



# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

## EFEITO DA ADIÇÃO DE AMIDO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PELLETS DE MADEIRA

Humberto Fauller de Siqueira<sup>1</sup>  
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro<sup>2</sup>  
Danilo Barros Donato<sup>1</sup>  
Fabiana Paiva de Freitas<sup>1</sup>  
Benedito Rocha Vital<sup>1</sup>  
Dieimes Ribeiro Resende<sup>3</sup>  
Felipe Silva Bastos<sup>1</sup>  
Laura Lima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa

<sup>2</sup> UFV -DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL / Universidade Federal de Viçosa

<sup>3</sup> Departamento de Ciências Florestais / Universidade Federal de Lavras

---

## EFEITO DA ADIÇÃO DE AMIDO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PELLETS DE MADEIRA

Humberto F. de SIQUEIRA<sup>1</sup>; Angélica C. O. CARNEIRO<sup>1</sup>; Danilo B. DONATO<sup>1</sup>;  
Fabiana P. de FREITAS<sup>1</sup>; Benedito R. VITAL<sup>1</sup>; Dieimes R. RESENDE<sup>2</sup>; Felipe BASTOS<sup>1</sup>;  
Laura LIMA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Brasil

**Resumo:** Com o aumento da participação dos *pellets* na matriz energética, tornam-se fundamentais estudos relacionados à qualidade destes produtos, principalmente no que diz respeito ao transporte, armazenamento e uso. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adição de diferentes porcentagens de amido de milho nas propriedades físicas e mecânicas de *pellets* de *Pinus taeda*. Foi utilizado madeira de *Pinus taeda* com trinta anos de idade e densidade básica média de 406 kg.m<sup>-3</sup>. As árvores foram descascadas, transformadas em partículas com tamanho médio de 3 mm e forma esbelta. O teor de umidade foi ajustado até, aproximadamente, 12%. Foram produzidos 6 tratamentos, sendo testemunha (0%), 1, 2, 3, 4 e 5% de amido de milho, preparados 3.500 gramas de mistura para cada tratamento. Os *pellets* foram produzidos com adição de vapor d'água e temperatura da matriz em média de 100°C. Determinou-se a densidade a granel, teor de umidade, poder calorífico superior e útil, densidade energética com base no PCU, durabilidade mecânica, teor de finos e dureza. Com a obtenção dos dados, estes foram submetidos a análise de variância e teste de médias. Observou-se que o tratamento sem aditivo apresentou maior densidade a granel e menor durabilidade mecânica, já o tratamento com 2 e 3% apresentou resultados superiores para durabilidade mecânica. Conclui-se que amido de milho apresenta potencial de uso na produção de *pellets* e o tratamento com 2% de aditivo é o mais recomendado para este fim.

**Palavras-chave:** densificação, pinus, aditivo, biocombustível, energia da madeira

### EFFECT OF CORN STARCH ADDITION ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD PELLETS

**Abstract:** With the increase in the participation in the pellets in the energy matrix, studies related to the quality of the products, mainly, become fundamental. The objective of this study was to evaluate the effect of the addition of different percentages of corn starch on the physical and mechanical properties of *Pinus taeda pellets*. *Pinus taeda* wood with thirty years of age and average basic density of 406 kg.m<sup>-3</sup> was used. As trees were peeled, they were transformed into particles with a mean size of 3 mm and a slender shape. The moisture content was adjusted to approximately 12%. There were 6 treatments, being control (0%), 1, 2, 3, 4 and 5% of corn starch, 3,500 grams of mixture for each treatment. The pellets were produced with addition of water vapor and die temperature in an average of 100 ° C. Were determined a bulk density, moisture content, high heating value and net, energy density based on PCU, mechanical durability, fines content and hardness. With a data acquisition, they underwent an analysis of variance and a means test. It was observed that the treatment without additive presented higher density and lower mechanical durability, since the treatment with 2 and 3% presented superior results for mechanical durability. It is concluded that corn starch presents potential use in the production of pellets and treatments with 2% of additive is more recommended for this purpose.

