de coqueiro (*Cocos nucifera*), tendo sua água já consumida, obtidos no comércio da cidade de Seropédica, RJ. Os resíduos de Eucalipto (*Eucalyptus pellita*) foram obtidos a partir de cinco árvores de um povoamento instalado em Seropédica, com sete anos de idade.

No Laboratório de Industrialização da Madeira do DPF/IF/UFRRJ os resíduos foram triturados em um moinho de martelos e classificados pela passagem em uma peneira com malha de 3mm. No Laboratório de Energia da Madeira do DPF/IF/UFRRJ, amostras dos materiais foram utilizadas para a determinação dos teores de umidade, com base nos pesos úmidos das amostras (U_{bu}) e para as análises subsequentes.

3.2 Produção dos briquetes

Os briquetes foram produzidos com sete diferentes composições de resíduos. A Tabela 1 apresenta as composições dos briquetes, com os respectivos percentuais de resíduos de *C. nucifera* e de *E. pellita*.

Tabela 1. Composição dos briquetes

Tratamento	Composição do Briquete	Relação C/E
01	100% de resíduos de eucalipto	0/1
02	80% resíduos de eucalipto + 20% resíduos de coco	1/4
03	60% resíduos de eucalipto + 40% resíduos de coco	2/3
04	50% resíduos de eucalipto + 50% resíduos de coco	1/1
05	40% resíduos de eucalipto + 60% resíduos de coco	3/2
06	20% resíduos de eucalipto + 80% resíduos de coco	4/1
07	100% de resíduos de coco	1/0

Em que: C= resíduo de *C. nucifera* e E= resíduo de *E. pellita*.

A briquetagem (prensagem) dos resíduos agroflorestais foi efetuada no interior de um molde metálico cilíndrico, confeccionado em aço inoxidável, utilizando-se uma prensa hidráulica com a capacidade de 15 toneladas (Figura 1). Como agente aglutinante utilizou-se a carboximetilcelulose a 0,5% (CMC), ou seja, na concentração de 5g/litro. As misturas dos resíduos com a CMC a 0,5% foram realizadas sobre uma lona plástica, com o auxílio de espátulas para a homogeneização, o que resultou num material uniforme, com uma consistência que permitia a formação dos briquetes.

Durante a fabricação de cada briquete, o volume total do molde foi preenchido com o material homogeneizado, sendo que a massa deste volume de resíduos correspondeu à respectiva massa do briquete. Para a prensagem dos materiais adotou-se a carga de 567,75 kgf/cm², mantida por um período de três minutos. Após a prensagem, os briquetes foram secos ao ar, até atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente.



Figura 1. Prensa hidráulica (A) e molde de aço (B) usados na produção dos briquetes.

3.3 Ensaio físico

A degradação térmica dos briquetes, em g/min, foi determinada efetuando-se a queima controlada dos mesmos. Os briquetes foram pesados antes e após serem submetidos a oxidação para determinar a perda de massa. O equipamento usado para esse ensaio consistiu de uma garra utilizada para fixar o briquete sobre uma chama constante por um período de cinco minutos. O combustível utilizado para alimentar a chama foi o gás butano. A trempe utilizada é dotada de um queimador cuja eficiência de trabalho equipara-se a dos modelos do tipo "leque"; consumo médio de GLP = 130 g/h; orifício do injetor = 0,25 mm; temperatura máxima da chama = 975 °C; distância entre o ponto de temperatura máxima e a extremidade do queimador = 15 mm. A pressão de saída gerada foi suficiente para se evitar o engolimento da chama, ou seja, o retrocesso da chama para dentro do queimador. O sistema utilizado para realizar a queima controlada dos briquetes é apresentado na Figura 2.

