



Produção de briquetes a partir de espécies florestais

Production of briquettes from forest species

Felipe Silva Amorim¹, Marcelo Xisto Ribeiro², Thiago de Paula Protásio³, César Henrique Alves Borges⁴, Romualdo Medeiros Cortez Costa⁵

Resumo: O setor madeireiro do Brasil produz uma grande quantidade de resíduos, causando danos ao meio ambiente. Diante desse cenário, objetivou-se produzir e avaliar briquetes a partir de serragem de madeira produzida por uma marcenaria localizada no extremo sul do Piauí, visando seu uso tecnológico como fonte energética. Os resíduos utilizados no trabalho são das espécies de Ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa* M.), *Pinus* sp. L. e Violeta (*Daugerbia cearensis* D.). A serragem foi coletada em uma marcenaria localizada no município de Corrente-PI. Utilizou-se uma prensa hidráulica de 15 Ton, adaptada. Os briquetes foram avaliados em relação à densidade aparente, densidade a granel, análise química imediata, PCS, PCI, e ICOM. Os briquetes apresentaram densidade aparente média 1,229 g/cm³ (*Pinus* sp.), 1,225 g/cm³ (Violeta) e 1,139 g/cm³ para o Ipê roxo. Os briquetes da espécie Ipê roxo obteve o maior ICOM, com 0,3961. Observou-se pouca diferença nas dimensões, densidade e ICOM dos briquetes, quando utilizado o teste de Tukey a 5% de significância. Com base na regressão linear, a densidade está correlacionada positivamente com o ICOM. Os briquetes produzidos mostraram-se como uma nova fonte energética a ser utilizada, ajudando ainda mitigar os impactos causados pela exploração predatória das florestas nativas.

Palavras-chaves: resíduo, briquetagem, ICOM, fonte energética.

Abstract: The timber sector in Brazil produces a lot of residues, causing damage to the environment. In this scenario, the objective was to produce and evaluate briquettes from sawdust produced by a carpentry shop located on the southern edge of Piauí, aiming its technological use as an energy source. Residues used at work are the species of Ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa* M.), *Pinus* sp. L. and Violeta (*Daugerbia cearensis* D.). The sawdust was collected in a carpentry shop in the municipality of Corrente-PI. We used a 15 ton hydraulic press adapted. The briquettes were evaluated for bulk density, bulk density, chemical analysis, PCS, PCI, and ICOM. The briquettes showed apparent medium density 1,229 g/cm³ (*Pinus* sp.), 1,225 g/cm³ (Violeta) and 1,139 g/cm³ to Ipê roxo. The Ipê roxo kind of briquettes had the highest ICOM, with 0.3961. There was little difference in dimensions, density and ICOM of briquettes, when using the Tukey test at 5% significance level. Based on linear regression, the density is positively correlated with the ICOM. The briquettes produced appeared as a new energy source to be used while helping mitigate the impacts caused by the predatory exploitation of native forests.

Key words: residue, briquetting, ICOM, energy source.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 20/09/2015; aprovado em 29/10/2015

¹Mestrando, PPGCF/CSTR/UFCEG, Patos - PB; Fone: (89) 99903-4961, E-mail: felipeamorim36@hotmail.com.

²Professor Mestre, UFPI/CPCE, E-mail: marceloxisto@hotmail.com

³Professor Mestre, UFCEG, E-mail: depaulaprotasio@gmail.com

⁴Mestrando, PPGCF/CSTR/UFCEG, Patos - PB, E-mail: cesarhenrique27@yahoo.com.br

⁵Mestrando, PPGCF/CSTR/UFCEG, Patos - PB, E-mail: romualdocortez@gmail.com

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de madeira plantada e nativa do mundo. Diante desse cenário, uma grande quantidade de resíduos florestais é gerada anualmente por macro e microempresas que fazem uso da base florestal madeireira. Como consequência disso tem-se o problema de estocagem, armazenamento e utilização desses resíduos.

Em relação às florestas plantadas, a quantidade de resíduos gerados durante todo o processo produtivo chega a atingir mais da metade da madeira bruta, sendo que esse valor tende a ser maior em florestas nativas (DIAS et al., 2012). A quantidade de resíduos gerados da exploração florestal, incluindo também a usinagem primária, chega a ser em alguns casos, superior a madeira trabalhada (NOGUEIRA; LORA, 2003).

