



EBRA14-FOG-318 - EFEITO DA UMIDADE EM PROPRIEDADES DE BRIQUETES DE ACÍCULAS E CASCA DE *Pinus sp*

RESUMO: A biomassa de resíduos lignocelulósicos vem sendo fortemente utilizada para a geração de energia por processos de combustão. Entretanto, algumas variáveis ambientais, como a umidade, acabam influenciando na caracterização mecânica final desses bioresíduos. O objetivo desse trabalho foi analisar o comportamento de expansão e resistências mecânicas de briquetes acondicionados sob umidades de equilíbrio diferentes. Os bioresíduos utilizados para a confecção dos briquetes foram casca e acículas de *Pinus sp*. Acompanhou-se diariamente as expansões de altura e diâmetro dos briquetes com a utilização de um paquímetro digital. Para analisar as resistências mecânicas dos briquetes aplicaram-se ensaios mecânicos de tração por compressão diametral (EMIC). Briquetes de casca e acículas de pinus apresentaram resistência mecânica média de 22,67 kgf e 21,65 kgf, respectivamente, quando em tratamento de 45% UR a 21,1°C durante sete dias. No tratamento de 80% UR a 21,1°C durante sete dias, briquetes de casca apresentaram resistência de 6,69 kgf e os briquetes de acículas não puderam ser ensaiados por terem se fragmentados quando em tratamento. Briquetes de acículas e casca de pinus, confeccionados a 10% UR e deixados expostos às condições ambientais, apresentaram resistência de 26,88 kgf e 25,17 kgf, respectivamente. Também a 10% UR e imediatamente ensaiados após compactação, briquetes de casca e acículas apresentaram resistências de 30,33 kgf e 28,64 kgf, respectivamente. Briquetes confeccionados a 5% UR e deixados expostos por dois dias às condições ambientais apresentaram resistência de 18,23 kgf às acículas e 14,75 kgf às cascas. Tais observações avaliam o comportamento higroscópico dos briquetes em suas resistências para os procedimentos de manuseio, estocagem e transporte.

Palavras Chave: briquetes, bioresíduos, umidade, resistência.

EFFECTS OF MOISTURE IN PROPERTIES OF NEEDLES AND BARK BRIQUETTES OF *Pinus sp*

ABSTRACT: The lignocellulosic biomass waste has been heavily used for power generation by combustion processes. However, some environmental variables such as moisture ultimately influence the final mechanical characterization of biowastes. The aim of this study was to examine the behavior of expansion and mechanical strength of briquettes packed in different moisture balance. The biowastes used for making briquettes were bark and needles of *Pinus sp*. Expansions height and diameter of briquettes were followed daily using a caliper rule. To analyze the mechanical strength of the briquettes were applied tensile test by diametrical compression (EMIC). Briquettes made of bark and needles of pine had an average strength of 22.67 and 21.65 kgf, respectively, when treated with 45% RH at 21.1 ° C for seven days. In the treatment of 80% RH at 21.1 ° C for seven days, briquettes of bark had strength of 6.69 kgf and briquettes of needles could not be tested because they got fragmented when being treated. Briquettes of needles and pine bark, made with 10% RH and left exposed to environmental conditions, showed 26.88 kgf and 25.17 kgf of strength, respectively. Also with 10 % RH, but tested immediately after compaction, briquettes bark and needles presented resistors of 30,33 kgf and 28,64 kgf, respectively. Briquettes made up 5% RH and left exposed for two days at ambient conditions showed resistance to 18,23 kgf needles and 14.75 kgf to bark. Such reviews assess the influence of the hygroscopic behavior of briquettes in their resistance to the handling, storage and transportation procedures.

Keywords: briquettes, biowastes, moisture, resistance.

1. INTRODUÇÃO

Os pinheiros pertencem ao gênero *Pinus* e são árvores consideradas de grande porte no grupo das gimnospermas. A filotaxia das folhas (acículas) é utilizada para classificar as 90 espécies de pinheiros atualmente conhecidas. Ao atingirem um ou dois anos de crescimento, os pinheiros arranjam suas folhas em fascículos, cuja epiderme é coberta por uma camada espessa de cutícula. A distribuição desse gênero é expressiva na América do Norte e Eurásia, cujos cultivos são intensos no Hemisfério Sul (RAVEN *et al.*, 2007).