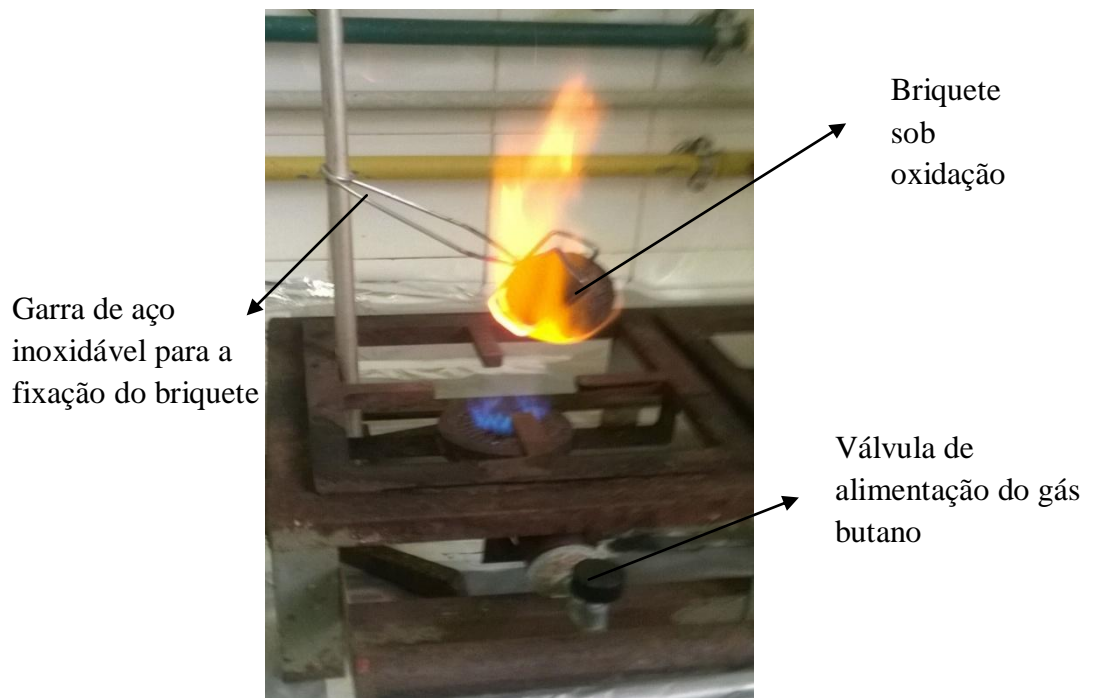


Figura 2. Sistema utilizado para a queima controlada dos briquetes.

Foram determinadas as massas específicas aparentes médias dos resíduos de eucalipto (*E. pellita*) e de coco (*C. nucifera*), em g/cm^3 , por meio de dez pesagens de um volume conhecido (1000 cm^3) dos respectivos materiais, nas condições de equilíbrio de umidade (aproximadamente 12%) em que se encontravam antes do processo de briquetagem. A Figura 3 apresenta uma das etapas do processo de pesagem do volume conhecido de resíduos de coco e de eucalipto.



Figura 3. Pesagem de volumes conhecidos de resíduos de *E. pellita* (A) e *C. nucifera* (B), para a determinação das massas específicas aparentes antes do processo de briquetagem.

Foram determinadas a densidade básica (g/cm^3) e a massa específica aparente (g/cm^3) dos briquetes. Os volumes dos briquetes foram determinados após a impermeabilização dos mesmos com filme de polietileno e imersão em água, a partir do princípio do deslocamento de água pelo método hidrostático. A secagem das amostras para a determinação dos pesos absolutamente secos (0% de umidade) e das umidades de equilíbrio foi realizada numa estufa regulada a $105 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$. A Figura 4 apresenta o sistema utilizado para a determinação do volume dos briquetes.

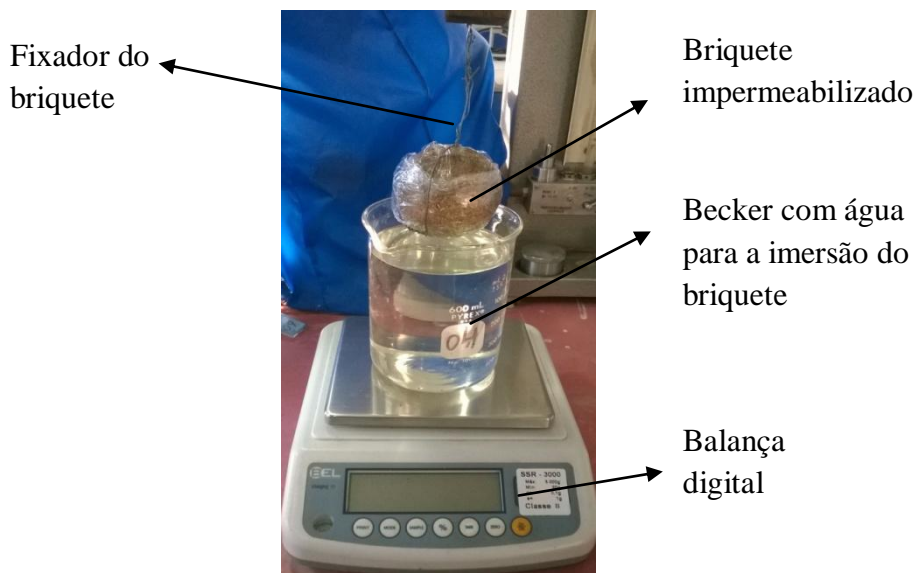


Figura 4. Sistema utilizado para a determinação dos volumes dos briquetes.

