

Qualidade energética da madeira e de briquetes
produzidos a partir de *Cupressus lusitanica* Mill.Energetic quality of wood and briquettes
produced from *Cupressus lusitanica* Mill.Caio Cesar Faedo de Almeida¹, Martha Andreia Brand²,
Ailton Leonel Junior Balduino³ e Aleksandro Bayestorff da Cunha²**Resumo**

A briquetagem de resíduos do processamento mecânico da madeira possibilita o aproveitamento dessa matéria-prima, além de minimizar o desperdício e a pressão exercida sobre o ambiente. Tendo em vista a utilização de espécies não usuais como o *Cupressus lusitanica* Mill. é primordial o uso dos subprodutos dela, a fim de agregar valor à espécie. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade energética da madeira e de briquetes produzidos a partir da serragem gerada no processamento mecânico, em serraria, da espécie de *C. lusitanica* Mill. As propriedades da madeira avaliadas foram: densidade básica; poder calorífico superior; os teores de carbono fixo, voláteis e cinzas. Os briquetes foram produzidos em uma briquetadeira piloto, a 120 °C, com pressão 65, 95 e 130 bar. Foram produzidos dez briquetes para cada tratamento, tendo sido avaliadas as propriedades: densidade aparente do briquete; teor de umidade; resistência à compressão e razão de compactação. Tanto para madeira como para o briquete foi calculada a densidade energética para permitir a comparação entre as diferentes formas de uso da madeira como combustível. A madeira de *C. lusitanica* apresentou densidade básica de 0,40 g.cm⁻³; poder calorífico superior de 4679 kcal.kg⁻¹; teores de carbono fixo, voláteis e cinzas de 17,87%, 81,96% e 0,17%, respectivamente. Os briquetes tiveram densidade básica de 1,00 a 1,10 g.cm⁻³; teor de umidade de 6,58 a 7,47%; resistência à compressão de 3,81 a 4,22 Mpa e razão de compactação de 2,50 a 2,74. A densidade energética dos briquetes (4,99 Gcal.m⁻³) foi 2,67 vezes maior que a da madeira (1,87 Gcal.m⁻³). A qualidade energética da madeira e dos briquetes obtidos de *C. lusitanica* Mill. foi boa e igual nas três pressões de compactação analisadas. Comparativamente, a qualidade energética dos briquetes foi superior a da madeira *in natura*, indicando a viabilidade técnica de produção de briquetes de *C. lusitanica*.

Palavras-chave: energia de biomassa florestal; poder calorífico; análise imediata; densidade energética.

Abstract

Waste wood briquetting enables the utilization of this raw material, while minimizing waste and pressure on the environment. In view of the use of unusual species such as *Cupressus lusitanica* Mill., species, is essential to use the by-products available in order to add value. The aim of this study was to evaluate the energetic quality of the wood and briquettes made from sawdust generated in mechanical processing in a sawmill, with the species *C. lusitanica* Mill. The following characteristics were evaluated: gross calorific value; fixed carbon levels; volatiles; ash contents and wood bulk density. The briquettes were produced in a pilot briquette producer at 120 °C with a constant pressure of 65, 95 and 130 bar. Ten briquettes were produced for each treatment, and evaluated were the following: briquette apparent density; compressive strength; moisture content and compaction ratio. Both for wood as for the briquette energy, density was calculated to allow comparison between the different forms of use of wood as fuel. The wood of *C. lusitanica* had a bulk density of 0.40 g.cm⁻³; high calorific value of 4679 kcal.kg⁻¹; fixed carbon, volatile and ash 17.87%, 81.96% and 0.18% respectively. The briquettes had a specific gravity varying from 1.00 to 1.10 g.cm⁻³; moisture content from 6.58 to 7.47%; compressive strength from 3.81 to 4.22 MPa and compaction ratio from 2.50 to 2.74. The energetic density of the briquettes (4.99 Gcal.m⁻³) was 2.67 times greater than that of wood (1.87 Gcal.m⁻³). The energetic quality of wood and briquettes made of *C. lusitanica* Mill. were good and the same under the three analyzed compaction pressures. By comparison, the energetic quality of the briquettes was higher than that of wood, supporting the technical feasibility of *C. lusitanica* briquettes production.

Keywords: wood waste energy; calorific value; immediate analysis; energy density.