O setor moveleiro é um dos principais geradores de resíduos florestais. Em grande quantidade, esses resíduos podem causar sérios danos ao meio ambiente, podendo prejudicar cursos d'água, poluindo o ar através da incineração e ainda prejudicando operações em indústrias, devido ao espaço ocupado nas mesmas (PROTÁSIO et al., 2011). Diante desse cenário é necessário pensar em alternativas que visem mitigar os impactos ambientais causados pela má disposição dos resíduos madeireiros, visando a sua utilização como fonte alternativa de renda.

Uma forma de utilização dos resíduos florestais seria transforma-los em biocombustíveis sólidos, através da briquetagem. Essa técnica é baseada em um processo totalmente mecânico, onde se utiliza biomassa para transforma-la em um combustível sólido denso, com baixo teor de umidade, com alta densidade energética, possuindo forma regular/padrão, facilitando assim seu transporte e armazenamento e ainda ajudando na padronização dos produtos confeccionados de indústrias que utilização caldeiras (QUIRINO et al., 2012).

Além de todas essas vantagens, os briquetes podem ser usados nos mesmos setores em que a lenha já vem sendo utilizada, tais como padarias, pizzarias, cerâmicas etc., proporcionando maiores rendimentos devido ao seu padrão característico de uniformidade e suas melhores propriedades em relação à lenha (SANT'ANNA et al., 2012).

Diante da grande geração de resíduos oriundos dos processos de usinagem e beneficiamento da madeira e do impacto ambiental causado pela sua má disposição final, o presente estudo teve como objetivo produzir e avaliar briquetes a partir de serragem de madeira produzida por uma marcenaria localizada no extremo sul do Piauí, visando seu uso tecnológico como fonte energética.

MATERIAL E MÉTODOS

A serragem de madeira utilizada no processo de briquetagem foi coletada em uma marcenaria localizada no extremo sul do Piauí, na cidade de Corrente. A escolha das espécies ocorreu de acordo com aquelas que eram mais usadas na marcenaria e também pelos setores (cerâmicas, padarias, pizzarias) que fazem uso da madeira como combustível energético. A partir disso, foram selecionadas

três espécies: Ipê Roxo (*Tabebuia impetiginosa*), *Pinus* sp. L., e Violeta (*Daugerbia Cearensis* D.).

O experimento teve início em novembro de 2014 e foi finalizado em fevereiro de 2015. A serragem das três espécies foram coletadas e armazenadas em sacos de fibra, e encaminhadas para o Laboratório de Tecnologia dos Produtos Florestais (LTPF) da Universidade Federal do Piauí, Localizado no município de Bom Jesus-PI, onde ficaram por duas semanas em temperatura controlada (24°C), visando a estabilização do teor de umidade do resíduo.

Em seguida, a serragem das espécies foi analisada quanto a sua umidade, teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, de acordo a norma NBR 8112 (ABNT, 1986), e também o seu poder calorífico de acordo a NBR 8633 (ABNT, 1984). Para a análise do poder calorífico superior (PCS), as amostras foram encaminhadas para a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária (UNESP), Campus de Jaboticabal, São Paulo. O poder calorífico inferior também foi estabelecido, de acordo a seguinte fórmula:

$$PCI = ((PCS - 25,11 \times 100)) / (100 + H) \times 100$$

Sendo:

PCI = poder calorífico inferior;

PCS = poder calorífico superior;

H = umidade da madeira base.

Para a produção de briquetes, utilizou-se uma prensa hidráulica (15 Ton), adaptada com um botijão de gás, um aparelho lança chamas, um suporte universal, três cilindros de ferro oco (30 mm x 250 mm), dois cilindros de ferro maciço (29 mm x 250 mm e 29 mm x 150 mm), dois suportes para os cilindros de ferro oco, um para compactação e outro para retirada do briquete (Figura 1).

Figura 1. Prensa hidráulica adaptada.



Antes da confecção propriamente dita dos briquetes, realizaram-se vários testes em relação à pressão a ser utilizada, granulometria e massa da serragem, tempo e temperatura, visando a obtenção de um briquete de qualidade.

A serragem foi triturada utilizando um liquidificador doméstico e em seguida peneirada. Utilizou-se a serragem que ficou retida na peneira de 1 mm.

Tendo em vista as dimensões do cilindro de ferro oco usado na briquetagem, foram utilizadas 50 g de serragem para

a confecção dos briquetes. As amostras foram pesadas em uma balança analítica de precisão de 0,0001 g.