3.4 Análises química e térmica dos briquetes

A análise química imediata dos briquetes foi efetuada com base na norma ASTM D-1764, adaptada por Oliveira et al. (1982). Foram determinados os teores de matérias voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF).

Utilizando-se equações devidamente ajustadas, foram estimados o poder calorífico superior (PCS) e o poder calorífico inferior (PCI) dos briquetes. As equações utilizadas foram as seguintes:

$$\text{Poder Calorífico Superior (PCS}_{\text{kcal/kg}}) = [(82 \times \text{TCF}) + (A \times \text{TMV})] \text{ (Equação 1)}$$

$$\text{Poder Calorífico Inferior (PCI}_{\text{kcal/kg}}) = \{(\text{PCS} - 25,11 \times U) / [(100 + U) \times 100]\} \text{ (Equação 2)}$$

Em que:

TCF = Teor de Carbono Fixo dos briquetes (%);

A= Coeficiente dependente, resultante da relação $[\text{TMV} / (\text{TMV} + \text{TCZ})]$;

TMV = Teor de Matérias Voláteis dos briquetes (%); e,

U = Média do teor de umidade dos briquetes, com base no peso úmido (%).

3.5 Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada com base num delineamento estatístico inteiramente casualizado, com sete tratamentos e cinco repetições por tratamento. Efetuou-se a análise de variância, adotando-se o nível de 5% de significância e, para a comparação entre as médias dos tratamentos, utilizou-se o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Briquetes produzidos

Os valores médios das massas específicas aparentes dos resíduos utilizados, em g/cm^3 , determinados antes da briquetagem dos mesmos, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios das massas específicas aparentes dos resíduos de eucalipto (*E. pellita*) e de coco (*C. nucifera*), em g/cm^3 .

Material	Massa Específica Aparente Média (g/cm^3)
Resíduos de eucalipto (<i>E. pellita</i>)	0,2224 (222,4 kg/m^3)
Resíduos de coco (<i>C. nucifera</i>)	0,1803 (180,3 kg/m^3)

A análise da segunda coluna da Tabela 2 indica que o valor médio da massa específica aparente dos resíduos de eucalipto (*E. pellita*) é 23,35% maior do que aquele apresentado pelos resíduos de coco (*C. nucifera*).

A Tabela 3 apresenta os valores médios das umidades de equilíbrio higroscópico dos briquetes, depois de submetidos à secagem ao ar livre e estabilização com a umidade do ambiente.

Tabela 3. Valores médios das umidades de equilíbrio higroscópico dos briquetes (%)*

Tratamento	Composição do Briquete	Umidade de Equilíbrio (%)
01	100% de resíduos de eucalipto	14,27 b
02	80% resíduos de eucalipto + 20% resíduos de coco	13,99 b
03	60% resíduos de eucalipto + 40% resíduos de coco	14,14 b
04	50% resíduos de eucalipto + 50% resíduos de coco	14,79 b
05	40% resíduos de eucalipto + 60% resíduos de coco	14,05 b
06	20% resíduos de eucalipto + 80% resíduos de coco	15,10 b
07	100% de resíduos de coco	19,91 a

*Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

A figura 5 apresenta amostras dos briquetes dos sete tratamentos analisados, postos para secar ao ar livre, a fim de estabilizarem as respectivas umidades com a umidade do ambiente.

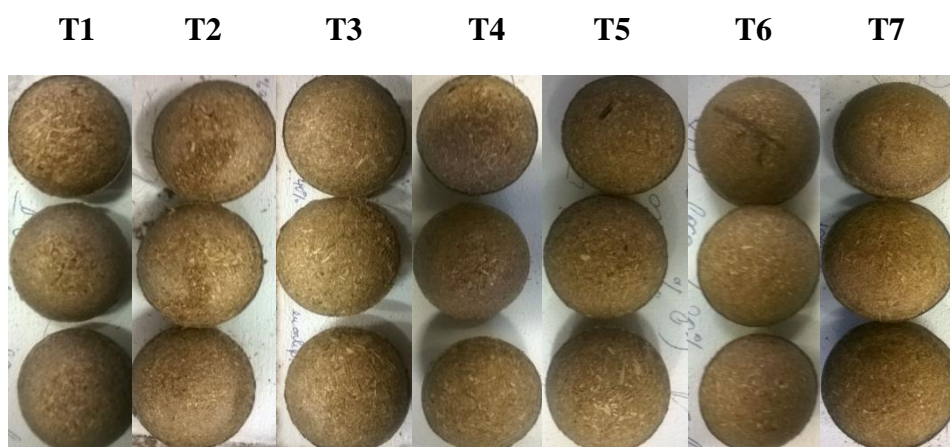


Figura 5. Briquetes sendo submetidos à secagem ao ar para a estabilização da umidade com o ambiente.