¹Mestre em Engenharia Florestal. UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro Agroveterinário. Av. Luiz de Camões, 2090 – Conta Dinheiro – 88520-000 – Lages, SC. E-mail: caio-almeida@florestal.eng.br; ailtonbaduca@ibest.com.br

²Professor(a) UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro Agroveterinário. Av. Luiz de Camões, 2090 – Conta Dinheiro – 88520-000 – Lages, SC. E-mail: martha.brand@udesc.br; aleksandro.cunha@udesc.br

³Mestrando em Engenharia Florestal. UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias. Av. Luiz de Camões, 2090 – Conta Dinheiro – 88520-000 – Lages, SC. E-mail: ailtonbaduca@ibest.com.br

INTRODUÇÃO

A espécie *Cupressus lusitanica* Mill., segundo Chaves e Fonseca (1991), é uma Gimnosperma pertencente à família Cupressaceae, com origem nas regiões montanhosas do México, Guatemala, El Salvador e Honduras. É uma planta monoica, perenifólia, resinosa e aromática que pode atingir mais de 30 m de altura e até 1 m de diâmetro à altura do peito (DAP).

Segundo Shimizu et al. (1995), a espécie é apropriada para plantações em altitudes de 1.500 m, com precipitação média anual entre 1.000 mm e 1.600 mm e temperatura média anual de até 17 °C. Pereira e Higa (2003) destacam que a mesma apresenta crescimento rápido, com produtividade média de 30 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, e pode ser cultivada mesmo em terrenos rasos, nos quais seu crescimento pode superar o de *Pinus elliottii* var. *elliottii*.

Shimizu et al. (1995) ressaltam que há incremento no crescimento com o aumento da altitude, sendo de 24,5 a 27 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ a 900 m de altitude no Estado de São Paulo, e de 36 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ a 1.400m de altitude, no sul de Minas Gerais.

No Brasil, a espécie se destaca pela utilização ornamental, podendo ser manejada para a produção de madeira, inclusive nas pequenas propriedades rurais, visto que tolera vários tipos de solo (SHIMIZU et al., 2006).

A madeira de *C. lusitanica* apresenta características como grã reta, textura fina, média a baixa densidade, baixa retratibilidade, secagem rápida ao ar e excelente estabilidade dimensional, fácil trabalhabilidade e aceita bem colas, vernizes e pinturas (PEREIRA; HIGA, 2003; OKINO et al., 2010; ROQUE et al., 2010).

Devido ao grande porte e fuste reto, a madeira é adequada para múltiplos usos, como construções rurais, movelaria, caixotaria e painéis de madeira (PEREIRA; HIGA, 2003; OKINO et al., 2008; OKINO et al., 2010; XAVIER et al., 2012).

Roque et al. (2010) determinaram que o desdobro mecânico da madeira de *C. lusitanica* apresentou rendimento entre 20% a 25%, para toras com diâmetros de 15 a 20 cm, e de até 65% de rendimento para toras com diâmetros maiores que 35 cm. Portanto, o rendimento de toras de topo das árvores e de primeiro desbaste é baixo.

Tendo em vista o menor rendimento de toras de pequenos diâmetros é primordial a adoção de técnicas que maximizem o aproveitamento da madeira de *C. lusitanica* a fim de compensar o menor incremento volumétrico, quando comparado com gêneros de rápido crescimento, tais como o *Pinus* e *Eucalyptus*.

A utilização de espécies não usuais como o *C. lusitanica*, em plantios comerciais na região Sul do Brasil permite o abastecimento do mercado consumidor com materiais de qualidade diferenciada em relação aos produtos existentes, além de propiciar o desenvolvimento de processos mais eficientes de aproveitamento da matéria-prima, devido a diversificação e obtenção de subprodutos.

Segundo Schütz et al. (2010), a briquetagem de resíduos lignocelulósicos, como serragem e maravalha, possibilita o aproveitamento de resíduos do processamento mecânico para a substituição da lenha, além de minimizar o desperdício e a pressão exercida sobre o ambiente.

Furtado et al. (2010) demonstraram que na utilização de resíduos industriais de madeira para a produção de briquetes, podem ser aplicadas diferentes pressões de compactação; no entanto, o tipo de matéria-prima (serragem, cavaco, casca, ou a misturas destes materiais) utilizada para a produção dos compactados tem mais influência nas propriedades energéticas do briquete do que as variáveis do processo.

