

COMBUSTÍVEL SÓLIDO A PARTIR DE BIOMASSA RESIDUAL DE BORRA DE CAFÉ, CASCA DE ARROZ E CASCA DE BATATA

SOLID FUEL FROM RESIDUAL BIOMASS OF COFFEE GROUNDS, RICE HULLS AND YELLOW POTATO PEEL

RACHEL FAVERZANI MAGNAGO, Dra. | UNISUL

GUILHERME DOMINGOS GARCIA | UNISUL

DIEGO VALDEVINO MARQUES | UNISUL

IZOÉ DAYSI PEDROSO | UNISUL

KÊNIA ALEXANDRA COSTA HERMANN | UNISUL

NATHAN ROBERTO LOHN PEREIRA | UNISUL

SIMONE PERRONI MAZON | UNISUL

SUSANA CLAUDETE COSTA | UFSC

RESUMO

A borra de café é um resíduo de biomassa que geralmente se tem desprezado o seu valor energético, mas acessível para a conversão em combustível. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades de cinco espécimes produzidas com borra de café (passado e/ou expresso), com e sem casca de arroz, e com casca de batata inglesa. A casca de batata foi moída com 70 mL de água, misturada com outros resíduos de biomassa e aquecidos por 15 min, após moldagem permaneceram em estufa por 48 h a 50° C. Para todos os espécimes foram determinados teor de umidade, teor de cinza, poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI), resistência mecânica e monitorado a cor da fumaça. Os valores de PCS e PCI foram entre 15,45-17,02 MJ/Kg e 13,99-15,67 MJ/Kg, respectivamente. A fumaça liberada durante a queima foi branca (Ringilmann 2-3) e apresentaram resistência mecânica adequada para manipulação, transporte e armazenamento. Os combustíveis sólidos apresentados mostram-se capazes de desempenhar satisfatoriamente a substituição das fontes caloríficas tradicionais, comparando-se inclusive aos tradicionais briquetes de carvão e lenha.

PALAVRAS CHAVE: Biocombustível sólido; Biomassa residual; Borra de café; Batata inglesa.

ABSTRACT

Coffee grounds are a biomass residue that has generally been neglected its energy value, but accessible for conversion into fuel. The objective of this work was to evaluate the properties of five specimens produced with coffee grounds (past and/or espresso), with and without rice husk, and with yellow potato peel. The potato peel was ground with 70 mL of water, mixed with other biomass residues and heated for 15 min, after molding they remained in the oven for 48 h at 50° C. For all specimens were determined moisture content, ash content, upper and lower heating values (UHV and LHV), mechanical resistance and monitored the color of the smoke. The UHV and LHV values were between 15,35-17,02 MJ/Kg and 13,99-15,67 MJ/Kg, respectively. The smoke released during burning was White (Ringilmann 2-3) and showed adequate mechanical strength for handling transport and storage. The solid fuels shown are able to perform satisfactorily the substitution of the traditional heat sources, comparing even to the traditional coal and wood briquettes.

KEY WORDS: Solid biofuel; Residual biomass; Coffee grounds; Yellow potato.



1. INTRODUÇÃO

O café é globalmente a segunda maior commodities mundial, perdendo apenas para o petróleo e derivados (JANISSEN; HUYNK, 2018; KOVALCIK et al., 2018; TUCKER, 2011). Segundo a Organização Internacional do Café, no ano-safra 2017/18 a produção mundial foi de 158,6 milhões de sacas de 60 kg e os cinco maiores países produtores de café nesse período foram: Brasil, em primeiro, com 51,0 milhões de sacas, seguido de Vietnã (29,500 milhões), Colômbia (14 milhões), Indonésia (10,902 milhões) e Honduras (8,349 milhões) (ICO, 2018). Na década de setenta a produção anual foi de aproximadamente de 80 milhões de sacas, a produção dobrou e arbitra para o fim da safra de 2018 um volume mundial de 162,12 milhões de sacas. Na América do Sul o maior consumo estimado para 2018 foi de 26,97 milhões de sacas, 3% superior que em 2017, sendo o Brasil maior responsável por elevar a taxa de consumo (ICO, 2018; ALMEIDA; ZYLBERSZTAJN, 2017). Para o crescimento das exportações brasileiras na safra de 2018 foi previsto mais de 24%, qualificando o país também como o principal exportador do produto. A Figura 1, ilustra a última década do café com base na produção, consumo, estoques e exportações em nível mundial.