No ano de 2012, o plantio de pinus totalizou 1.562,782 ha correspondente a 23,4% do total da área atualmente utilizada para o plantio de *Eucalyptus* e *Pinus*. No Brasil, os estados responsáveis pelo maior cultivo de pinus são Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Santa Catarina, sendo este último o mais expressivo com 539.377 ha. A grande concentração de áreas plantadas de pinus no Brasil localiza-se na região sul devido, principalmente, às condições climáticas e à localização dos centros principais do processo desse tipo de madeira (ABRAF, 2013).

Segundo dados da Abraf (2013), a biomassa florestal é responsável, atualmente, por 15,8% de toda energia elétrica proveniente de biomassa. As demais biomassas, de origem agrícola (casca de arroz, capim elefante), por exemplo, contribuem com apenas 1,8% da produção dessa mesma energia.

As variadas formas de processo da madeira acabam por eliminar quantidades elevadas de bioresíduos, os quais podem ser utilizados como fonte alternativa de energia para o abastecimento de caldeiras, por exemplo. Porém, os resíduos florestais apresentam algumas características inconvenientes aos seus usos como biomassa, tais como: formas e tamanhos diferentes, baixa densidade e umidade alta, sendo esse último um fator influente no manuseio, transporte e estocagem do material (KALIYAN & MOREY, 2009).

Segundo Kaliyan & Morey (2009), um método viável à solução dos problemas apresentados pela biomassa bruta é a sua conversão em briquetes e pellets. Tal conversão consiste na compactação dos bioresíduos, dando origem a objetos cilíndricos com características mecânicas, químicas e energéticas mais propícias à utilização como fonte alternativa de energia.

A compactação dos bioresíduos favorece os processos de estocagem desses materiais, uma vez que há uma diminuição do volume, sem perda de massa, na forma de briquetes (KALIYAN & MOREY, 2009). Ainda segundo os mesmos autores, a briquetagem pode contribuir com a redução nos custos logísticos (transporte, manuseio e transporte) da biomassa, pois as formas bem definidas dos briquetes os tornam mais facilmente acondicionados e em um espaço físico menor quando comparados às exigências da forma bruta dessa mesma biomassa.

Entretanto, o controle sobre a umidade é extremamente importante, pois as variações nesse parâmetro acabam por alterar as propriedades físicas, mecânicas e energéticas dos briquetes. Em condições de baixas umidades os briquetes tendem a ser consumidos rapidamente quando em combustão devido ao rápido consumo de suas superfícies quando queimados. Por outro lado, valores altos de umidade geram briquetes extremamente frágeis e inviáveis comercialmente. Para tanto, cada material requer uma umidade ótima denominada de umidade ideal. A umidade ideal varia de acordo com a origem dos materiais utilizados na briquetagem, mas, no caso dos bioresíduos florestais, a umidade ideal varia de 7% a 12% (FILBAKK *et al.*, 2011).

O presente trabalho teve como principal objetivo avaliar as influências das diferentes umidades na resistência mecânica de briquetes confeccionados a partir de cascas e acículas de *Pinus* sp.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos selecionados para este estudo foram casca e acículas de *Pinus* spp., obtidos na Floresta Nacional de Ipanema (FLONA) localizada no município de Iperó-SP.

2.1 Caracterização das propriedades físico-químicas dos resíduos

As cascas e acículas foram trituradas utilizando-se um moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas tipo Willey MA-340. Posteriormente, tanto a casca quanto as acículas passaram por um processo de separação granulométrica no agitador orbital de peneiras com batidas intermitentes: Marconi- MA 750, com o intuito de se determinar a distribuição granulométrica das biomassas. Para a determinação do teor de umidade dos materiais, utilizou-se uma balança determinadora de umidade MX-50. A densidade a granel dos resíduos foi encontrada com base na norma ABNT NBR 6922/81 (ABNT, 1981).

A análise imediata dos resíduos (teor de cinzas, teor de voláteis e carbono fixo) foi realizada conforme norma ABNT NBR 8112/86 (ABNT, 1986), sendo o percentual de carbono fixo calculado pela soma do percentual de teor de voláteis e teor de cinzas, decrescido de 100. O poder calorífico superior foi obtido conforme norma ABNT NBR 8633/84 (ABNT, 1984), no Laboratório de Análises Calorimétricas da Universidade Estadual Paulista - UNESP campus Itapeva, em uma bomba calorimétrica C5000 IKA® WERKE.