Desta forma, o presente estudo teve o objetivo de avaliar a qualidade energética da madeira e de briquetes produzidos a partir da serragem gerada no processamento mecânico, em serraria, da espécie de *C. lusitanica* Mill.

MATERIAL E MÉTODOS

A madeira de *C. lusitanica* Mill. utilizada para a realização do estudo foi obtida na Empresa Gateados Florestal, instalada no município de Campo Belo do Sul, SC. As 42 toras utilizadas foram provenientes de um talhão de 19 anos. Após o corte e traçamento das árvores, as toras foram transportadas para a empresa Boa Esperança Indústria e Exportadora de Madeiras Ltda., localizada

na cidade de Capão Alto, SC, para a realização do processamento mecânico das toras, no qual se objetivou a produção de tabuas.

Para a produção dos briquetes foi utilizada a serragem obtida no desdobro mecânico da madeira de 42 toras. Em seguida, foi realizada a homogeneização do material para a aquisição da amostra de trabalho, de aproximadamente 5 kg de serragem, que foi secada para posterior confecção dos briquetes.

A qualidade energética da serragem de *Cupressus lusitanica* foi determinada a partir da análise química imediata e do poder calorífico superior. Os teores de voláteis e de cinzas foram obtidos em Termobalança Gravimétrica (TGA- Marca NAVAS, Modelo TGA 2000), na qual o teor de cinzas foi determinado em temperatura de 700 °C e porcentagem de voláteis em temperatura de 900 °C, conforme a norma ASTM 1762 (ASTM, 2007). A porcentagem de carbono fixo foi obtida a partir da diferença entre 100% e a somatória percentual do teor de cinzas e voláteis, determinados na termobalança. O poder calorífico superior (PCS) foi determinado em bomba calorimétrica (Marca IKA, Modelo C2000), seguindo as diretrizes da norma DIN 51900 (DIN, 2000).

Para a obtenção da densidade básica da madeira foi utilizada a metodologia descrita pela NBR 7190/96 (ABNT, 1996), utilizando-se para tal cunhas de madeira obtidas de discos das toras analisadas no estudo.

Para a produção dos briquetes foi utilizada uma briquetadeira piloto tipo pistão hidráulico, de acordo com a metodologia descrita por Furtado et al. (2010). O tempo de produção dos briquetes foi de dez minutos, sendo que nos primeiros oito minutos aplicou-se a pressão de 50 bar, assemelhando-se ao período de acondicionamento existente nos processos industriais. Em seguida, para a obtenção dos 3 tratamentos, elevou-se a pressão até a condição desejada (Baixa pressão: 65 bar, Média pressão: 95 bar e Alta pressão: 130 bar) durante os últimos dois minutos a fim de que ocorresse a ligação interna, possibilitando a consolidação do briquete.

Foram confeccionados dez briquetes para cada tratamento, sendo que estes apresentavam dimensões nominais de 35 mm de diâmetro e comprimento variável em torno de 50 mm. A massa de serragem utilizada para a produção de cada briquete foi de 50 g, sendo de 9% o teor de umidade e a temperatura de aquecimento foi de 120 °C.

As propriedades dos briquetes analisadas foram: resistência à compressão, densidade aparente, teor de umidade na base úmida e razão de compactação do briquete.

Antes da realização do ensaio de resistência a compressão foi determinada a densidade aparente dos briquetes pela relação entre a massa e o volume dos mesmos. A massa foi obtida por pesagem em balança de precisão (0,001g) e o volume calculado com base nas medidas do diâmetro e comprimento do briquete.

O teste de resistência à compressão foi realizado em máquina universal de ensaios EMIC modelo DL-300KN, segundo protocolo descrito pela norma NBR 7222 (2011), com velocidade de compressão de 2 mm.min⁻¹, a fim de obter-se uma força máxima suportada pelo briquete até o seu rompimento total. Após o ensaio de compressão, os briquetes foram fragmentados para a determinação do teor de umidade na base úmida em balança de infravermelho.

Neste trabalho foi ainda calculada a razão de compactação dos briquetes de *C. lusitanica*, conforme o conceito descrito por Iwakiri et al. (2012), utilizado na produção de painéis de madeira. A razão de compactação é a relação entre a densidade aparente do painel e a densidade básica da madeira, que aplicado à produção de briquetes pode fornecer subsídios à otimização do processo industrial.