Os valores médios das umidades de equilíbrio higroscópico dos briquetes, apresentadas na Tabela 2, variaram 13,99% (T2) a 19,91% (T7), ou seja, ocorreu uma diferenciação de 42,32% entre os citados valores. Entretanto, apesar das diferenças absolutas observadas entre os valores médios, sob o ponto de vista estatístico somente houve diferença significativa entre as médias das umidades de equilíbrio higroscópico dos briquetes com relação ao tratamento 7 (100% de resíduos de coco), que se mostrou superior aos demais. Percebe-se, portanto, que os briquetes compostos por 100% de resíduos de coco apresentam a capacidade de reter um maior teor de umidade, quando expostos à umidade do ambiente. Como os resíduos de coco são mais hidrofílicos do que os de eucalipto, principalmente por possuírem um maior teor de carboidratos e, conseqüentemente, uma maior quantidade de hidroxilas (OH) livres (ERHARDT et al., 1976; ANDRADE et al., 2004), pode ser que, neste caso, tenha havido um favorecimento à formação de pontes de hidrogênio (H-HO), com uma maior retenção de umidade. A própria interação entre as partículas, neste tratamento especificamente, pode ter gerado superfícies mais propensas à retenção de umidade. A Figura 6 apresenta as superfícies dos briquetes formados com 100% de resíduos de eucalipto (Tratamento 1) e com 100% de resíduos de coco (Tratamento 7), após o aumento de 800X em microscópio digital.

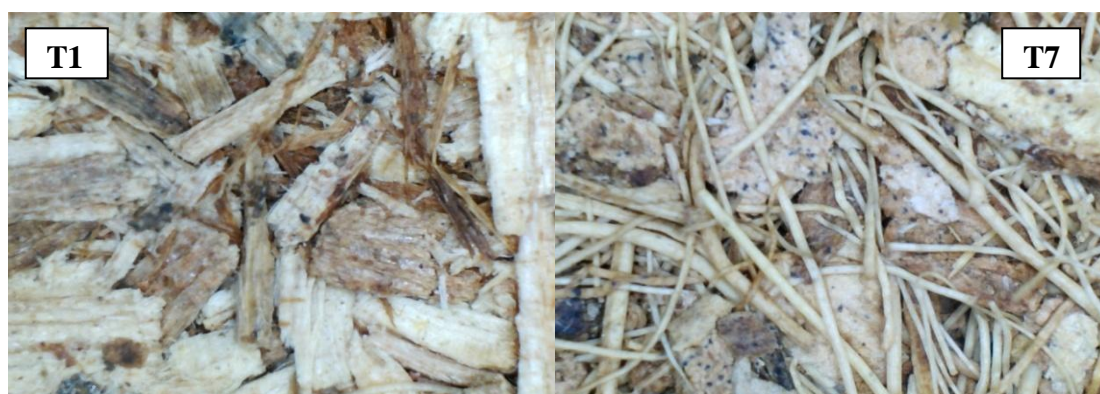


Figura 6. Superfícies dos briquetes formados com 100% de resíduos de eucalipto (T1) e 100% de resíduos de coco (T7), visualizadas após um aumento de 800X em microscópio digital.

Pode-se perceber, pela observação da Figura 6, que as superfícies dos briquetes correspondentes aos tratamentos 1 (100% de resíduos de *E. pellita*) e 7 (100% de resíduos de *C. nucifera*) diferiram muito entre si. Feixes de fibras de coco aparecem em grandes quantidades na superfície dos briquetes do tratamento 7 (100% de resíduos de coco), essas fibras têm como característica serem mais finas e longas, aumentando a superfície específica e permitindo maior área de contato com a umidade, o que pode estar conferindo aos mesmos um comportamento mais hidrofílico. Estes feixes de fibras, segundo Erhardt (1976), apesar de apresentarem uma grande afinidade com a água, com higroscopicidade média de 13% (algodão = 8,5%), também demonstram uma grande resistência natural ao desgaste causado pela absorção e perda de umidade.