2.2 Estudo de umidade dos briquetes

Para a confecção dos briquetes foram utilizados os materiais retidos nas peneiras de 60, 100, 200 mesh e fundo. Ajustaram-se a umidade de cada bioresíduo a 5% e 10% UR. No processo de briquetagem, utilizou-se uma prensa hidráulica Marconi- MA 098 e um molde de aço inox com 3,50 cm de diâmetro e 16 cm de altura. Para cada tratamento foram adicionados ao molde 20g de biomassa, as quais foram compactadas uma pressão de 61,48 kgf cm⁻² durante 20 segundos. Foram produzidos 6 briquetes para cada umidade. Neste processo de prensagem não se utilizou nenhum tipo de aglutinante e temperatura. Após a compactação os briquetes foram armazenados em sacos plásticos por dois dias, sendo então inferida a resistência mecânica.

A resistência mecânica dos briquetes foi determinada por meio do ensaio mecânico de tração por compressão diametral, adaptado da norma ABNT NBR 7222/11 (ABNT, 2011), utilizando-se a máquina universal de ensaios EMIC DL3000N.

2.3 Estudo do comportamento higroscópico dos briquetes

Os briquetes confeccionados a 10% de umidade foram expostos a dois tratamentos distintos (T₁ e T₂), onde T₁ correspondeu ao tratamento em câmara climática Cienlab sob 21,1°C e 45% UR até estabilização (7 dias) e T₂ ao tratamento também em câmara climática Cienlab sob 21,1°C e 80% UR até estabilização (7 dias). Para cada tratamento utilizou-se 12 briquetes de cada biomassa, sendo 6 unidades, envoltas por saco plástico, utilizados como testemunhas.

Avaliaram-se as expansões dos briquetes até o período de estabilização. As avaliações foram feitas inferindo-se com paquímetro digital Digimess a altura e diâmetro de cada briquete para posteriores comparações entre os tratamentos.

Posteriormente, obteve-se a resistência mecânica dos briquetes por meio do ensaio mecânico de tração por compressão diametral, adaptado da norma ABNT NBR 7222/11 (ABNT, 2011), utilizando-se a máquina universal de ensaios EMIC DL3000N.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização das biomassas

Os resultados obtidos para as análises imediatas das biomassas estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Análise imediata e poder calorífico obtidos para casca e acícula de pinus.

Material	Cinzas (%)	Voláteis (%)	Carbono fixo (%)	Poder calorífico (J/g)
Casca de Pinus	0,77	72,43	26,79	19118
Acículas de Pinus	1,20	76,10	22,70	18975

Segundo Obernberger e Thek (2004), o teor de materiais voláteis é alto nos combustíveis de biomassa, chegando a variar entre 76 e 86% (base seca), o que acarreta uma maior emissão de gases durante a combustão dessa matéria-prima, sendo os resultados obtidos para casca e acículas de pinus coerentes com os autores. De acordo com Vale (2000), combustíveis com elevados teores de voláteis podem apresentar uma queima acelerada, pois os gases eliminados, em forma de chama, propagam o calor por grande área de queima, impedindo que as altas temperaturas nos fornos sejam atingidas pelo material em combustão.

O carbono fixo é o maior contribuinte de fonte energética na biomassa, quando aplicada como combustível, para a produção de energia durante a combustão e proporciona uma queima mais lenta, o que aumenta a durabilidade e rendimento energético do combustível nos fornos (TABARÉS *et al.*, 2000). Os teores de carbono fixo das amostras de acículas de pinus encontram-se coerentes ao intervalo determinado por Brito e Barrichello (1982), que registraram teor de carbono fixo para madeiras em geral entre 14% a 25%. Já para a casca de pinus o valor obtido foi um pouco superior ao intervalo encontrado pelos mesmos autores, cuja diferença pode ser decorrente da heterogeneidade da região/tecido da planta analisada e influências externas, tais como solo, clima e método de cultivo.

A casca de *Pinus* sp. apresentou teor de cinzas de 0,77%, valor este pouco acima de 0,50% encontrado por Fengel e Wegener (1989) em serragens de pinus. Essa diferença pode ter sido ocasionada devido aos baixos níveis de casca em serragens de pinus além da possibilidade de contaminações por agentes inorgânicos nos resíduos de casca.

3.2 Avaliações de expansão longitudinal de briquetes sob T₁ e T₂

Os briquetes de casca de pinus confeccionados a 10% UR e acondicionados sob 45% UR (T₁) e 80% UR (T₂) apresentaram os seguintes comportamentos de expansões longitudinais descritos na Fig. 1 abaixo.