Para comparar a qualidade energética da madeira com a dos briquetes foi determinada a densidade energética de ambas as formas de uso (*in natura* e briquetes). A densidade energética é a relação entre o poder calorífico superior e a densidade de um combustível.

Neste trabalho a densidades energética da madeira foi calculada a partir da sua densidade básica, enquanto que para os briquetes foi utilizada a densidade aparente, devido à impossibilidade de determinação da densidade básica deste produto. Quanto ao poder calorífico superior, esta propriedade foi determinada somente para a serragem, sendo utilizado o mesmo valor para os briquetes no cálculo da densidade energética. Isso porque, o processo de briquetagem é físico, e consiste somente no aumento da densidade por meio da compactação. As variáveis do processo não alteram a composição química da madeira que deu origem aos briquetes e, por conseguinte, não alteram o

poder calorífico e composição química imediata dos briquetes em relação à matéria-prima que deu origem aos mesmos.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em um esquema de uma matéria-prima com três diferentes pressões de compactação e com dez repetições por tratamento. Para a análise estatística foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) (uma matéria-prima x três pressões).

Foi realizada a análise de normalidade dos dados com o auxílio do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade, e quando demonstrada a normalidade dos dados, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para diferenciação dos tratamentos. Como complemento foi aplicado o teste de correlação linear de Pearson a 5% de probabilidade a algumas das propriedades estudadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade energética da madeira de *C. lusitanica* Mill.

Para todas as propriedades avaliadas foi confirmada a distribuição normal dos dados. A Tabela 1 mostra os valores médios e coeficiente de variação das propriedades físicas e energéticas da madeira de *C. lusitanica*.

Tabela 1. Propriedades físicas e energética da madeira de *Cupressus lusitanica*.
Table 1. Physical and energetic properties of the wood of *Cupressus lusitanica*.

Parâmetro	DBM (g.cm ⁻³)	PCS (kcal.kg ⁻¹)	CF (%)	TV (%)	TC (%)
Média	0,40	4679	17,87	81,96	0,17
Mínimo	0,23	4647	17,09	81,20	0,12
Máximo	0,51	4724	18,57	82,70	0,23
CV (%)	11,87	0,69	3,2	0,75	28,5

DBM - densidade básica da madeira; PCS – poder calorífico superior; CF – teor de carbono fixo; TV – teor de voláteis; TC – teor de cinzas.

Quanto à caracterização física da madeira, a densidade básica (DBM) teve baixo coeficiente de variação e pode ser classificada como média. A madeira de *C. lusitanica* de 19 anos apresentou densidade básica semelhante à madeira de *C. lusitanica* com 56 anos (0,41 g.cm⁻³) obtido por Pereira e Higa (2003) e *Pinus chiapensis* de 18 anos (0,41 g.cm⁻³) (Trianoski et al., 2013a).

Entre as coníferas cultivadas na região Sul do Brasil, a madeira da espécie apresentou densidade básica superior à *Cryptomeria japonica* de plantios com 14 anos (0,31 g.cm⁻³) (CARNEIRO et al., 2009) e de plantios com 23 anos (0,36 g.cm⁻³) (PEREIRA et al., 2003). No entanto, os valores foram inferiores à madeira de *A. angustifolia* (0,43 g.cm⁻³) (MATTOS et al., 2006), *Pinus elliottii* (0,58 g.cm⁻³) com 25 anos (PELOZZI et al., 2012) e também para espécies tropicais de *Pinus* com 18 anos, como: *Pinus caribaea* var. *bahamensis* (0,42 g.cm⁻³), *Pinus caribaea* var. *caribaea* (0,44 g.cm⁻³) *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (0,46 g.cm⁻³) e *Pinus maximinoi* (0,48 g.cm⁻³) (TRIANOSKI et al., 2013a).

A densidade exerce grande influência na utilização da madeira para produção de compactados. Neste contexto, pode-se aplicar o conceito de razão de compactação utilizado na produção de painéis de madeira e descrito por Iwakiri et al. (2012), como sendo a relação entre a densidade aparente do painel e a densidade básica da madeira, sendo que a razão de compactação varia com o inverso da densidade da madeira.

Para assegurar uma área de contato satisfatória entre as partículas e permitir a densificação suficiente para a formação de um painel, a razão de compactação deve ser no mínimo de 1,30 (IWAKIRI et al., 2012).