4.2 Ensaio físicos dos briquetes

A Tabela 4 apresenta os valores médios das densidades básicas e massas específicas aparentes dos briquetes (g/cm^3) e ritmos de queima (g/min).

Tabela 4. Valores médios da densidade básica e massa específica aparente dos briquetes (g/cm^3) e ritmos de queima (g/min)*

Tratamento	Densidade Básica (g/cm^3)	Massa Específica Aparente (g/cm^3)	Ritmo de Queima dos Briquetes (g/min)
01	0,5688 a	0,6838 a	4,95 a
02	0,5655 ab	0,6549 a	4,90 a
03	0,5629 abc	0,6557 a	4,67 a
04	0,5577 c	0,6546 a	4,52 a
05	0,5631 abc	0,6552 a	4,50 a
06	0,5614 bc	0,6613 a	4,45 a
07	0,5326 d	0,6651 a	4,62 a

*Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

Nota-se, na Tabela 4, que os valores médios das densidades básicas dos briquetes (g/cm^3), de uma forma não muito consistente, diferiram estatisticamente entre si. Em virtude da menor massa específica aparente média (g/cm^3) dos resíduos de coco (*C. nucifera*), apresentada na Tabela 2, parece haver uma ligeira tendência à diminuição das densidades básicas (g/cm^3) à medida que se aumenta o teor desse resíduo na composição dos briquetes. Desta forma, os briquetes formados com 100% de resíduos de coco (T7) apresentaram a menor densidade básica.

Em relação aos valores médios das massas específicas aparentes dos briquetes (g/cm^3), nota-se que apesar de existirem pequenas diferenças nos valores absolutos, sob o ponto de vista estatístico não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos. Entretanto, deve-se ressaltar que, sob o ponto de vista físico, os resultados obtidos foram satisfatórios, considerando-se os expressivos aumentos observados em relação às massas específicas dos materiais, considerados antes e depois dos resíduos serem submetidos à briquetagem. Tendo-se por base os briquetes constituídos por 100% de resíduos de eucalipto (*E. pellita*) e 100% de resíduos de coco (*C. nucifera*), respectivamente, as massas específicas aparentes aumentaram nas seguintes proporções: para os resíduos de eucalipto, de $0,2224 \text{ g/cm}^3$ para $0,6838 \text{ g/cm}^3$, representando um aumento de 205,98%; para os resíduos de coco, de $0,1803 \text{ g/cm}^3$ para $0,6651 \text{ g/cm}^3$, representando um aumento de 268,88%. Chrisostomo (2011) encontrou valores médios de massa específica aparente de $0,87 \text{ g/cm}^3$ para briquetes de *Eucalyptus* spp. Porém, diferentemente do presente estudo, utilizou partículas com granulometria média de, no máximo, 0,84mm.

Segundo Flores et al. (2009) e Dias Júnior (2013), o aumento da massa específica aparente, resultante da transformação de resíduos em briquetes, é um fator altamente positivo, uma vez que acarreta uma série de vantagens, dentre as quais se destacam: geração de um combustível com dimensões regulares e mais limpo, padronização da umidade e densidade do combustível, maior facilidade de manuseio e ensacamento do combustível, redução dos custos de transporte e armazenamento, maior concentração de energia calorífica, maior eficiência térmica durante a queima, aumento das possibilidades de utilização, dentre outras vantagens.

Os ritmos de queima dos briquetes (g/min), a despeito das variações nas composições e das umidades de equilíbrio dos mesmos, não diferenciaram significativamente entre si. Entretanto, pode-se afirmar que os ritmos de queima dos briquetes observados, para todos as composições analisadas, mantiveram-se em patamares aceitáveis, sugerindo que a deterioração térmica dos briquetes, ao serem submetidos ao processo de combustão, ocorrerá em um período de tempo nem muito rápido e, nem tampouco, demasiadamente longo. Os valores médios dos ritmos de queima observados no presente estudo equipararam-se àqueles encontrados por Dias Júnior (2013), avaliando briquetes produzidos com moinha de eucalipto e resíduos de bambu, que variaram de 2,0 a 4,5 g/min . A Figura 7 mostra a relação entre o ritmo de queima (g/min) e a massa específica aparente dos briquetes (g/cm^3), para as sete composições analisadas.