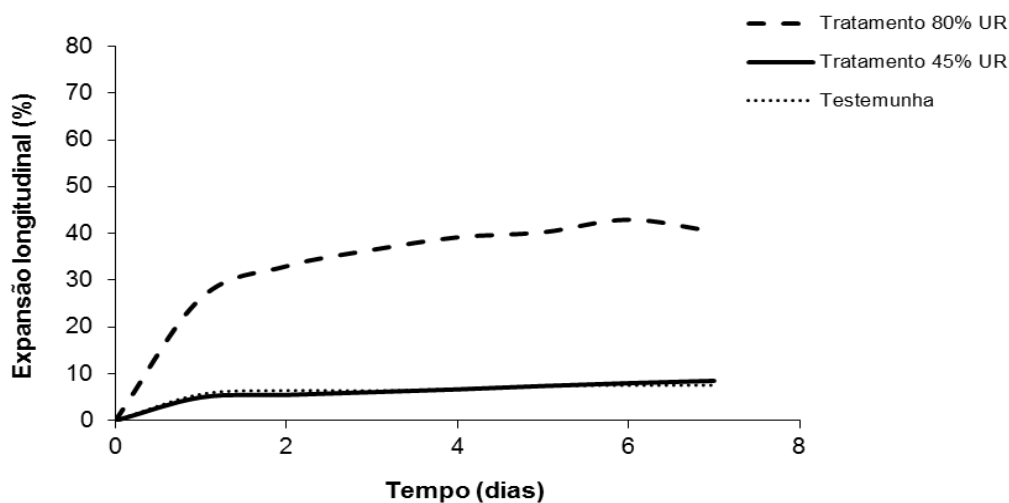


Figura 1. Comportamento da expansão longitudinal de briquetes de casca de pinus expostos sob dois diferentes tratamentos em câmara climática Cienlab. Observa-se também o comportamento do testemunha.

Os briquetes de casca de pinus expostos sob T_2 apresentaram a maior expansão longitudinal em comparação ao tratamento T_1 . Durante o sexto dia de observação houve o valor mais expressivo de expansão longitudinal com 43%. No sétimo e último dia os briquetes obtiveram expansão de 40%. Tal comportamento indica que os briquetes tendem a absorver uma maior quantidade de água quanto maior for sua disponibilidade no ambiente até atingirem a umidade de equilíbrio, onde não há mais a possibilidade de trocas de umidade entre os briquetes e o meio. Sob 80% UR (T_2) os briquetes de casca de pinus apresentaram-se mais frágeis e mais quebradiços quando comparados aos testemunhas expostos às mesmas condições.

Por outro lado os briquetes expostos ao tratamento de 45% UR (T_1) demonstraram um comportamento parecido aos testemunhas durante todo o período (7 dias) de estabilização expansional. Sob T_2 os briquetes de casca de pinus apresentaram a maior expansão longitudinal (9,90%) no sexto dia de observação e 9,70% no sétimo e último dia. A expansão dos briquetes de casca de pinus sob T_1 aparentemente não interferiu em suas características morfológicas originais quando comparados aos testemunhas, indicando que a quantidade de água absorvida nessas condições foi potencialmente menor em relação a T_2 , uma vez que a umidade de equilíbrio em T_1 é de aproximadamente 11%, valor este menor que a umidade de equilíbrio em T_2 , que é de aproximadamente 15%. Além das diferenças entre as umidades de equilíbrio, encontrar-se inserido nas expansões longitudinais o relaxamento natural das fibras.

A Figura 2 abaixo apresenta o comportamento de expansão longitudinal de briquetes de acículas de pinus submetidos a 45% UR (T_1) e 80% UR (T_2).