Após a pesagem, colocou-se a serragem no cilindro de ferro oco. Na parte inferior do cilindro foi acoplado um suporte a fim de não deixar a serragem sair, e também dar sustentação ao cilindro durante o processo. Na parte superior do cilindro oco foi colocado o cilindro maciço, para pressionar de forma regular a serragem. O outro cilindro maciço, menor, foi colocado também na parte superior, tendo em vista o pequeno curso hidráulico (12,5 cm) da prensa.

Posteriormente, os cilindros e os suportes foram direcionados a prensa hidráulica. Por fim, a serragem foi compactada por oito minutos, utilizando uma pressão de 250,45 kgf/cm², a uma temperatura de 129°C.

Após a confecção dos briquetes, determinou-se a densidade aparente a partir do método estereométrico, calculando o volume e a massa do briquete com um paquímetro digital e uma balança analítica de precisão de 0,0001 g (Figura 2), utilizando a seguinte fórmula:

$$D = m / v$$

Sendo:

D = densidade;

m = massa;

v = volume.

Figura 2. Medição dos briquetes com paquímetro digital.

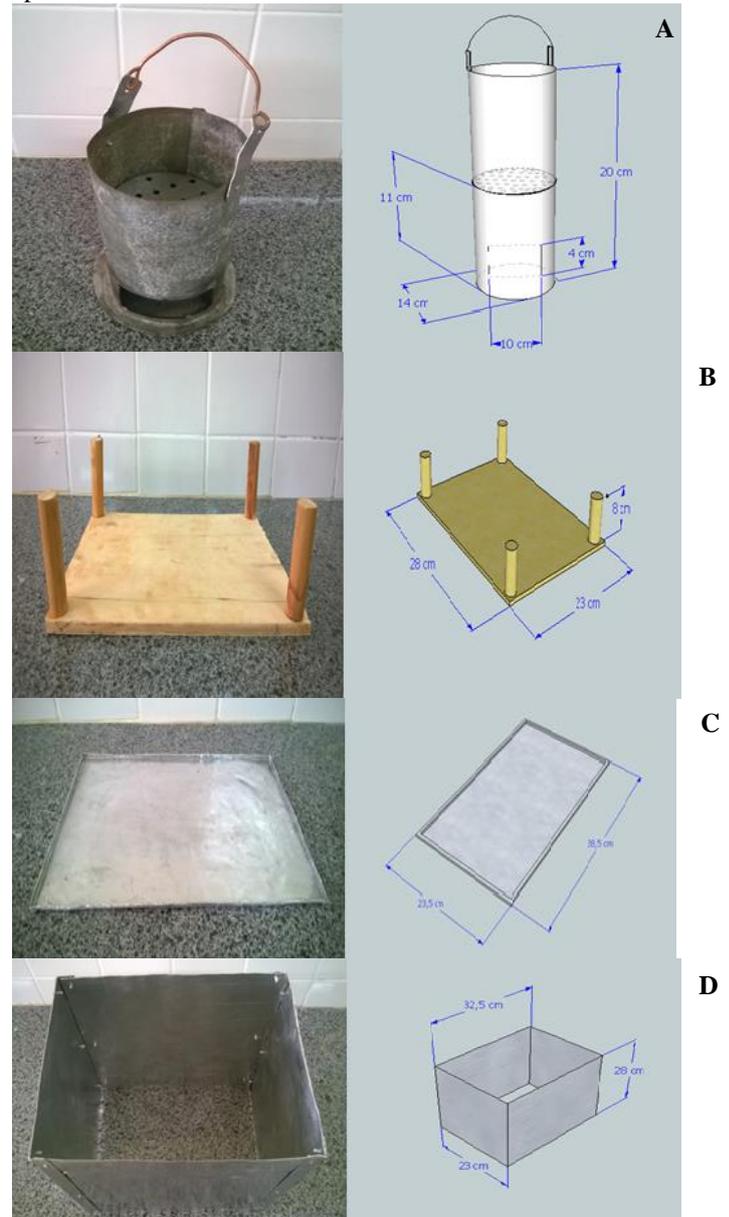


Determinou-se também a densidade a granel. Tendo em vista a pequena quantidade de briquetes produzidos, fizeram-se adaptações (150 x 150 x 150 mm) na norma NBR 6922 (ABNT, 1981) para determinar a densidade a granel.