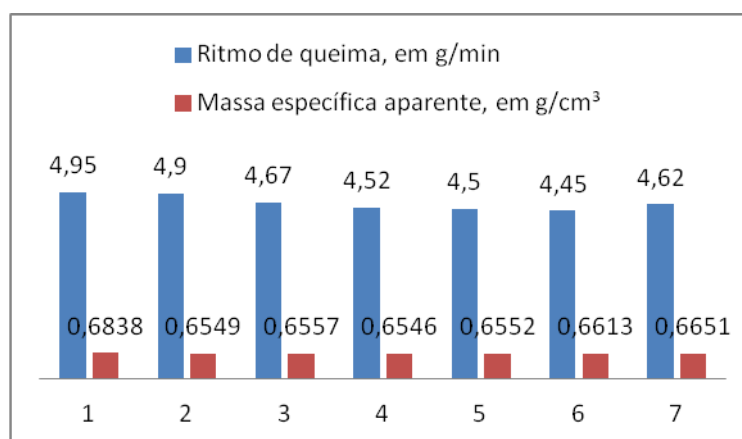


Figura 7. Relação entre ritmo de queima (g/min) e massa específica aparente (g/cm³)

4.3 Análise química imediata dos briquetes

A Tabela 5 apresenta os valores médios observados após a realização da análise química imediata, a partir da qual foram determinados os teores de matérias voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF) dos briquetes.

Tabela 5. Valores médios dos teores de materiais voláteis (TMV), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF) das composições analisadas

Tratamento	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)
01	83,33a	0,00c	16,66bc
02	83,33a	2,66bc	14,00c
03	73,33bc	9,33a	17,33bc
04	76,66ab	1,00c	22,33ab
05	76,66ab	2,33bc	21,00bc
06	68,36c	3,00bc	28,66a
07	78,33ab	6,66ab	15,00c

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

A partir da análise dos valores médios apresentados na Tabela 5, resultantes da análise química imediata dos briquetes, somente é possível se afirmar com uma certa segurança que os mesmos apresentaram altos teores de materiais voláteis. Neste caso, os valores médios, que variaram de 68,36% a 83,33% (Carvão Vegetal = 18 a 25%), indicam a boa qualidade do combustível para a queima direta em fornalhas de caldeiras e de secadores de grãos, bem como em fornos de cerâmicas, de padarias e de pizzarias. Tal afirmação, além de estar lastreada na literatura técnica vigente (SANTIAGO & ANDRADE, 2005; DIAS JÚNIOR, 2013), está vinculada à liberação, durante a queima de combustíveis com esta característica, de grandes volumes de gases voláteis

inflamáveis (CO, CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀, C₅H₁₂, C_nH_{n + 2}, H₂, etc.), resultando em grandes quantidades de labaredas.

A inconsistência observada em relação aos valores médios dos teores de cinza impossibilitou quaisquer associações com as demais variáveis envolvidas na produção dos briquetes. Entretanto, o que pode perceber é que os teores de cinza somente foram detectados nos tratamentos em que os resíduos de coco (*C. nucifera*) encontravam-se presentes na composição dos briquetes. Nesta condição, teores de cinza que variaram de 1,0% a 9,33% se apresentaram de uma forma inconsistente, nos briquetes com resíduos de coco nas proporções que variavam de 20 a 100%. Segundo Erhardt (1976) e Andrade et al. (2004), o *C. nucifera* apresenta elevados teores de sílica na sua camada mais externa (brilhante e esverdeada), conhecida por pericarpo.

Como o teor de carbono fixo dos combustíveis é uma variável dependente dos teores de voláteis e de cinza, sendo inversamente proporcional aos mesmos, os seus valores médios também se apresentaram de uma forma desorganizada, inconsistente e de difícil interpretação. Entretanto, o que se pode afirmar que as combinações com os menores teores de voláteis e de cinza resultam em maiores teores de carbono fixo e, vice-versa.

4.4 Análise térmica dos briquetes

Na Tabela 6 encontram-se os valores médios dos poderes caloríficos superior e inferior dos briquetes (kcal/kg), estimados com base nas Equações 1 e 2, apresentadas no item 3.4.

Tabela 6. Valores médios dos poderes caloríficos superior (PCS) e inferior (PCI) dos briquetes, em kcal/kg

Tratamento	PCS (kcal/kg)	PCI (kcal/kg)
01	8033a	6716 a
02	7814ab	6547 a
03	7228c	6074 b
04	7964a	6614 a
05	7855ab	6578 a
06	7817ab	6462 a
07	7496bc	5834 b

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

Em virtude das características físicas, químicas e térmicas adquiridas pelos briquetes, os valores médios relacionados aos seus poderes caloríficos superior e inferior (kcal/kg) se mostraram elevados e adequados para inúmeras aplicações energéticas. Porém, tais valores médios se comportaram de uma forma inconsistente, não permitindo as interpretações com certa segurança.