**Keywords:** densification, pinus, additive, biofuel, wood energy

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização da biomassa no processo de peletização para fins energéticos, em alguns casos, pode necessitar da utilização de aditivos para algumas matérias-primas com propriedades ligantes menos favoráveis. Na literatura, alguns pesquisadores citam matérias-primas que geram *pellets* com baixa durabilidade, por exemplo, eucalipto (GIL et al., 2010); palha de milho (KALIYAN & MOREY, 2005) e madeira de pinus (SAMUELSSON et al., 2012), com base na normativa de comercialização DIN EN 14961-2 (2011).

O uso destas matérias-primas para produção de *pellets* torna-se necessário a aplicação de agentes ligantes para resultar num produto final de melhor qualidade, favorecendo o transporte e armazenamento deste biocombustível. Os aditivos e agentes ligantes comumente utilizados na produção de *pellets* são lignosulfonados, amido, e alguns óleos vegetais (TARASOV et al., 2013).

Usualmente, a produção de *pellets* para fins energéticos, utiliza-se o amido como aditivo para conferir resistência aos mesmos, contudo, espera-se que o amido não reduza as propriedades energéticas e contribua significativamente para o processo produtivo e utilização dos *pellets*. O amido de milho é oriundo do beneficiamento do grão de milho, o qual é extraído do endosperma e que compõe em média 82% do grão, base seca. Os demais compostos compreendem o gérmen (11%), pericarpo ou casca (5%) e a ponta (2%) (PAES, 2006).

O amido de milho é extraído do endosperma do grão, o qual se apresenta como composto majoritário. Entretanto, cada subproduto obtido do grão de milho é composto por quantidades e partes diferentes do grão, o que permite a diversificação de uso tanto para alimentação humana direta e indiretamente, quanto para o uso industrial, por exemplo, no processo de densificação. A molécula de amido é composta por cadeias cristalinas e amorfas, dessa forma, para que ocorra a ação ligante, torna-se necessário modificar a estrutura molecular que pode ser realizado através do aquecimento, ocorrendo a gelatinização e fusão da estrutura granular (MALI et al., 2010).

A adição do amido à matéria-prima para a produção dos *pellets* deve ser associada, também, à aplicação de vapor d'água para que ocorra a fusão e gelatinização do amido, pois com o aquecimento das partículas, alterações consecutivas ocorrem na biomassa, por exemplo, a desnaturação da proteína, gerando *pellets* com maior durabilidade e alta qualidade quando comparado com *pellets* sem aditivos, num processo produtivo onde a biomassa encontra-se com teor de umidade entre 8-12% (TUMURULU, 2011). Além disso, um dos objetivos é melhorar a resistência mecânica dos *pellets* devido à capacidade em formar uma massa viscoelástica quando submetido à mistura com água e temperatura. Esta característica só é possível devido à estrutura formada pelo amido e proteínas presente no produto após a moagem (THOMAS; ATWELL, 1999).

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de amido de milho em diferentes porcentagens nas propriedades físicas e mecânicas de *pellets* de *Pinus taeda* para adequação à normativa europeia de comercialização.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados árvores de *Pinus taeda* de plantio experimental do Departamento de Engenharia Florestal – UFV com aproximadamente 30 anos de idade e densidade básica média de 406 kg.m<sup>-3</sup>. As árvores foram descascadas e transformadas em maravalhas através de uma plaina industrial e seca até atingir teor de umidade médio de 30%, base seca. Após secagem das maravalhas, estas foram transformadas em partículas com tamanho médio de 3 mm de comprimento e forma esbelta através de moinho martelo. Em seguida realizou-se a classificação através de peneiramento, descartando a fração pó e partículas com dimensão superior a 3 mm. Ajustou-se o teor de umidade das partículas até que atingir teor médio de umidade igual a 19%.