Assim devido à média densidade básica da madeira de *C. lusitanica*, aliada às elevadas pressões de compactação utilizadas na produção dos briquetes, a razão de compactação dos briquetes foi elevada (Tabela 2), assim como ocorreu com outras espécies de rápido crescimento como o *Schizolobium amazonicum* e *Cecropia hololeuca*, *Pinus* spp. e *Cryptomeria japonica* estudadas por Iwakiri et al. (2012) e Trianoski et al. (2013b).

A análise energética da madeira de *C. lusitanica* de 19 anos cultivado no planalto Sul Catarinense, apresentou valor médio de poder calorífico superior (PCS) (4679 kcal.kg⁻¹). Este valor foi próximo àquele obtido por Pereira e Higa (2003) em um povoamento da mesma espécie com 56 anos de idade (4703 kcal.kg⁻¹).

O PCS mostrou-se semelhante a diversas espécies de coníferas cultivadas no Brasil, tais como *Cryptomeria japonica*, 4396 kcal.kg⁻¹ (PEREIRA *et al.*, 2003), *Araucaria angustifolia*, 4670 kcal.kg⁻¹ (MATTOS *et al.*, 2006) e *Pinus taeda*, 4747 kcal.g⁻¹ (SOUZA *et al.*, 2012).

Em termos comparativos, o poder calorífico da espécie mostrou-se semelhante ou superior aos valores obtidos por Quirino *et al.* (2005), Protásio *et al.* (2011) e Vidaurre *et al.* (2012), ao avaliarem espécies de folhosas comumente utilizadas para plantios energéticos, como a bracatinga (4689 kcal.kg⁻¹) acácia negra (4550 kcal.kg⁻¹), paricá (4652 kcal.kg⁻¹) e algumas espécies do gênero *Eucalyptus* (4637 kcal.kg⁻¹). De acordo com Brand (2010), a madeira de gimnospermas apresenta PCS ligeiramente superior as de angiospermas devido ao maior conteúdo de lignina e extrativos.

Os percentuais de carbono fixo e de voláteis tiveram comportamento inverso e juntos determinam a velocidade de queima de um combustível, sendo que, quanto maior a porcentagem de voláteis, maior será a velocidade de queima. De forma geral, tanto a madeira de coníferas como a de folhosas apresentam teores de carbono fixo entre 15 e 25%, enquanto os teores de voláteis situam-se entre 75 e 85% (Brand, 2010). Portanto, o *C. lusitanica* teve valores dentro do intervalo esperado para a madeira.

Comparando-se a composição química imediata do *C. lusitanica* com a de oito espécies florestais estudadas por Santos *et al.* (2011) e de resíduos lignocelulósicos avaliados por Protásio *et al.* (2012), pode-se constatar que a porcentagem de carbono fixo de 24% obtida por estes autores foi superior ao de *C. lusitanica*; enquanto o teor de voláteis de 72% foi inferior ao observado no presente estudo. Contudo, Souza *et al.* (2012) obtiveram valores de carbono fixo de 14,7% e de voláteis de 84,8% para *Pinus taeda*, que se aproximam mais aos encontrados para *C. lusitanica*.

A presença dos voláteis no combustível é uma das principais características responsáveis pelo fornecimento de energia durante a combustão (SANTOS *et al.*, 2011), o que para a madeira de *C. lusitanica* representa uma vantagem quando destina-se a finalidades energéticas.

O teor de cinzas atende aos padrões esperados para coníferas. Para Aló *et al.* (2011), o teor de cinzas foi de 0,62% para a serragem de *Pinus* sp. e para o pó de lixa foi de 3,07%, enquanto para *Pinus taeda* foi de 0,45% (SOUZA *et al.*, 2012).

Apesar do coeficiente de variação elevado (28,50%), o teor médio de cinzas de *C. lusitanica* foi baixo, o que facilita o recolhimento e a limpeza da cinza nos sistemas de geração de energia, diminuindo também o intervalo de limpeza em caso de uso residencial de briquetes ou no setor comercial (panificadoras, pizzarias, academias, hotéis).

Propriedades dos Briquetes de *C. lusitanica*

A normalidade dos dados foi confirmada e as médias dos resultados de densidade aparente do briquete, resistência à compressão, teor de umidade e razão de compactação podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades físicas e energéticas dos briquetes de *Cupressus lusitanica*.