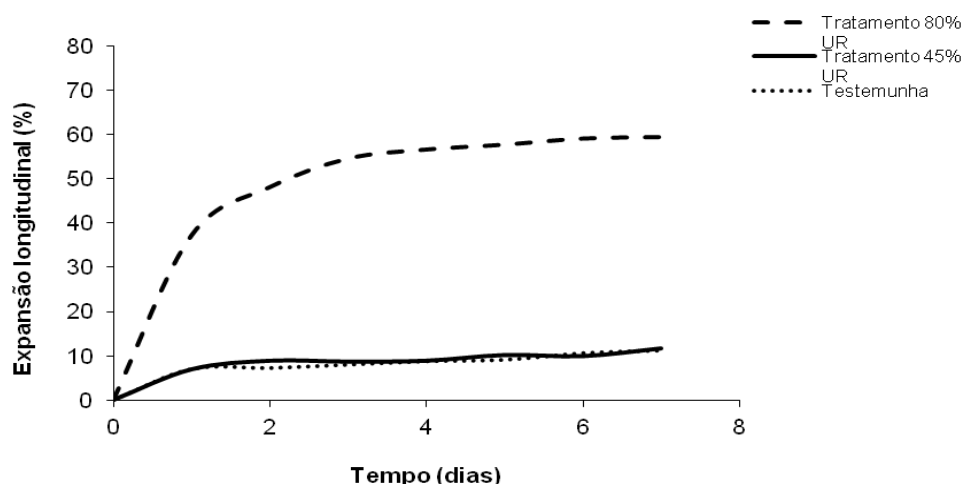


Figura 2. Comportamento da expansão longitudinal de briquetes de acículas de pinus expostos sob dois diferentes tratamentos em câmara climática Cienlab. Observa-se também o comportamento do testemunha.

Os briquetes de acículas quando expostos ao tratamento T_2 demonstrou um comportamento bastante expressivo em suas expansões longitudinais, cujo pico da expansão, com valor de 59,50%, foi maior que o pico de expansão de briquetes de casca de pinus submetidos ao mesmo tratamento. Conforme experimento realizado por Yamaji *et al.*, (2013), briquetes de resíduos agroflorestais como as gramíneas, bagaço de cana e acículas de pinus, apresentam maior expansão longitudinal e maior fragilidade quanto mais elevada for a umidade relativa sob a qual permanecerem expostos, mantendo-se uma temperatura em torno de 20°C. Ainda segundo os mesmos autores, tal comportamento nessa classe de bioresíduos se dá por uma maior higroscopicidade destes em relação a outros, sendo necessário, portanto, o controle da umidade no local de armazenamento desses briquetes considerados físico e mecanicamente sensíveis a concentrações altas de umidade.

Quando expostos ao tratamento de T_1 os briquetes de acículas demonstraram comportamentos semelhantes ao de casca, cuja curva de expansão também permaneceu bastante próxima à curva dos testemunhas durante os sete dias de observação. O maior valor de expansão longitudinal nessas condições de umidade aos briquetes de acículas foi de 14,20%, valor esse maior que a maior expansão em briquetes de casca também sob T_1 . A maior fragilidade observada em briquetes expostos a T_2 comprova a característica higroscópica dos bioresíduos, cujas constantes trocas de umidade com o meio ocasionam alongamentos e retraimentos das fibras e consequentemente o aparecimento de rachaduras, o que dificulta o manuseio dos briquetes.

3.2.2 Expansão volumétrica

Sob os tratamentos T_1 e T_2 , briquetes de casca (Fig. 3) e acículas (Fig. 4) de pinus, confeccionados a 10% de umidade, apresentaram discrepâncias consideráveis em suas expansões volumétricas conforme observações abaixo.