Com a obtenção das partículas, foram realizadas adições do amido de milho na porcentagem de 1, 2, 3, 4 e 5% em relação à massa seca de partículas, além da produção de *pellets* sem aditivo (0%). Foram preparados, em média, 3.500 gramas de mistura para cada tratamento.

Os *pellets* foram produzidos em uma prensa peletizadora laboratorial da marca *Amandus Kahl*, modelo 14-175 com capacidade para produção de 30 kg.h<sup>-1</sup>. A temperatura média de peletização foi de 100°C. O aquecimento da matriz de peletização ocorreu através do atrito entre os rolos de prensagem e as partículas.

A prensa peletizadora é alimentada através de um sistema composto por um motorreductor, um controlador de velocidade e uma rosca-sem-fim, acoplado com quatro bicos de injeção de vapor d'água produzido por uma autoclave. O vapor injetado apresentou pressão entre 0,5 e 1 kgf.cm<sup>-2</sup> e temperatura média de 120°C.

Determinou-se a densidade a granel (kg/m<sup>3</sup>) obtida de acordo com a norma DIN EN 15103 (DIN, 2010), em amostras condicionadas em câmara climática a 65% de umidade relativa e 20°C de temperatura. A determinação da umidade dos pellets foi realizada de acordo com a norma DIN EN 14774-2 (DIN, 2009).

Para determinar o poder calorífico superior (PCS), os *pellets* foram transformados em serragem, através de um moinho de facas, de acordo com a norma TAPPI 257 cm-85 (TAPPI, 1985). As amostras de serragem foram classificadas em peneiras e utilizadas às partes que passarem pela peneira de 40 mesh e retida na peneira de 60 mesh. O poder calorífico superior (PCS) foi obtido de acordo com a norma DIN EN 14918 (DIN, 2010), utilizando uma bomba calorimétrica adiabática *IKA300*<sup>®</sup>. A estimativa do poder calorífico útil foi realizada utilizando a Equação 1, conforme o Anexo E da norma EN 14918 (DIN, 2010).

$$PCU_{\text{(pressão constante)}} = (PCS - 212,2 * H - 0,8*(O + N)) * (1 - 0,01 * M) - (24,43 * M) \quad (1)$$

Onde:

PCU<sub>(pressão constante)</sub>: poder calorífico útil em pressão constante, em J.g<sup>-1</sup>;

PCS: poder calorífico superior, em J.g<sup>-1</sup>;

H, O, N: hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, respectivamente, em porcentagem (%);

M: umidade, base úmida, em porcentagem (%);

Constantes: A energia de vaporização (pressão constante) para a água a 25 °C é de 44,01 kJ.mol<sup>-1</sup>. Isto corresponde a 218,3 J.g<sup>-1</sup> para 1% de hidrogênio (m/m) ou 24,43 J.g<sup>-1</sup> para 1% de umidade (m/m) na amostra.

A densidade energética (GJ/m<sup>3</sup>), com base no poder calorífico útil, foi obtida seguindo mesma metodologia, contudo, levando em consideração o poder calorífico útil.

A durabilidade e a porcentagem de finos dos pellets foram determinadas utilizando o equipamento Ligno-Tester, de acordo com a norma DIN EN 15210-1 (DIN, 2010). A dureza, em kg, foi determinada pelo ensaio de compressão diametral do *pellet* em um durômetro manual com escala de 0 a 100 kgf, da marca *Amandus Kahl*. Um *pellet*, por vez, foi inserido no durômetro e foi aplicada carga crescente, até fratura da amostra. Então, fez-se a leitura da carga máxima que um *pellet* pode suportar antes de romper. Foram avaliados 10 *pellets* por tratamento.

O delineamento aplicado à análise dos *pellets* foi o DIC com 6 tratamentos, sendo uma testemunha (0% de amido), e cinco diferentes porcentagens. Inicialmente foi realizado o teste de *Lilliefors*, para testar a normalidade, e *Cochran*, para testar a homogeneidade das variâncias. Em seguida os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a nível de 5% de significância, para avaliar diferenças significativas entre os tratamentos. Quando observado diferença significativa entre os tratamentos, eles foram submetidos ao teste de comparação múltipla de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades físicas dos *pellets* apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey a nível de 5% de significância (Figura 1).