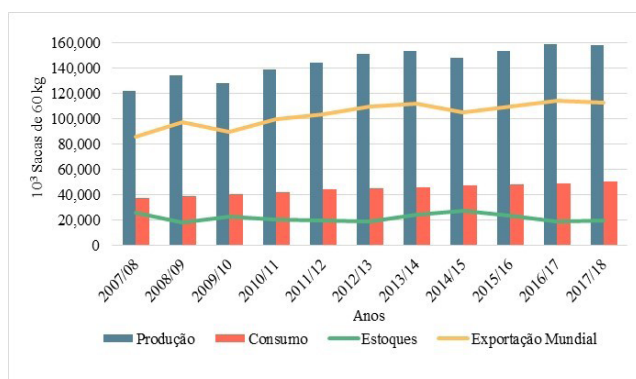


Figura 1 – Produção, consumo, estoques e exportação mundial do café para os anos de 2008 a 2018
Fonte: Adaptado de ICO, 2018

Segundo o relatório da ICO (2018), na Figura 1, mostra uma queda na produção nos anos de 2010, 2015 e 2017, mas exibindo de modo geral crescimentos nos últimos 10 anos. Em 2017 a safra fechou com 158,560 milhões de sacas, com crescimento de 3,235 em relação a 2014, ao comparar a safra de 2017/2018 com a 2016/2017 houve queda de 0,31%. No entanto, o consumo mundial tem crescido 2% ao ano (Figura 1), aumentando de 90,28 milhões de sacas em 1991 para uma estimativa de 162,12 milhões de sacas em 2017/18. Os maiores ganhos ocorrem, na América do Sul, com o consumo estimado de 26,97 milhões de sacas, 3,3% superior ao de 2016/17, com grande parte do crescimento atribuído ao Brasil (ICO, 2018). Ainda na Figura 1, os estoques mundiais

mostram um declínio de 28,66% ao relacionar as safras passadas; 2017/18 com 19,357 milhões de sacas. Com relação às exportações mundiais, do ano base de 2013/14 foram exportadas 111,978 milhões de sacas de 60 kg de café, declinando em 2014/15 e 2015/16 para 105,492 e 109,902 milhões de sacas, correspondendo a quedas de 5,79% e 1,85% respectivamente no biênio. Para a safra de 2016/17 houve aumento das sacas de café exportada de 2,34% somando 114,596 milhões de sacas em relação a 2013/14. No ano de 2017/18 as exportações voltam a ter queda, finalizando o ano com 112,949 milhões de sacas, correspondente uma queda de 1,44% em relação ao ano anterior.

Deste modo tem-se um panorama da importância econômica do movimento global do café, mas que pode ter impacto ambiental negativo, pois o cultivo do café produz resíduos desde a colheita até o consumo final. O processo pós-colheita inclui as etapas úmida, semiúmida e seca. Cada uma delas gera resíduos como casca, polpa, pergaminho e águas de lavagem, sendo a gestão destes subprodutos um desafio para todos os países produtores (THENEPALLI et al., 2017). As águas residuais provenientes das indústrias de café também representam alto risco de contaminação de águas do entorno se descartada sem tratamento, por conter alta concentração de poluentes orgânicos. Mais de 50% do fruto do café pós-colheita não é aproveitado comercialmente, podendo causar problemas ambientais se todo o volume de resíduo da produção não for tratado de forma adequada (ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012). Segundo Fernandes (2014), a palha do café, resíduo sólido dos processos pós-colheita, pode voltar para a lavoura em forma de composto para adubação. Meneghelli e colaboradores (2016) mostram que o resíduo do processo de secagem dos grãos pode substituir uma parte do substrato tradicional para produção de mudas de café, se aplicado na concentração adequada. Quanto a água de fermentação e lavagem, que é rica em matéria orgânica, está sendo utilizada em propriedades do centro do Brasil para irrigação da plantação, reduzindo o potencial risco contaminante das águas de superfície e o consumo de água tratada na produção (SOARES et al., 2009; SOARES et al., 2007). Deste modo, diferentes trabalhos enfocam os resíduos proveniente da plantação e indústria de café (MENEGHELLI et al., 2016; ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012; SOARES et al., 2009; SOARES et al. 2007).