Em seguida, os briquetes foram analisados quanto a sua combustão. Para essa análise, elaborou-se um equipamento semelhante ao proposto e desenvolvido por Quirino e Brito (1991).

O equipamento é composto por um combustor fabricado em zinco, uma base de madeira com tabiques, uma base de alumínio, um termômetro digital, uma balança com capacidade de 5 kg e um anteparo de alumínio (Figura 3).

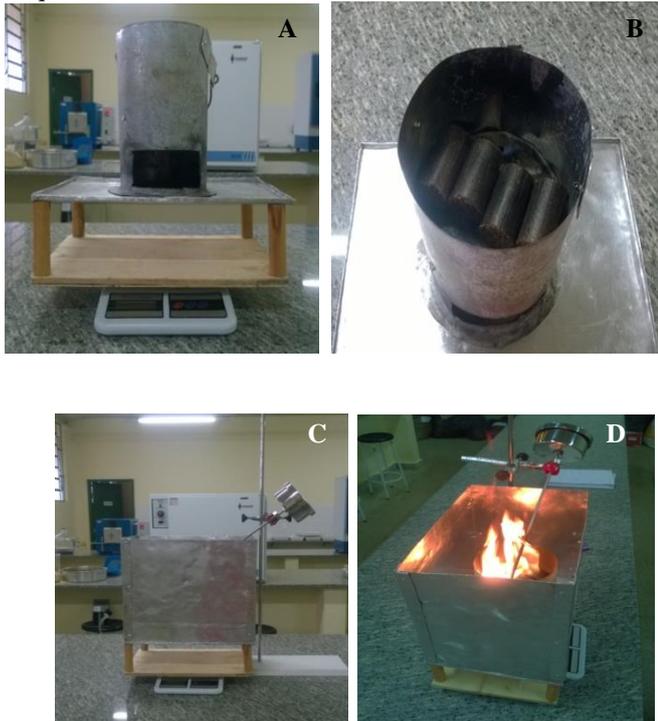
Figura 3. Equipamento de combustão. A) combustor de zinco; B) base de madeira e tabiques; C) base de alumínio; D) aparato de alumínio.



Para o teste de combustão, foram utilizados quatro briquetes de cada espécie.

Inicialmente, colocou-se o combustor sobre a base de alumínio e da base de madeira. A madeira com os tabiques possuía a função de proteger a balança das altas temperaturas. Em seguida, os briquetes foram colocados no combustor. Para dar ignição inicial, foram utilizados 8 g de álcool, em um recipiente de alumínio. Logo após a ignição, o aparato de alumínio foi colocado, a fim de garantir a queima total dos mesmos, protegendo-os da movimentação do ar. Todo o álcool foi consumido no minuto inicial do teste, não influenciando nos resultados. Por fim, foi colocado o termômetro digital juntamente com um suporte universal para dar sustentação. Todo o processo de preparo e combustão dos briquetes está ilustrado na Figura 4.

Figura 4. Realização do ensaio de combustão. A) combustor, base de alumínio, base de madeira, balança digital; B) Briquetes sobre o combustor; C) Equipamento completo; D) Briquetes em combustão.



O processo de combustão teve duração de duas horas. A cada cinco minutos foram coletados dados de temperatura e massa. O teste consistiu em verificar a temperatura e a massa consumida no decorrer de duas horas, permitindo elaborar curvas de temperatura x tempo e massa x tempo.

Estabeleceu-se um patamar de 150°C para análise dos dados, tendo em vista que após a realização de testes pilotos, a temperatura máxima atingida pela combustão dos briquetes não foi inferior a esse valor. Com os valores encontrados foi possível calcular o índice de combustão (ICOM). De acordo Quirino e Brito (1991), esse índice representa de forma qualitativa o desempenho do combustível sólido na geração de energia na forma de calor. O ICOM foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$\text{ICOM} = (A \times B) / (100 \times C)$$

Sendo:

ICOM = índice de combustão;

A = porcentagem do tempo em que a temperatura permaneceu acima de 150°C;

B = porcentagem da temperatura máxima atingida em relação à temperatura de 150°C;

C = porcentagem da massa total consumida gerando altas temperaturas acima de 150°C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os briquetes produzidos a partir da serragem das espécies mostraram-se semelhantes quanto as suas dimensões (Figura 5), e também quanto à massa, volume, densidade aparente e a granel (Tabela 1).

Figura 5. Briquetes de Violeta, *Pinus* sp. e Ipê roxo, respectivamente.