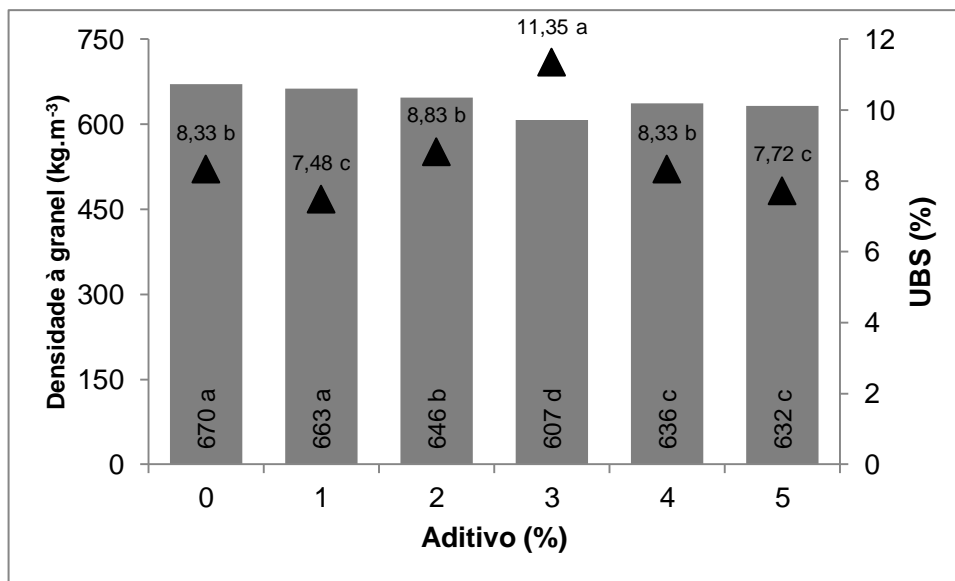


Figura 1. Valores médios de densidade a granel ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) e teor de umidade, base seca (%) dos tratamentos.

Para densidade a granel, observou-se que o aumento da porcentagem de aditivo adicionado à mistura das partículas houve redução dos valores médios desta propriedade. Os tratamentos sem aditivo e com adição de 1% apresentaram-se com maiores valores médios. Este comportamento está associado ao processo de peletização, uma vez que o amido tem como objetivo agir como agente lubrificante, facilitando a passagem dos *pellets* pela matriz de peletização, reduzindo o tempo de residência dos *pellets* e menor tempo de ação da temperatura para melhor plasticização da lignina presente na madeira, resultando em melhor densificação.

A normativa de comercialização DIN EN 14961-2 (2011) estabelece parâmetros que os produtores de *pellets* devem atender e padronizar o produto. Para a propriedade de densidade a granel são exigidos valores superiores a  $600 \text{ kg.m}^{-3}$ , dessa forma, todos os tratamentos adequaram-se à normativa.

O teor de umidade, base seca, dos *pellets* apresentou baixa variação, sendo os tratamentos aditivados com 1 e 5% de amido de milho os que apresentaram menores valores médio para esta propriedade. Segundo a normativa de comercialização DIN EN 14961-2 (2011), exige valores de teor de umidade, base seca, inferior a 10%, o que pode ser observado para todos os tratamentos, exceto os *pellets* aditivados com 3% de amido de milho.