Devido ao crescimento do comércio de café em todo mundo, principalmente por se tratar de uma bebida de consumo frequente, também gera resíduo sólido nesta etapa. O impacto ambiental negativo do consumo desta bebida tem sido estudado por meio de pesquisas que

visam processos sustentáveis para a destinação destes resíduos (JENKINS, 2014; PAGE et al., 2017; MATA et al., 2018). Cerca de 90% de todo o café consumido acaba em forma de resíduo sólido, sendo que a borra é parte deste, e é gerada após a extração dos compostos solúveis do café torrado durante a preparação da bebida, seja para café expresso ou café passado (KOURMENTZA, 2018; PESHEV, 2108). Murthy (2012) estima que para cada tonelada de grão de café, 650 kg permanecem no ambiente como borra após o consumo. De acordo com esta estimativa, teriam no ambiente cerca de 6,2 mil toneladas de borra em 2016/17, se considerado o consumo mundial de 9,5 mil toneladas neste período (ICO, 2018). Este resíduo é usualmente descartado e encaminhado aos aterros sem nenhum tratamento ou valorização e podem ter efeitos negativos sobre o meio ambiente (RODRIGUES et al., 2017; PANUSA et al., 2013).

A borra do café é caracterizada pelo alto conteúdo orgânico (polissacarídeos, proteínas, carboidratos, cafeína, aminoácidos, polifenóis) e minerais, o que desperta o interesse na sua valorização (VEGA-CAMPOS, 2015). Esses resíduos não apresentam valor comercial para ração, devido à presença de substâncias como taninos e cafeína considerados antinutricionais para alimentação animal e, quando em concentração acima de 2,5% são tóxicos para plantas e microrganismos do solo (JANISSEN; HUYNH, 2018; FULLER, 2004), mas Zhang e Sun (2017) mostraram que o uso da borra do café, associado ao esterco de vaca, reduziu o tempo de compostagem de outros resíduos orgânicos. Diversos trabalhos relatam seu uso como fonte de energia (KARMEE, 2018; ZHANG; SUN, 2017; CAETANO, 2014; CAETANO, 2012), compostagem (ZHANG; SUN, 2017; KOUTINAS, 2013), componentes farmacêuticos (PESHEV, 2018; RIBEIRO et al., 2018; GARCÍA-GUTIÉRREZ et al., 2017), ingredientes potenciais na indústria alimentícia (GIROTTO, 2018; VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, 2018; MATINEZ-SAEZ, 2017).

O potencial de queima do café pós-consumo para produção de energia é descrito por Kang e colaboradores (2017) como sendo mais baixo que as biomassas de serragem, cinza de madeira e casca de trigo, devido ao teor de umidade presente na borra. Entretanto, quando desidratada, a borra tem um aumento no potencial de queima, ficando equivalente ao da semente de girassol e, segundo Pilusa e colegas (2013), as emissões tóxicas são mais baixas quando comparadas às dos combustíveis fósseis. Apesar destes achados, não foram encontrados na literatura estudos com objetivo a densificação da borra do café com biomassa residual de casca de batata inglesa com e sem casca de arroz para avaliar o poder calorífico superior e inferior dos briquetes obtidos.

O setor alimentício, incluindo agricultores, atacadistas e varejistas, produz e gerencia grande quantidade de valores e recursos em escala global. Alcançar a sustentabilidade na produção, distribuição e consumo desses recursos é um fator significativo, tendo em vista que envolve o desenvolvimento social, o bem-estar, a competitividade dos atores da cadeia de abastecimento alimentar, condições ambientais, entre outros aspectos (HOOGE et al., 2018; CHABADA et al. 2013).