Um fator importante a ser considerado na semelhança em suas características físicas é o fato de que a serragem inicial pesada é igual, e que ocorre também perda da mesma, devido ao fato de que a base que sustenta o cilindro de ferro com a serragem não adquire mesma temperatura do que o cilindro.

Os briquetes das três espécies apresentaram densidade aparente alta, sendo essa uma característica desejável quando se trabalha com combustíveis sólidos para geração de energia na forma de calor. Os briquetes das espécies obtiveram valores de densidade dentro do encontrado por Quirino et al. (2012), onde o autor e colaboradores trabalharam com resíduos de madeira de *Eucalyptus* sp., encontrando valores de densidade aparente entre 1,18 – 1,34 g/cm³. Paula et al. (2011), encontrou valores menores de densidade aparente com briquetes de serragem de *Eucalyptus* sp., 0,903 g/cm³. Gonçalves et al. (2013), utilizando serragem de madeira de *Eucalyptus grandis*, encontrou valores de densidade aparente dos briquetes variando entre 0,968 – 1,007 g/cm³. Yamaji et al. (2013), em seu trabalho, encontrou densidade aparente de briquetes produzidos a partir de resíduos florestais, com valores entre 0,80 a 0,90g/cm³. Essa variação de densidade aparente ocorre devido ao tipo e granulometria da biomassa utilizada, equipamento, pressão, temperatura e o tempo utilizado no processo de briquetagem.

Para a densidade a granel, os briquetes apresentaram valores considerados bons nesse aspecto, pois o valor padrão dos briquetes produzidos no Brasil é de 700 kg/m³. Quirino (2002) encontrou valores inferiores referente a densidade a granel de briquetes oriundos de aparas de madeira, variando de 565 a 615kg/m³. Porém, Protásio (2011) afirma que quanto maior a densidade a granel dos briquetes, menor será os custos com transporte e armazenamento, pois a densidade energética está concentrada em uma unidade menor de espaço, contribuindo de forma satisfatória com a rentabilidade econômica no aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos.

Os dados apresentados na Tabela 1, abaixo, demonstram que os briquetes apresentaram características físicas semelhantes aos produzidos em uma briquetadeira automatizada.

Em relação ao poder calorífico (Tabela 2), as espécies apresentaram valores característicos. Os valores se assemelham aos encontrados por Quirino 2002, quando o autor propõe que os valores do poder calorífico de qualquer espécie lenhosa podem variar para mais ou para menos entre

4.700 kcal/kg até 5.000 kcal/kg. O poder calorífico superior e o poder calorífico inferior de *Pinus* sp. e o poder calorífico superior de Ipê Roxo assemelham-se dos valores encontrados pelo mesmo autor e colaboradores em outro trabalho (Quirino et al., 2004), onde o poder calorífico superior e inferior, respectivamente, variou entre 4.720 kcal/kg a 5.036kcal/kg, e 3,894 kcal/kg a 4.714 kcal/kg para *Pinus* sp., e para o Ipê

roxo o autor e colaboradores encontraram o poder calorífico superior igual a 4.665 kcal/kg.

O poder calorífico mede a quantidade de energia liberada de um determinado combustível sólido por unidade de massa. Diante disso, a espécie que apresentou melhor resultado em relação a esse parâmetro foi o Ipê Roxo, com poder calorífico superior de 4.666 kcal/kg, e poder calorífico inferior igual a 4.114 kcal/kg.

Tabela 1 – Medidas de massa, volume, densidade aparente e a granel dos briquetes.

	Amostra	Massa (g)	Volume (cm ³)	Densidade (g/cm ³)	Densidade a granel (kg/m ³)
<i>Pinus</i> sp	1	44,5412	35,9067	1,2405	729,52
	2	44,4895	35,9662	1,2370	
	3	43,6269	36,1285	1,2075	
	4	44,5274	36,0894	1,2338	
Violeta	1	42,3038	34,8405	1,2142	702,42
	2	42,4356	34,9098	1,2156	
	3	42,7556	34,8405	1,2272	
	4	43,7408	35,1245	1,2453	
Ipê Roxo	1	42,4092	36,6054	1,1585	704,31
	2	42,0631	36,9466	1,1385	
	3	43,9827	39,8719	1,1031	
	4	43,1221	37,1990	1,1592	
	Média	43,3332	36,2024	1,1984	712,08

Tabela 2 - Poder calorífico das espécies estudadas.