O poder calorífico representa a quantidade de energia que contém em cada combustível. Quando se leva em consideração o teor de umidade, obtemos o poder calorífico útil, que do ponto de vista comercial é mais interessante, pois expressa a quantidade de energia fornecida pelo biocombustível durante o processo de combustão. Os valores médios observados para poder calorífico e densidade energética apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios de poder calorífico superior e útil ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ) e densidade energética, com base no poder calorífico útil dos tratamentos

Aditivo (%)	0	1	2	3	4	5
PCS ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ )	4940 a	4896 ab	4781 b	4861 ab	4899 ab	4923 ab
PCU ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ )	4347 a	4179 b	4002 c	3968 c	4147 b	4179 b
DEpcu ( $\text{Gcal.m}^{-3}$ )	2,91 a	2,77 b	2,59 c	2,41 d	2,64 c	2,64 c

PCS: poder calorífico superior; PCU: poder calorífico útil; DEpcu: densidade energética com base no poder calorífico útil. Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não apresenta diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o poder calorífico superior, observa-se que os tratamentos não apresentam diferenças significativas, excetos o tratamento com 2% de amido de milho, o qual apresenta menor poder calorífico superior. Isto ocorre devido a quantidade de aditivo adicionado não ser suficiente para apresentar diferenças significativas entre os tratamentos.

O poder calorífico útil representa a quantidade disponível no momento da combustão do biocombustível, dessa forma, observa-se que o tratamento sem aditivo apresenta maior PCU quando comparado aos demais. Os tratamentos com adição de 2 e 3% de amido de milho apresentam diferenças significativas em relação aos demais tratamentos e menores valores de PCU. Tal comportamento está associado ao baixo valor de PCS e elevado teor de umidade destes tratamentos, respectivamente.

A densidade energética representa a quantidade de energia contida em determinado volume de combustível. Neste estudo, observou-se que os tratamentos sem aditivo e com 1% de adição de amido de milho foram os que apresentaram maiores valores médios e não apresentam diferenças significativas. O elevado valor de densidade a granel apresentou grande influência nesta propriedade, a qual manteve os valores superiores em relação aos demais tratamentos. Dessa forma, a produção de *pellets* com até 1% de adição de amido geram biocombustíveis com maior densidade e, em vista disto, maior quantidade de energia pode ser transportada e/ou armazenada.

As propriedades mecânicas dos *pellets* são de grande importância para conhecimento da capacidade em transportar e armazenar os *pellets* sem que ocorra a desintegração e perda da qualidade do biocombustível. Observa-se na Figura 2 os valores médios de durabilidade mecânica e teor de finos dos *pellets*, o qual apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

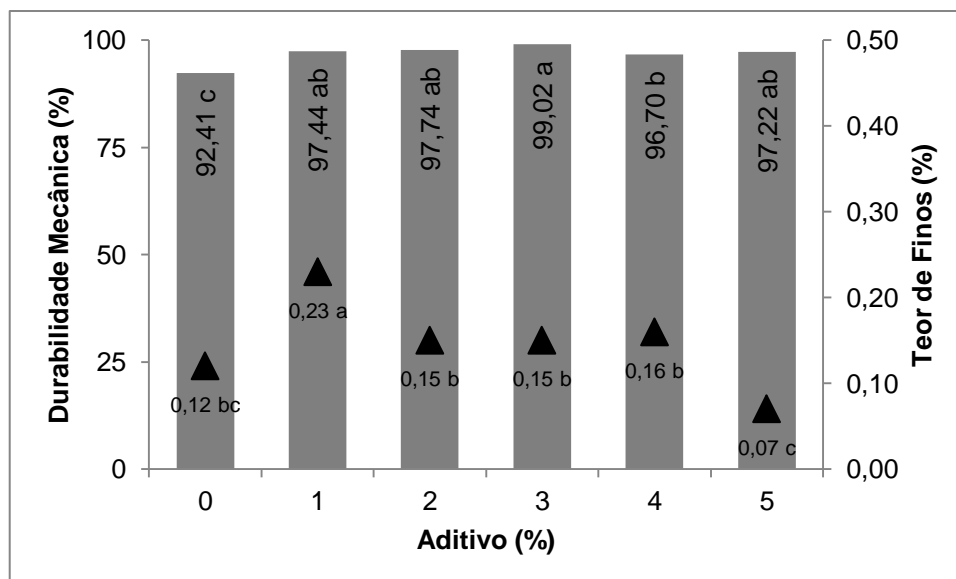


Figura 2. Valores médios observados para durabilidade mecânica (%) e teor de finos (%) para os tratamentos estudados.