Table 2. Physical and energetic properties of the briquettes of *Cupressus lusitanica*.

Tratamento	DA (g.cm ⁻³)	RTC (MPa)	TU (%)	RCM
65 bar	1,00 a	4,14 a	6,58 a	2,50 b
95 bar	1,10 a	3,81 a	6,10 a	2,74 a
130 bar	1,10 a	4,22 a	7,47 a	2,74 a
CV(%)	5,39	12,35%	9,54	5,93
F	2,4856 ^{ns}	1,9159 ^{ns}	3,5455 ^{ns}	18,8656**

DA - densidade aparente; RTC – resistência à compressão; TU = teor de umidade na base úmida; RCM – razão de compactação da madeira/briquete. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si em um nível de probabilidade de 95% pelo teste de comparação de médias de Tukey.

Com exceção da razão de compactação, para as demais propriedades avaliadas não foi observada diferença significativa entre os tratamentos aplicados para a produção dos briquetes. Este comportamento se deve principalmente ao fato da densidade básica da madeira de *C. lusitanica* ser média. Este fator influenciou o processo de produção, evitando que o aumento da pressão de compactação no processo de briquetagem exercesse influência nas características dos briquetes.

Já com relação à densidade aparente dos briquetes, para todos os tratamentos os valores foram altos. Santos *et al.* (2011) destacaram que a densidade aparente elevada de briquetes demonstra a

viabilidade de estocagem, armazenamento e transporte dos mesmos, visto que maiores valores para esta propriedade promovem algumas vantagens nos referidos aspectos, como também a concentração de maior energia disponível por unidade de volume do material (Densidade energética). Neste sentido, a utilização de serragem se mostra vantajosa na produção de briquetes, tendo em vista que a despeito da média densidade básica da madeira, torna-se possível obter briquetes com elevada densidade aparente por meio da elevada compactação da matéria-prima.

No entanto, quando aplicado o teste de correlação linear de Pearson para a propriedade de resistência à compressão e a densidade aparente dos briquetes, não houve correlação significativa ($r = 0,2675^{ns}$).

Os resultados obtidos para a resistência à compressão diametral foram inferiores aos observados em briquetes de densidade aparente e geometria semelhantes, como os de resíduos de *Pinus* (115 kgf/cm² - 11,5 MPa) e *Eucalyptus* (82 kgf/cm² - 8,2 MPa), obtidos por Furtado et al. (2010) e Protásio et al. (2011). Também foram inferiores em comparação com briquetes com a mesma geometria obtidos por Santos et al. (2011), utilizando espécies florestais de alta densidade básica da madeira, como o Pereiro (*Aspidosperma pyriforme* Mart.) 150 kgf/cm² (15 MPa), Marmeleiro (*Croton sonderianus* (Müll.) Arg.) 150 kgf/cm² (15 MPa) e Mororó (*Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud.) 250 kgf/cm² (25 MPa).

Um baixo teor de umidade dos briquetes é de primordial importância para o aproveitamento energético do material. O poder calorífico líquido de um combustível varia com o inverso do seu teor de umidade. Quanto maior o teor de umidade, menor será a quantidade de energia disponível para o sistema de geração de energia, portanto menor seu poder calorífico líquido (BRAND, 2010).

Portanto, o teor de umidade obtido na produção dos briquetes de *C. lusitanica* apresenta um excelente resultado, sendo semelhante aos obtidos por Brand et al. (2009), no qual o teor de umidade obtido em briquetes produzidos a partir de resíduos de *Pinus* sp. situou-se entre 4 a 8%.

O reduzido teor de umidade observado também pode estar associado à elevada razão de compactação do briquete, de modo semelhante ao observado por Trianoski et al. (2013b), onde na produção de painéis de madeira de *Cryptomeria japonica* a absorção de água mostrou-se associada a menor porosidade proporcionada pela maior razão de compactação. No entanto, para as propriedades, teor de umidade e razão de compactação não foi observado correlação significativa ($r = -0,07^{ns}$) que suportasse a afirmação para o atual estudo.