A Organização das Nações Unidas (ONU) incluiu nos "Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS)" (2015) uma meta específica para a redução de desperdícios de alimentos (ONU, 2015). O Objetivo 12, "Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis", estabelece como meta para os países signatários reduzir até 2030 "pela metade o desperdício de alimentos per capita mundial, nos níveis de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita" (ONU, 2015). Também, inclui reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso até 2030 (ONU, 2015). Tem ocorrido um crescente interesse em estabelecer programas de prevenção e recuperação de resíduos alimentares em todo o mundo. Essa preocupação ocorre visando a conservação de recursos, e a diminuição dos custos ambientais e econômicos provenientes do desperdício de alimentos. Devido a estes fatores, há uma tendência na indústria de gerenciamento de resíduos para a utilização de práticas mais sustentáveis (THYBERG; TONJES, 2016). Cultivar e distribuir alimentos que tornando-se resíduos gera uma grande perda, tanto em aspectos econômicos, quanto ambientais e/ou sociais (CHABADA et al., 2013; AKKERMAN et al., 2010). Considerando que a agricultura consome mais de 25% da água doce para irrigação; a agroindústria corresponde a geração de aproximadamente um terço de todas as emissões de gases que ocasionam o efeito estufa, exigindo uso extensivo de terra, água e energia (HOOGE et al., 2018; SCHERHAUFER et al., 2018; GARNETT, 2011). Devido a quantidade de resíduos alimentares gerada em todo o mundo, seu descarte se torna um desafio. Estes são resíduos biodegradáveis caracterizando um importante grupo de resíduos que ameçam o meio ambiente quando destinados por exemplo para aterros, pois são conhecidos por gerar dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e outras substâncias gasosas. Especificamente o metano é o mais abundante gás de efeito estufa gerado a partir de aterros sanitários (GIROTTO; ALIBARDI; COSSU, 2015).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades de diferentes composições contendo borra de café (passado e/ou expresso), com e sem casca de arroz e casca de batata inglesa quanto ao teor de umidade, teor de cinzas, poder calorífico superior e inferior, resistência mecânica e cor da fumaça emitida.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção de combustíveis sólidos foi utilizada como matéria-prima a biomassa da casca de arroz, borra de café passado e expresso, e casca de batata inglesa in natura. A borra de café passado foi doada pelo restaurante Vô João e a borra de café expresso pelo restaurante Pedra Branca, localizados na praça de alimentação no campus Pedra Branca da Universidade do Sul de Santa Catarina.

2.1. Preparação dos corpos de prova

Para a preparação dos corpos de prova, foram liquidificados 100 g de casca de batata com 70 ml de água (Figura 2A), a mistura foi vertida para um bécquer e aquecida em chapa de aquecimento Fisaton® por cerca de 10 min na temperatura de 100 °C (Figura 2B). Quando a mistura apresentou aspecto de gel, foi acrescentada casca de arroz e/ou borra de café e agitou-se até uniformizar (Figura 2C). As massas utilizadas estão na Tabela 1, com resultados correspondentes. A mistura foi vertida em moldes PCV com 10 cm de altura e 4,5 cm de diâmetro (Figura 2D), comprimidas por cerca de 1 min com 5 kg (Figura 2E). As amostras foram retiradas do molde que estavam cortados ao meio no sentido da altura (Figura 2F) e secas em estufa por 48 horas a 50 ± 2 °C. Os corpos de provas foram confeccionados em quintuplicada.

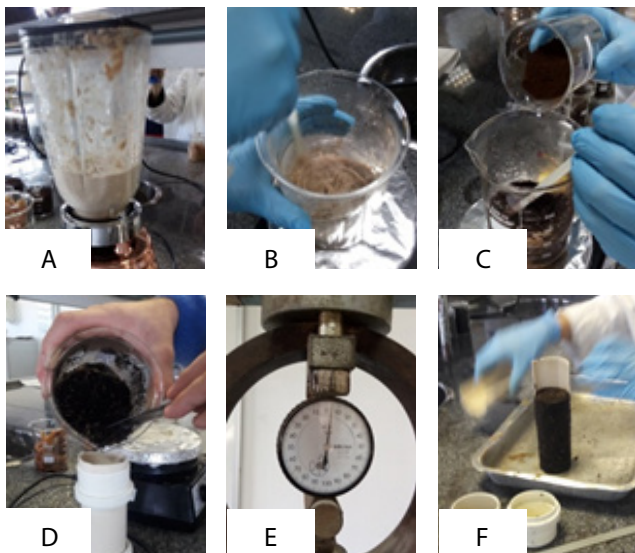


Figura 2: Preparação dos corpos de resíduos de biomassa borra de café, casca de arroz, casca de batata inglesa, sendo (A) moagem casca de batata com água, (B) aquecimento, (C) adição dos demais componentes, (D) molde, (E) prensagem e (F) desmolde.

Fonte: Autores.

2.2. Resistência mecânica à compressão

Os corpos de prova cilíndricos (10 cm de altura e 4,5 cm de diâmetro) foram usados para realizar testes de compressão. Os espécimes foram submetidos a incrementos de carga até deformação plástica do material à temperatura ambiente.