Amostras	Poder calorífico (cal/g)	
	Superior (PC)	Inferior (PCI)
Violeta	4610,00	4082,52
<i>Pinus</i> sp	4408,00	3854,22
Ipê Roxo	4666,00	4114,74

Tabela 3 - Análise química imediata

Espécie	Análise química imediata			
	Teor de umidade %	Materiais voláteis%	Cinza%	Carbono fixo%
<i>Pinus</i> sp	8,70	85,27	3,20	11,53
Violeta	8,00	80,27	4,13	15,60
Ipê Roxo	8,32	80,72	4,68	14,60

De acordo com os dados apresentados acima pela Tabela 3, podemos ver a porcentagem dos componentes do material energético, através da análise química imediata.

O teor de umidade é essencial na utilização do combustível sólido na geração de energia, pois quanto menor esse teor, melhor será sua capacidade na geração de calor. Materiais com alto teor de umidade são indesejados, pois a energia gasta para retirar a água do mesmo pode chegar a ser superior a energia liberada na forma de calor.

De acordo Dias (2012), o teor de umidade ideal para a biomassa a ser utilizada como combustível sólido tem que está entre os valores de 5-10% de umidade. Já Quirino et al. (2004), afirma que os valores do teor de umidade de uma biomassa para a geração de energia tem que está entre os valores de 8 a 12% de umidade.

Esses dados demonstram que a serragem utilizada na briquetagem está dentro dos padrões da literatura citada, podendo assim ser utilizada no processo.

Em relação aos materiais voláteis, as espécies apresentaram valores distintos e característicos das mesmas. Segundo Tavares e Santos (2013), o percentual de materiais voláteis representa e/ou expressa a facilidade de que o material e o carbono fixo queimam em um determinado período de tempo. Portanto, de acordo a Tabela 3, a espécie *Pinus* sp. possui maior facilidade de ignição do que as demais espécies em estudo. Os valores encontrados nesse trabalho assemelham-se aos encontrados por Souza et al. (2012), com valores médios para serragem de madeira de 86,24%, e também aos encontrados por Paula (2011), com valores variando entre 78,89 a 83,19% para a serragem e maravalha de madeira.

Em relação ao teor de cinzas, a espécie que apresentou o maior teor foi o Ipê Roxo, com 4,68, seguido da espécie Violeta e *Pinus* sp.

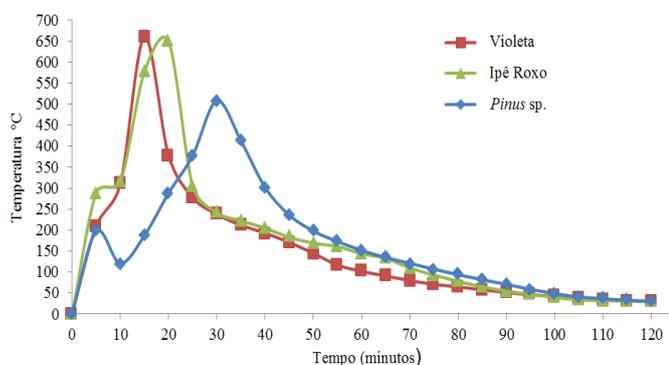
De acordo Gonçalves et al. (2009), a biomassa a ser utilizada como combustível, deve ter o menor teor de cinzas em sua composição, pois esse é um material indesejado quanto se diz respeito as operações de manejo e manutenção de caldeiras.

Portanto, dentre as espécies em estudo, a de melhor qualidade a essa característica é o *Pinus* sp., com 3,20% do seu conteúdo.

Para o teor de carbono fixo, a espécie Violeta obteve o maior teor, com 15,60%, seguido de Ipê roxo e *Pinus* sp. Portanto o Ipê roxo possui um padrão de queima melhor do as demais espécies, pois de acordo Sant'Anna (2012) a biomassa a ser utilizada como combustível que tiver maior teor de carbono fixo queima de forma mais lenta e uniforme. Os valores encontrados foram próximos aos de Paula et al. (2011), com variação entre 16,66 a 21,03%. Os valores irão variar tanto entre as espécies como dentro delas, pois esse fator varia muito de acordo ao sítio em que a espécie se encontra.

Em relação ao teste de combustão (Figura 6), verifica-se que as temperaturas alcançadas variam de acordo a origem do resíduo utilizado, sendo cada curva característica de cada espécie em estudo.