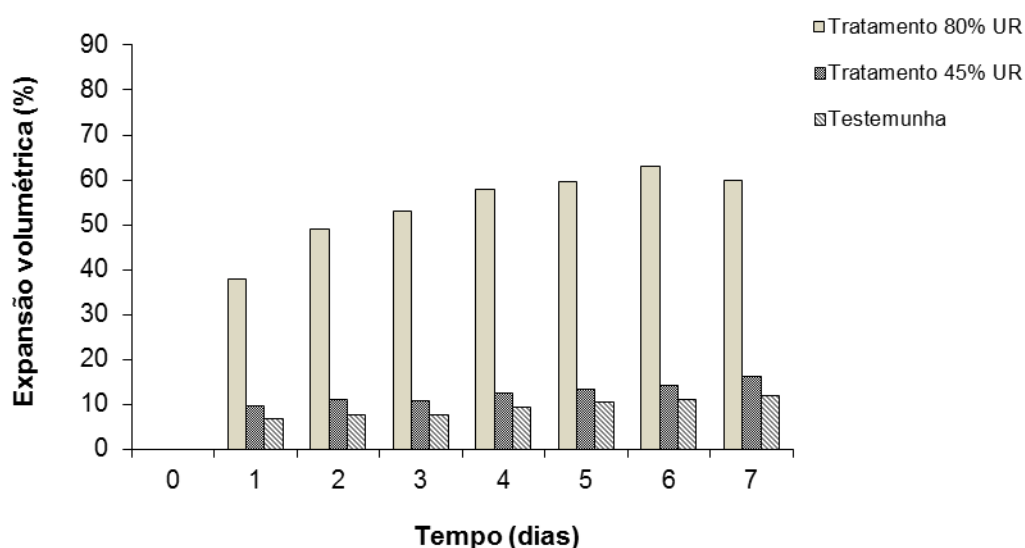


Figura 3. Expansão volumétrica de briquetes de casca de pinus expostos a tratamentos de 45% UR (T_1) e 80% UR (T_2) sob temperatura de 21,1°C em câmara climática Cienlab durante sete dias. Observa-se também o comportamento do testemunha.

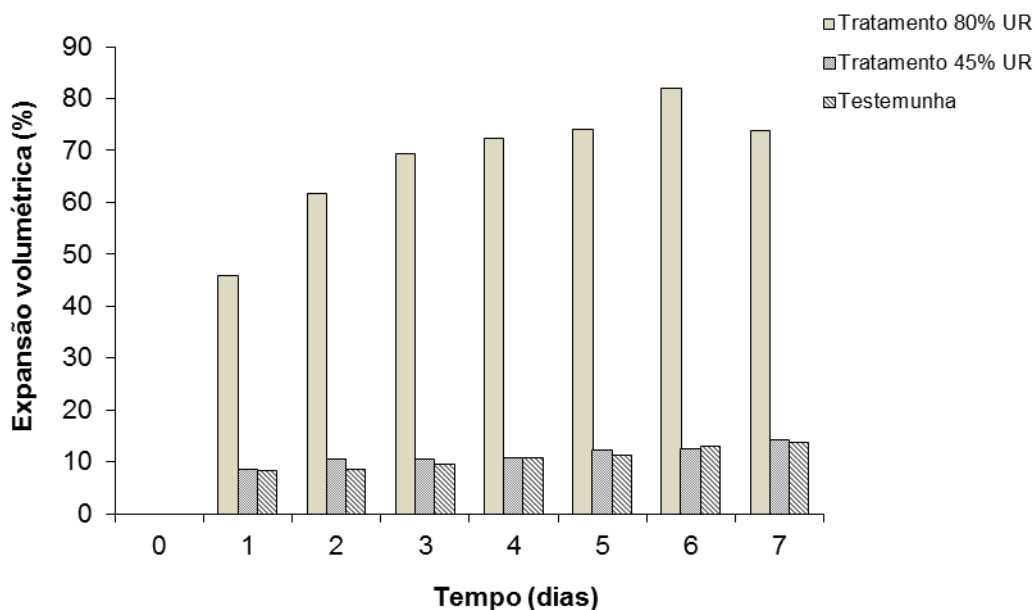


Figura 4. Expansão volumétrica de briquetes de acículas de pinus expostos a tratamentos de 45% UR (T_1) e 80% UR (T_2) sob temperatura de 21,1°C em câmara climática Cienlab durante sete dias. Observa-se também o comportamento do testemunha.

Briquetes de casca de pinus apresentaram valores menores de expansão volumétrica quando submetidos a T_1 em comparação aos briquetes de acículas submetidos ao mesmo tratamento. Os briquetes de casca de pinus obtiveram 63% de expansão volumétrica enquanto briquetes de acículas atingiram 82% de expansão, valores estes maiores que os observados em expansões longitudinais dos mesmos briquetes sob o mesmo tratamento e período exposição.

Quando expostos a T_1 tanto os briquetes de casca quanto os de acículas de pinus apresentaram valores parecidos entre si e os testemunhas em ambos os casos durante os sete dias de observação. Para briquetes de casca o maior valor de expansão volumétrica foi de 16,37% e aos respectivos testemunhas de 10,50%. Aos briquetes de acículas a expansão volumétrica atingiu 17,60% e o testemunha 14%. Observa-se que, assim como na expansão longitudinal, os briquetes de acículas apresentaram valores de expansão superiores aos de casca de pinus possivelmente devido às diferenças morfológicas, químicas e dos arranjos das fibras entre as duas biomassas.