Com relação à razão de compactação, os valores obtidos em todos os tratamentos foram muito superiores aos descritos e observados por Iwakiri et al. (2010), que indica que para assegurar uma área de contato satisfatória entre as partículas e permitir a densificação suficiente para a formação do painel, a razão de compactação deve ser no mínimo de 1,30 (Iwakiri et al., 2012). Trianoski et al. (2013b), afirmou que os valores necessários à formação adequada de painéis particulados de madeira situam-se entre 1,60 a 2,40.

Contudo, a ocorrência de elevada razão de compactação observada para os briquetes de *C. lusitanica* se deve à utilização de pressão de compactação superior àquela utilizada para painéis de madeira (40 bar) (IWAKIRI et al., 2010, e TRIANOSKI et al., 2013b).

Segundo Iwakiri et al. (2008) e Furtado et al. (2010), uma maior razão de compactação propicia aumento na densidade aparente e na resistência à compressão.

Para os briquetes produzidos a partir de serragem de *C. lusitanica* não se confirmou este comportamento, de modo que apenas para a razão de compactação e densidade aparente houve correlação significativa, tanto em nível de 5% e 1% de probabilidade ($r = 0,99$).

Não houve correlação linear significativa entre a razão de compactação e a resistência à compressão diametral ($r = 0,18^{ns}$). Demonstrando que a razão de compactação em briquetes não é subsídio suficiente para suportar tal relação.

Contudo, a razão de compactação representa o comportamento do material utilizado frente à compactação, sendo que foi observada diferença significativa entre o tratamento de 65 bar em relação aos tratamentos 95 e 130 bar, que foram semelhantes entre si.

Para avaliar a qualidade energética da madeira em relação aos briquetes foi calculada a densidade energética de ambos os materiais. Assim, a madeira apresentou uma densidade energética de 1,87 Gcal.m⁻³, enquanto os briquetes tiveram e o valor médio de 4,99 Gcal.m⁻³. Assim, houve um aumento de 2,67 vezes na quantidade de energia por unidade de volume dos briquetes em relação à madeira, confirmando a superioridade da qualidade energética dos briquetes.

A densidade energética da madeira de diferentes espécies foi avaliada por Silva et al. (2014), que observou valores de 2,83 Gcal.m⁻³ para cardeiro (*Scleronema micranthum* Ducke, Bombacaceae), com densidade básica de 0,61 g.cm⁻³; e 2,58 Gcal.m⁻³ para cedrinho (*Scleronema sp.*, Bombacaceae), com densidade básica de 0,56 g.cm⁻³, ambas com poder calorífico superior semelhante ao do *C. lusitanica*. Portanto, estas espécies tiveram maior densidade energética que a espécie avaliada neste trabalho.

Protásio et al. (2011) analisando a densidade energética de briquetes de eucalipto obtiveram valores de 4,17 Gcal.m⁻³, praticamente igual ao obtido para *C. lusitanica*.

CONCLUSÕES

A madeira de *C. lusitanica* Mill. apresentou características energéticas adequadas e semelhantes às espécies comumente utilizadas para plantios energéticos.

A qualidade dos briquetes obtidos a partir da madeira de *C. lusitanica* foi boa e igual nas três pressões de compactação analisadas.

Comparativamente, a qualidade energética dos briquetes foi superior a da madeira *in natura*, indicando a viabilidade técnica de produção de briquetes de *C. lusitanica*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESC, pela concessão de bolsa e apoio financeiro. E expressam os seus agradecimentos à Gateados Florestal, pela doação da matéria-prima utilizada nesta pesquisa e à Boa Esperança LTDA., pelo apoio na realização do processo de desdobro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190/96: Estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1996. 107 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7222/11: Concreto e argamassa – determinação da resistência à tação por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ALÓ, L. L.; YAMAJI, F. M.; KONISHI, P. A.; JUNIOR, C. R. S. Caracterização de blendas em diferentes porcentagens de *Pinus* sp. e pó de lixa para a produção de biocombustível sólido. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 6., 2011, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, 2011.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D 1762 – 84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. 2007.

BRAND, M. A. Energia e biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.

BRAND, M. A.; MUNIZ, G. I. B.; VALIN, M.; QUIRINO, W. F. Influência da pressão e material nas propriedades de briquetes de biomassa florestal. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 1., 2009, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2009.

CARNEIRO, M. E.; BITTENCOURT, E.; MUNIZ, G. I. B. Qualidade da madeira de *Cryptomeria japonica* D. Don Floresta, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 913-920, 2009.