Observa-se que para durabilidade mecânica o amido de milho apresentou valores significativamente maiores quanto ao tratamento sem aditivo, expressando o efeito positivo sobre esta propriedade. Além disso, o tratamento com 3% de adição foi o que apresentou valor médio superior quando comparado aos demais. Esta porcentagem adicionada permite a lubrificação da matriz de forma eficiente e agir como ligante entre as partículas de madeira, o que implica em melhor densificação da biomassa.

A normativa de comercialização DIN EN 14961-2 (2011) exige valores mínimos de 97,5% de durabilidade mecânica, dessa forma, somente os tratamentos com 2 e 3% adequaram-se a normativa. Contudo, esta mesma normativa permite a adição de no máximo 2% de aditivos, o que restringe o uso, adequando somente o tratamento com 2%.

O teor de finos dos *pellets* aditivados com amido de milho apresentaram-se superiores em relação ao tratamento sem aditivo exceto o tratamento com 5% de adição que não diferiu significativamente. Além do teor de finos ser uma propriedade que apresenta resultados da quebra dos *pellets*, elevados valores desta propriedade pode aumentar o risco de incêndios durante o armazenamento e transporte, o que torna-se preferível *pellets* com menor geração de finos.

A normativa de comercialização DIN EN 14961-2 (2011) exige valores máximos de 1% de teor de finos, dessa forma, todos os tratamentos adequaram-se a normativa, ressaltando o limite de 2% de aditivo estabelecido pela norma.

A dureza é uma propriedade mecânica que expressa a resistência a compressão perpendicular do *pellet*, permitindo estimar fatores de empilhamento e peso suportado. Observou-se que os tratamentos apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Figura 3).

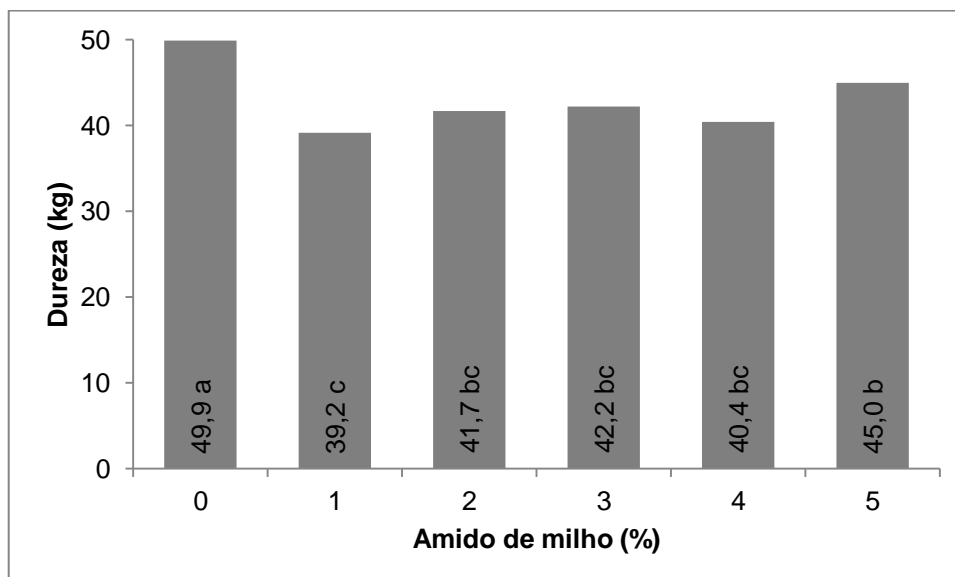


Figura 3. Valores médios de dureza (kg) dos tratamentos.