3.3 Avaliações de resistência dos briquetes

Os valores médios de resistência mecânica, em EMIC, de briquetes de casca e acículas de pinus foram inferidos sob corpos de provas em diferentes níveis de umidade conforme Fig. 5 abaixo.

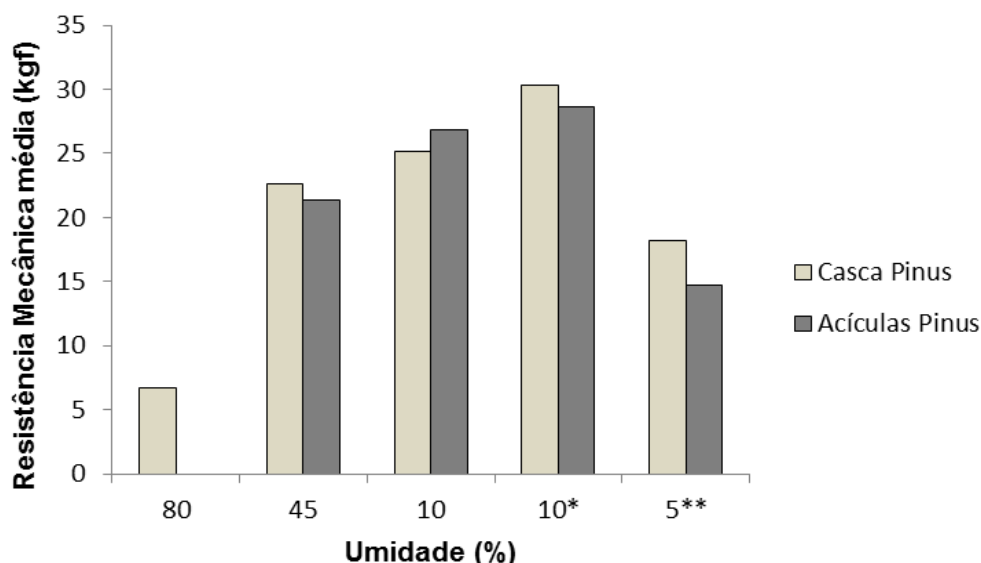


Figura 5. Comparação entre as resistências mecânicas de briquetes de casca e acículas de pinus sob diferentes umidades.

Briquetes sob umidades de 80%, 45% e 10% permaneceram nessas condições durante sete dias. Briquetes sob umidade de 10%* foram ensaiados imediatamente após a briquetagem e briquetes confeccionados a 5%** foram deixados expostos às condições ambientes por dois dias.

Briquetes de casca de pinus confeccionados a 10% UR, cujas resistências mecânicas foram inferidas logo após o processo de briquetagem, apresentaram o maior valor médio de resistência mecânica (30,33 kgf), sendo também atribuído aos briquetes de acículas o maior valor médio de resistência (28,64 kgf) nessas mesmas condições.

Por outro lado, briquetes de acículas, confeccionados a 10% UR e após 7 dias de exposição constante às condições ambiente do laboratório, apresentaram resistência mecânica média (26,88 kgf) e aos briquetes de casca 25,17 kgf, adotadas as mesmas condições. Em comparação aos resultados obtidos logo após a briquetagem das biomassas, briquetes de casca e acículas apresentaram perdas de 17% e 6% em suas resistências mecânicas, respectivamente. Tal diminuição na resistência pode estar vinculada à higroscopicidade das biomassas quando deixadas expostas ao ambiente no período de sete dias, alterando algumas características químicas e físicas dos briquetes.

Briquetes confeccionados a 10% UR e submetidos ao tratamento de 45% UR a 21,1°C, com umidade de equilíbrio de 11%, durante sete dias, apresentaram resistência mecânica de 21,36 kgf e 22,67 kgf a acículas e casca, respectivamente. Todavia, quando submetidos ao tratamento de 80% UR a 21,1°C, com umidade de equilíbrio de 15%, também durante sete dias, os briquetes de casca apresentaram resistência mecânica de 6,69 kgf, representando 70,50% a menos de resistência quando comparados aos briquetes de mesma biomassa ensaiados a 11% de umidade de equilíbrio. Não foi possível obter resultados de resistência mecânica dos briquetes de acículas sob 80% UR, uma vez que se fragmentaram durante o período de exposição ao tratamento.