Andrade (1993) comentando algumas questões relacionadas ao uso da biomassa vegetal para fins energéticos fez cinco observações: 1ª) O poder calorífico de um combustível é incrementado a partir de um sensível aumento no seu teor de carbono fixo ou no seu teor de matérias voláteis; 2ª) Mantendo estável o teor de cinza, não há como se aumentar, simultaneamente, o teor de carbono e o teor de matérias voláteis, uma vez que existe um antagonismo entre o comportamento destas variáveis; 3ª) O poder calorífico de um combustível diminuirá se o seu teor de cinza aumentar; 4ª) Deve-se associar o aumento do teor de carbono ao aumento do poder de redução e de formação de brasas de um combustível; e, 5ª) O aumento do teor de matérias voláteis deve ser associado ao aumento do poder de combustão e de formação de chamas do combustível.

Pesquisando alguns resíduos lignocelulósicos para fins energéticos, Paula (2010) encontrou valores médios de poder calorífico superior abaixo dos observados na presente pesquisa para a casca de arroz (3628,5 kcal/kg), caule de café (4334,5 kcal/kg) e bagaço de cana-de-açúcar (4065,0 kcal/kg).

5. CONCLUSÕES

Tendo por base as condições em que a presente pesquisa foi realizada e os resultados observados, conclui-se que:

1º) Antes da briquetagem, a massa específica aparente (g/cm^3) dos resíduos de *E. pellita* ($0,2224 \text{ g/cm}^3$) mostrou-se 23,35% maior do que a massa específica aparente (g/cm^3) dos resíduos de *C. nucifera* ($0,1803 \text{ g/cm}^3$).

2º) A densidade básica dos briquetes variaram de $0,5326 \text{ g/cm}^3$ (100% de resíduos de coco) a $0,5688 \text{ g/cm}^3$ (100% de resíduos de eucalipto), havendo diferenças significativas entre os tratamentos. A massa específica aparente variou de $0,6546 \text{ g/cm}^3$ a $0,6838 \text{ g/cm}^3$ sem que houvesse diferença significativa entre os tratamentos.

3º) Os briquetes produzidos com 100% de resíduos de *C. nucifera*, ao serem comparados com os demais, apresentam maiores umidades ao entrarem em equilíbrio com o ambiente.

4º) As densidades básicas (g/cm^3), as massas específicas aparentes (g/cm^3) e os ritmos de queima (g/min), não são afetados significativamente pela composição e pela umidade de equilíbrio dos briquetes.

5º) Os briquetes produzidos sob as condições analisadas apresentam elevados teores de matérias voláteis e baixos teores de carbono fixo.

6º) Em função dos altos teores de matérias voláteis e, conseqüentemente, da liberação de elevados volumes de gases inflamáveis durante a queima dos briquetes, haverá a formação de grandes quantidades de chamas.

7º) Devido à liberação de grandes quantidades de chamas durante a queima, os briquetes de todas as composições apresentam elevados poderes caloríficos superior e inferior, em kcal/kg.

Recomendações:

1ª) São necessários estudos mais aprofundados sobre as interações físicas e químicas observadas ao serem misturados os resíduos ora analisados.

2ª) Os resíduos agrofloretais ora analisados, principalmente os resíduos de coco (*C. nucifera*), carecem de estudos relacionados à produtividade, custos de produção, volumes disponíveis por região, adequação de equipamentos, entre outros aspectos relevantes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, P.H.F. **Formas de aproveitamento de resíduos da madeira.** 2007. 45f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2007.

ANDRADE, A.M. **Efeito da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto.** 1993. 105f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1993.

ANDRADE, A.M. et al. Pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocos nucifera* Linn) e análise do carvão vegetal. **Revista Árvore.** Viçosa-MG, v.28, n.5, p.707-714, 2004.

ANDRADE, A.M. et al. **Produção de compósitos de pasta de papel velho com Coco da Bahia (*Cocos nucifera* Linn) triturado.** Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, convênio UFRRJ / COPPE. UFRJ, 2003. 47 p. (Relatório Final, não-publicado)

BEZZON, G.; IVENGO, C.A. **Carvão vegetal derivado de resíduos agrofloretais: uma alternativa energética.** Grupo combustíveis alternativos, São Paulo, 1999. 23p.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal.** Rio de Janeiro: Interciência, 2010, 114p.

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem.** 2007. 105f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.

BRAND, M.A. et al. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serrarias através do balanço de materiais. **Revista Floresta.** Curitiba-PR. v.32, n.2, p. 247-259, 2002.

BRITO, E.O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, Paraná, v.26, n.2, p.34-39, 1996.