Figura 6. Temperaturas alcançadas durante a combustão dos briquetes ao longo de 120 minutos.



A figura 6 demonstra que a espécie Violeta foi a que atingiu maiores temperaturas, 660°C, seguido de Ipê roxo, 649°C, e *Pinus* sp., com 508°C.

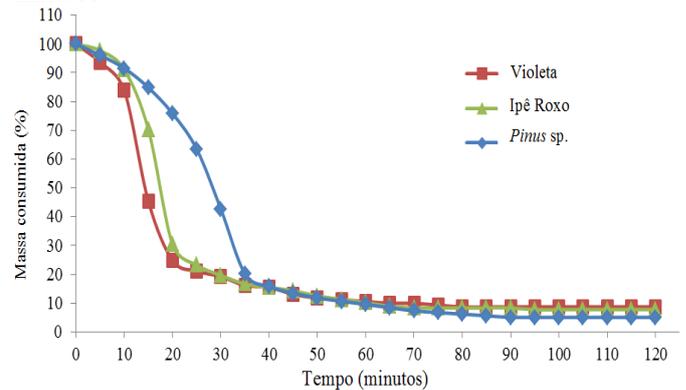
Observa-se também que a faixa de tempo em que as espécies atingem maiores temperaturas está entre 15 e 31 minutos.

Em relação às baixas temperaturas atingidas, a partir de um tempo de 50 minutos a temperatura da espécie dos briquetes de Violeta fica abaixo do patamar pré-estabelecido no teste (150°C), Ipê roxo com 60 minutos e *Pinus* sp. com 65 minutos.

A temperatura final em que os briquetes atingem no teste, após 120 minutos, assemelha-se bastante, onde o *Pinus* sp. apresenta temperatura de 31°C, Ipê roxo e Violeta com 30°C.

A porcentagem de massa consumida dos briquetes de serragem das três espécies madeiras estudadas, em relação ao tempo de 120 minutos do teste, está explanada na Figura 7, demonstrando a massa consumida de acordo a procedência da biomassa utilizada durante a análise do índice de combustão.

Figura 7. Consumo de massa dos briquetes ao longo de 120 minutos



Em relação à figura 7, os briquetes provenientes da serragem da espécie Violeta consumiram 57,75% de toda a biomassa para alcançar o seu maior pico de temperatura (660°C), em um tempo de 15 minutos. No caso do Ipê roxo, a porcentagem de massa consumida para atingir sua maior temperatura, 649°C, foi 70,34%, em um tempo de 20 minutos. Para *Pinus* sp., foi consumido 57,30% de sua massa total, em um tempo de 30 minutos, chegando a uma temperatura de 508°C.

A massa total consumida dos briquetes de Violeta, Ipê roxo e *Pinus* sp., são respectivamente, 91,30%, 92,26% e 94,94%.

Percebe-se que em um determinado tempo, a partir de 80 minutos, a massa permanece constante até ao final do teste, variando de espécie para espécie.

O Ipê roxo aos 95 minutos e ao final de 120 minutos possui a mesma massa residual, 13 g. Os briquetes de Violeta aos 80 minutos e ao fim do processo apresentam massa residual igual a 14 g. Já para os briquetes de serragem de *Pinus* sp., em 60 minutos a massa residual é igual após os 120 minutos do teste, com 9 g.

A figura 7 fornece dados importantes na utilização de um determinado tipo de biomassa como fonte energética, pois ela ajuda a determinar a quantidade de biomassa necessária a ser utilizada para atingir certa temperatura em um dado período de tempo, podendo direcionar quais espécies possuem boa qualidade na sua utilização como fonte energética, a ser usadas nos mais diversos fins, tais como padarias, pizzarias, olarias etc.

A seguir, de acordo a Tabela 4, observamos os valores médios para os parâmetros de altura, diâmetro, massa, volume, densidade aparente e o índice de combustão (ICOM), diferindo ou não estatisticamente através do teste de Tukey a

5% de significância. Os valores médios da Tabela 4 seguidos da mesma letra na coluna, não diferem entre si.

De acordo a análise estatística da Tabela 4, as alturas dos briquetes dos diferentes tipos de serragem não se diferem estatisticamente.

Em relação ao diâmetro, os briquetes das espécies *Pinus* sp. e Ipê roxo não diferem entre si, enquanto que os briquetes de Violeta apresentam diâmetro inferior aos demais.