Os briquetes confeccionados a 5% UR e deixados expostos por dois dias às condições ambientes obtiveram valores de 18,23 kgf e 14,75 kgf às resistências mecânicas de acículas e casca, respectivamente. Tais valores foram inferiores aos obtidos em ensaios a 10% UR e 45% UR, mas superiores aos valores obtidos a 80% UR para as duas biomassas.

Segundo Carvalho e Brinck (2004) o ensaio de resistência à compressão torna-se necessário quando se quer determinar a resistência dos briquetes aos esforços compressivos que são naturalmente impostos quando se realizam os empilhamentos nos processos de estocagem. Ainda segundo os mesmos autores, resistências de 3,57 kg/cm² são consideradas alvos na produção de briquetes.

4. CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos nos ensaios mecânicos, pode concluir-se que para briquetes de acículas de pinus, em especial, há uma forte quebra de suas resistências mecânicas quando expostos a valores de umidade iguais ou superiores a 15% UR, como observado sob o tratamento T₂, cuja umidade de equilíbrio foi de 15%. Aos briquetes de casca de pinus, também sob T₂, obtiveram-se os menores valores de resistência mecânica, mas não foram tão expressivos quando comparados aos de acículas sob as mesmas condições.

Obtiveram-se os maiores valores em EMIC aos briquetes de acículas e cascas ensaiados logo após a briquetagem sob 10% UR. Dessa forma, pode-se dizer que, briquetes de acículas e casca confeccionados a 10% UR, cujas trocas de umidade com o ambiente forem as menores possíveis, serão fisicamente mais resistentes em comparação aos expostos por algum tempo sob condições de umidade diferentes àquela em que originalmente foram confeccionados. Tal comportamento higroscópico de ambas as biomassas podem comprometer suas estocagens, uma vez que as condições de umidade nos locais de armazenamento estão sujeitas a variações climáticas ambientais. O controle de temperatura e umidade nesses locais seria necessário.

Apesar de os valores médios de acículas e cascas obtidos em EMIC serem baixos quando comparados a outras biomassas de eucalipto, por exemplo, não haveria necessariamente o comprometimento no empilhamento de ambas as biomassas, pois deve-se levar em conta a altura máxima viável do empilhamento dos biocombustíveis sólidos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à pós-doc Mariana Provedel Martins pelo apoio e auxílio no decorrer de todo o trabalho; aos professores Dr. Fábio Minoru Yamaji e Dra. Franciane A. de Pádua pela oportunidade e pelos constantes auxílios à execução desse trabalho; ao Ms. Walbert Chrisostomo pelo auxílio na execução dos ensaios de tração por compressão diametral em EMIC; Ao CNPq pela bolsa PIBITI concedida. À CAPES pela bolsa de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT, NBR 8633 – Carvão Vegetal – Determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 8112 – Carvão Vegetal – Análise imediata**. Rio de Janeiro, 1986.
- _____. **NBR 7222 – Concreto e Argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.
- ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico ABRAF 2013: ano base 2012. 148p. Brasília, 2013.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., São Paulo, 1982. **Palestras apresentadas**. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia, 1982. p. 101-137.
- CARVALHO, E. A.; BRINCK, V. Briquetagem. In: Tratamento de Minérios 4^o edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood: Chemistry, ultra structure and reactions. New York. Walter de Gruyter. p. 66-105, 1989.
- FILBAKK, T.; SKJEVRAK, G.; HOIBO, O.; DIBDIAKOVA, J.; JIRJIS, R. The influence of storage and drying methods for Scots pine raw material on mechanical pellet properties and production parameters. **Fuel Processing Technology**, v. 92, p. 871-878, 2011.
- KALIYAN, N.; MOREY, R, V. Factors affecting strength and durability of densified

biomass products. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, p. 337-359, 2009.

OBERNBERGER, I.; THEK, G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. **Biomass and Bioenergy**, v. 27, n.6, p. 653-669, 2004.

RAVEN, P.H., EVERT, R.F. & EICHHORN, S.E. 2007. **Biologia Vegetal**, 7a. ed. Coord. Trad. J.E.Kraus. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.

TABARÉS, J. L. M.; ORTIZ, E.; GRANADA, E.; VIAR, F. P. Feasibility study of energy use for densified lignocellulosic material (briquettes). **Fuel**, v. 79, n.10, p. 1229-1237, 2000.

VALE, A. T. Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília para o uso energético. 2000. 111f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTOMO, W.; FLORES, W, P. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n.1 , p. 11-15, 2013.

7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(eis) pelo que está contido neste trabalho.