CHRISOSTOMO, W. **Estudo da compactação de resíduos lignocelulósicos para utilização como combustível sólido**. 2011. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba. 2011.

COUTO, L.C. et al. Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa e Energia**. Viçosa-MG, vol. 1, n. 1, p. 71-92, 2004.

DIAS JÚNIOR, A.F. **Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais**. 2013. 25f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2013.

ERHARDT, T. et. al. **Curso Técnico Têxtil. Física e Química Aplicada. Fibras Têxteis. Tecnologia**. São Paulo: Pedagógica e Universitária Ltda / EDUSP. 1976. 88 p.

FERREIRA, J.M.S. et al. **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1998. 292 p.

FLORES, W.P. et at. Redução do volume de biomassa no processo de briquetagem. **Revista da Madeira**. Curitiba, Paraná. n.121, p. 32-34, 2009.

GENTIL, L.V.B. **Tecnologia e economia de briquete de madeira**. 2008. 195f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Nacional de Brasília. Brasília. 2008.

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

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Banco de Dados Agregados. Brasília, DF: PAM – Produção Agrícola dos Municípios**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1613&z=p&o=20> acesso 22/05/2014.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores**. 2012. 11p. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/120425_comunicadoipea0145.pdf Acesso em: 26/06/2014.

NOGUEIRA, L.A.H. et al. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Distrito Federal: Interciência. Brasília, 2000. 144p.

OHANA, C.C. **Utilização de resíduos do processamento de teca (*Tectona grandis* L.f.) na produção de briquetes**. 2012. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2012.

OLIVEIRA, J.B. et al. **Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal**. Belo Horizonte, Fundação CEFET-MG. 1982. p. 7-38.

PAULA, J.C.M. de, **Aproveitamento de resíduos de madeira para confecção de briquetes**. 2006. 37f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2006.

PAULA, L.E. de R. **Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos**. 2010. 35f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2010.

PROTÁSSIO, T.P. et al. Compactação da biomassa vegetal visando a produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo-PR. vol. 31, n.68, p.273-283. 2011.

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

QUIRINO, W.F.; BRITO, J.O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA, 1991. 18p. (Série Técnica, 13).

QUIRINO, W.F. **Características de briquetes de carvão vegetal a seu comportamento na combustão**. 1991. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1991.

QUIRINO, W.F. et al. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, São Paulo, v. 40, n. 96, p. 525-536. 2012.

QUIRINO, W.F. **Utilização Energética de Resíduos Vegetais**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA. 2003. 14p.

QUIRINO, W.F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: Laboratório de produtos florestais LPF/IBAMA. p.4-32, 2000. (Módulo do curso “Capacitação de agentes multiplicadores em valorização da madeira e dos resíduos vegetais”).

ROSA, M.F. et al. **Processo agroindustrial: obtenção de pó de cascas de coco verde**. Fortaleza-CE. Embrapa. 2001. (Comunicado Técnico 61).

ROSA, M.F. et. al. **Beneficiamento de casca de coco verde**. Disponível em: http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_3830.pdf. Acesso 05 maio 2014.

SANTIAGO, A.R.; ANDRADE, A.M. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. **Ciência Florestal**. Santa Maria-RS, v. 15, n. 1, p. 1-7, 2005.

SANTOS, M.S. **Propriedades térmicas e mecânicas de materiais reciclados a base de PET pós consumo e cargas de coco**. 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Polímeros). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, A.P. **Produção de briquetes dos carvões de casca, maravalha e serragem de eucalipto (*Eucalyptus pellita*), pirolisados às temperaturas máximas de 400°C e 600°C.** 2007. 13f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2007.

SILVEIRA, M.S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em salvador-BA.** 2008. 55f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, Salvador. 2008.

VALE, A.T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* HILL EX-MAIDEN e *Acacia mangium* WILLD em diferentes níveis de adubação. **Revista Cerne.** Lavras-MG, vol. 06, n.01, p.83-88, 2000.

VALE, A.T do; GENTIL, L. V. Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais. In: OLIVEIRA, J. T. da S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Ed). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III.** Jerônimo Monteiro-ES. 2008. p. 196-246.

VALLE, C.E. **Qualidade Ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente.** São Paulo. Pioneira. 1995. 102p.

VASCONCELLOS, G.F. **Biomassa: A eterna energia do futuro.** São Paulo: SENAC. 2002. 26p.

VIEIRA, R.S. **Pequenos objetos de madeira de eucalipto: possibilidade de aproveitamento de resíduo.** 2006. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2006.