Observou-se que o uso de amido de milho reduziu os valores médios dessa propriedade, sendo estes inferiores ao tratamento sem aditivo. Este comportamento está relacionado diretamente à densidade dos *pellets*, uma vez que esta propriedade apresenta efeito direto sobre sua resistência (TARASOV, et al., 2013) o aumento da resistência a compressão perpendicular dos *pellets* pode ser justificada pelo aumento da densidade.

Vale ressaltar que os aditivos contribuem para as propriedades mecânicas dos *pellets*. Contudo, em alguns casos, o aditivo pode influenciar de forma negativa, pelo teor de umidade, onde a água, quando presente ocupa lugar de ligações de hidrogênio, afetando a união das partículas e em consequência disso, reduzindo as propriedades mecânicas dos *pellets* (WILSON, 2010).

#### 4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o amido de milho apresenta potencial para produção de *pellets* e contribui de forma positiva para algumas propriedades deste biocombustível. A adição de até 2% apresenta-se como mais favorável para a peletização e contribuição para as propriedades físicas dos *pellets*.

O uso de 3% de amido de milho apresenta-se como melhor alternativa para melhorias das propriedades mecânicas. Contudo, a normativa de comercialização permite até 2% de adição. Revisões nestas normativas são necessárias para melhoria do produto e valorizar os *pellets*, visto que é um combustível renovável e apresenta potencial para produção de energia limpa.

A quantidade de amido a ser utilizada varia em função de qual propriedade o produtor pretende melhorar, além da alternativa de uso de amido oriundo da varrição das indústrias de beneficiamento de grão, que pode ser uma alternativa para valoração do resíduo do amido de milho.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento – CNPq.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. DIN EN 14774-2: Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method. Alemanha: CEN: 9 p. 2009.

\_\_\_\_\_. DIN EN 14918: Determination of calorific value. Berlim: CEN: 63 p. 2010.

\_\_\_\_\_. DIN EN 14961-2: Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2: Wood *pellet's* for non-industrial use. Alemanha: CEN: 15 p. 2011.

\_\_\_\_\_. DIN EN 15103: Solid biofuels - Determination of bulk density. Alemanha: CEN: 14 p. 2010.

\_\_\_\_\_. DIN EN 15210-1: Solid biofuels - Determination of mechanical durability of *pellet's* and briquettes - Part 1: *Pellet's*. Alemanha: CEN: 12 p. 2010.

GIL, M. V., OULEGO, P., CASAL, M. D., PEVIDA, C., PIS, J. J. & RUBIERA, F. Mechanical durability and combustion characteristics of *pellets* from biomass blends. *Bioresource Technology*, 101, 8859-8867, 2010.

KALIYAN, N. & MOREY, V. R., *Densification of Corn Stover*. ASAE *Annual International Meeting*. St. Joseph, MI: ASABE, 2005.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F.; Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. *Ciências Agrárias*, v.31, n.1, p.137-156, 2010.

PAES, M. C. D.; Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 6p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 75).

SAMUELSSON, R., LARSSON, S. H., THYREL, M. & LESTANDER, T. A., Moisture content and storage time influence the binding mechanisms in biofuel wood *pellets*. *Applied Energy*, 99, 109-115, 2012.

TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. T 257 cm-85: Sampling and preparing wood for analysis. Atlanta: TAPPI. 1985.

TARASOV, D.; SHAHI, C.; LEITCH, M.; Effect of additives on wood *pellet* physical and thermal characteristics: A review. *ISRN Forestry*, 6 p., 2013. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1155/2013/876939>>. Acesso em 9 de maio de 2017.



---

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A.; Starches. Minnesota : Egan Press. 1999. 91p.

TUMULURU, J. S.; WRIGHT, C. T.; HESS, J. R.; KENNEY, K. L. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 5, n. 6, p. 683-707, 2011.

WILSON, T. Factors affecting wood *pellet* durability. *Thesis (Magister Science in Agricultural and Biological Engineering)* – Pensilvania State University. 2010. 86p.