CHAVES, E.; FONSECA, W. Cipres: *Cupressus lusitanica* mill. espécie de arbol de uso multiple en America Central. Turrialba: Catie, 1991. 70 p. (Série Técnica. Informe Técnico, 168).

DIN - Deutsches Institut für Normung. DIN 51900: Testing of solid and liquid fuels. Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value – Berlin, 2000. Part 1-3.

- 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**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 101-106, 2010.
- IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; PRATA, J. G.; COSTA, A. C. B. Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas – OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 265-270, 2008.
- IWAKIRI, S.; VIANEZ, B. F.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V. C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 59-64, 2012.
- IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J. A.; RAMIREZ, M. G. L.; SAOUZA, M. M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embauba” para a produção de painéis aglomerados. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 2, p. 303-308, 2010.
- MATTOS, P. P.; BORTOLI, C.; MARCHESAN, R.; ROSOT, M. C. **Caracterização física, química e anatômica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2006. 4 p. (Comunicado Técnico, 160).
- OKINO, E. Y. A.; SANTANA, M. A. E.; ALVES, M. V. S.; MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; SOUZA, M. R.; TEIXEIRA, D. E.; SOUSA, M. E. Technological Characterization of *Cupressus* spp. Wood. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 17, n. 1, p. 1-11, 2010.
- OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D. E.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SOUSA, M. E. Propriedades de chapas OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 123-131, 2008.
- PELOZZI, M. M. A., SEVERO, E. T. D., CALONEGO, F. W., RODRIGUES, P. L. M. Propriedade físicas dos lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* e de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 305-313, 2012.
- PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V. **Propriedades da madeira de *Cupressus lusitanica* Mill**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2003. 5 p. (Comunicado Técnico, 107).
- PEREIRA, J.C. D.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Propriedades da madeira do Cedrinho Japonês**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2003. 4 p. (Comunicado Técnico, 88).
- 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 combustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.
- PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; MENDES, R. F.; RIBEIRO, M. X.; TRUGILHO, P. F.; LEITE, E. R. S. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 11, p. 1252-1258, 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**, Curitiba, n. 89, p. 100-106, 2005.
- ROQUE, R. M.; GARITA, C. S.; ZÚÑIGA, L. L. Ciprés: *Cupressus lusitanica* Mill. Cupresaceae. Ficha técnica 4. Tecnología de madera de plantaciones forestales. **Revista Forestal Mesoamericana**, v.7, n. 18-19, p. 76-90, 2010.
- SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, R. V. O.; PIMENTA, A. S.; CASTRO, A. F. N. M.; MARINHO, I. V.; VILLAS BOAS, M. A. Potencial de briquetagem de resíduos sólidos florestais da região de Seridó, no Rio Grande do Norte. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 285-294, 2011.

SCHÜTZ, F. C. A.; ANAMI, M. H.; TRAVESSINI, R. Desenvolvimento e ensaio de briquetes fabricados a partir de resíduos lignocelulósicos da agroindústria. **Inovação e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2010.

SHIMIZU, J. Y.; PINTO JR., J. E.; RIBASKI, G. Cipreste para madeira: alto incremento volumétrico com material genético apropriado. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 30/31, p. 3-17, 1995.

SHIMIZU, J. Y.; RIBAS JR., U. R.; CANCELA, K. C.; MAIOCHI R. A. **Cedrinho como alternativa para produção de madeira em pequenas propriedades rurais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 3 p. (Comunicado Técnico, 172).

SILVA, D. A.; ALMEIDA, V. C.; VIANA, L. C.; KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. Avaliação das propriedades energéticas de resíduos de madeiras tropicais com uso da espectroscopia NIR. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 561-568, 2014.

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

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; CHIES, D. Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis aglomerados; **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 57-64, 2013b.

TRIANOSKI, R. MATOS, J. L. M., IWAIRI, S., PRATA, J. G. P Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 398-406, 2013a.

VIDAURRE, G. B.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, R. C.; VALLE, M. L. A. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*), **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 365-371, 2012.

XAVIER, S. A.; FUKAMI, J.; MIOTTO, L. C. V.; SOBOTTKA, R. P.; NAKATANI S. H.; TAKAHASHI, L. S. A.; MACHADO, M. H. Superação da dormência de sementes de *Cupressus lusitanica* Mill. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 1041-1046, 2012.

Recebido em 21/08/2014

Aceito para publicação em 16/06/2015