Em relação à massa, a espécie de *Pinus* sp. diferenciou-se estatisticamente das demais, com maior massa.

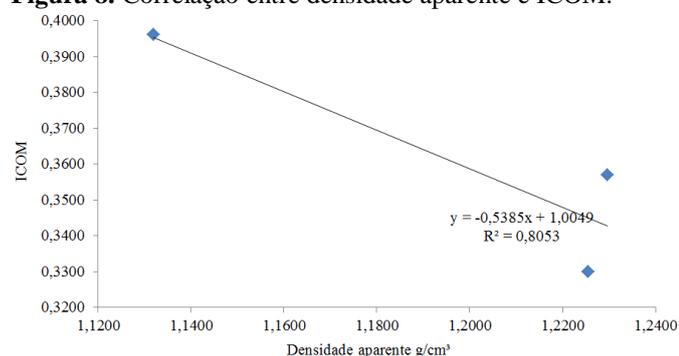
Para o volume dos briquetes, *Pinus* sp. não diferiu estatisticamente dos briquetes de Violeta e Ipê roxo, mas os últimos são diferentes entre si. Para o ICOM, os briquetes das três espécies diferiram-se umas das outras, possuindo o maior valor os briquetes de serragem de Ipê roxo e os de Violeta.

Tabela 4 – Análise estatística das variáveis dos briquetes

Serragem	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Massa (g)	Volume (cm ³)	Densidade aparente (g/cm ³)	ICOM
<i>Pinus</i> sp.	5,042 A	3,016 A	44,545 A	36,022 AB	1,229 A	0,3570 B
Violeta	5,041 A	2,970 B	42,808 B	34,928 B	1,225 A	0,330 C
Ipê Roxo	5,245 A	3,023 A	42,894 B	37,655 A	1,139 B	0,396 A

De acordo a Figura 8 abaixo, verifica-se a relação da densidade aparente (g/cm³) e o índice de combustão (ICOM).

Figura 8. Correlação entre densidade aparente e ICOM.



Através da figura 8, podemos perceber que há uma forte correlação entre a densidade do briquete em relação ao seu ICOM, implicando dizer que quanto maior a densidade do briquete, maior será o seu índice de combustão.

CONCLUSÕES

Os briquetes das três espécies estudadas mostraram-se com características de boa qualidade, podendo ser sim uma forma alternativa na geração de energia, contribuindo com a mitigação dos impactos causados pela exploração predatória das florestas nativas.

Percebeu-se que a densidade aparente foi um fator crucial no que diz respeito à qualidade do briquete.

Ainda sim, precisam ser realizados testes de resistência mecânica para comprovar a utilização e qualidade dos briquetes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6922:** Carvão vegetal – Ensaios físicos de determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro: ABNT. 1981. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8112:** Carvão vegetal – Análise imediata – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT. 1986. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8633:** Carvão vegetal – Determinação do poder calorífico – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT. 1984. 13p.

DIAS, J. M. C.; DE SOUSA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas agroindustriais e florestais.** EMBRAPA – AGORENERGIA. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012.

GONÇALVES, B. F.; YAMAJI, F. M.; FERNANDEZ, B. O.; DA RÓZ, A. L.; FLORIANO, F. S. Caracterização e comparação entre diferentes granulometrias de serragem de *Eucalyptus grandis* para confecção de briquetes. **Revista Instituto Floresta**, v. 25, n. 2, p. 205-213, 2013.

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

NOGUEIRA, L. A.; LORA, E. E. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações.** 2ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003, 199p.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; DE ASSIS, C. O.; BALIZA, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 103-112, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de

biocombustíveis sólidos. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.

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

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

QUIRINO, W. F.; DO VALE, A. T.; DE ANDRADE, ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa e energia**, v.1, n. 2, p. 173-182, 2004.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: IBAMA, LPF. 2002, 31p.

SANT'ANNA, M. C. S.; LOPES, D. F. C.; CARVALHO, J. B. R.; DA SILVA, G. F. Caracterização de briquetes obtidos com resíduos da agroindústria. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 3, p. 289-294, 2012.

SOUZA, M. M.; DA SILVA, D. A.; ROCHADELLI, R.; DOS SANTOS, R. C. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos de colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 325-334, 2012.

TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **Holos**, v. 5, n. 29, p. 19-27, 2013.

YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTOMO, W.; FLORES, W. P. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. **Energia na Agricultura**, v. 28, n. 1, p. 11-25, 2013.