2.3. Teor de umidade

Todos os corpos de prova foram pesados com a balança de precisão Shimadzu® previamente tarada, e levados à estufa a uma temperatura de 105 ± 2 °C. Estes foram retirados da estufa e resfriados em dessecador com cloreto de cálcio anidro e pesados. A operação de aquecimento e resfriamento foi repetida até peso constante (DIAS et al., 2012; ABNT NBR 8112, 1986).

2.4. Teor de cinzas

As amostras foram colocadas em cápsulas de porcelana para queima. Cada amostra foi transferida para um cadinho isento de umidade, pesada e levado à mufla (700 ± 10 °C) por 3 h. Após este processo, o material foi resfriado em dessecador com cloreto de cálcio anidro até massa constante (DIAS et al., 2012; ABNT, 1986).

2.5. Volume e densidade aparente

O diâmetro da amostra e a altura em centímetros foram medidos com um paquímetro e o volume calculado de acordo com fórmula do volume do cilindro. A densidade aparente foi calculada através da massa do corpo de prova e o seu volume (DIAS et al., 2012).

2.6. Poder calorífico superior e inferior

Foi utilizado o método descrito por Dias e colaboradores (2012), cuja referência foi a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, onde o Poder Calorífico Superior (PCS) em MJ/kg foi calculado utilizando o teor de cinzas (A) e o teor de umidade (M) do combustível usando a seguinte Equação 1:

$$\text{PCS} = 20,0 \times (1 - A - M) \quad (1)$$

Para o cálculo do Poder Calorífico Inferior (PCI) em MJ/kg, foi utilizado o teor de cinzas (A) e o teor de umidade (M) do combustível foi calculado segundo a Equação 2:

$$\text{PCI} = 18,7 \times (1 - A) - 21,2 \times M \quad (2)$$

2.7. Cor da fumaça

O ensaio foi realizado em capela de exaustão, onde os

espécimes foram queimados com bico de Bunsen dentro de uma capsula de porcelana. O registro das imagens foi com o software VirtualRingelmann® (<http://virtualringelmann.com/>) de forma estacionário e a 1 m de distância da fumaça. A escala de Ringelmann foi utilizada para este teste, sendo este adotado como sistema de medição mundial da emissão de fumaça preta de motores a diesel e chaminés industriais por meio digital (MF-0520.R-4).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os combustíveis sólidos foram obtidos a partir de biomassas da casca de arroz, borra de café passado e/ou expresso e casca de batata inglesa. A Figura 3 mostra os espécimes 2, sendo que os demais espécimes (1, 3, 4 e 5) tiveram características visuais semelhantes.



Figura 1 – Combustíveis sólidos confeccionados com biomassas de 100 g de casca de batata inglesa e 70 g borra de café expresso
Fonte: Autores.

Na Figura 3 podem ser visualizados pedaços de casca de batata que não foram completamente triturados e estão presentes em todas as composições (Tabela 1).

Na Tabela 1 constam os valores determinados para umidade total, teor de cinzas, poder calorífico inferior e superior para as cinco composições preparadas.

Os resultados das médias do teor de umidade total dos espécimes preparados (Tabela 1) foram entre 9,40% a 15,11%, mostrando-se inferiores à umidade da lenha (25% - 30%). Portanto, este quesito foi atendido para que os espécimes sejam viáveis para o uso como fonte de calor (GONÇALVES et al., 2006).

O teor de cinzas para cada composição também pode ser observado na Tabela 1, e foram entre 4,95-8,06% para os cinco espécimes preparados, sendo que o menor teor de cinzas foi para o espécime 3 (DIAS et al., 2012; FOLETTO; HOFFMANN, 2005; GONDIM et al., 2005). Todas as amostras apresentam teor de cinzas inferiores aos teores de 42,16% encontrados por Morais e colaboradores (2006) em briquetes de carvão de cascas de arroz e aos encontrados

por Costa e colegas (2017) para briquetes com biomassa de casca de arroz. Os resultados também estão de acordo com Dias e colaboradores (2012), que afirma que a maioria dos resíduos de biomassa têm baixo teor de cinzas, exceto a casca de arroz, que pode conter até cerca de 25% de cinzas. Por isto, almeja-se que após a queima de um combustível sólido haja a menor quantidade de resíduos sólidos possíveis, para que o material seja utilizado na geração de calor. Deste modo evita-se problemas gerados pelas cinzas como a corrosão de equipamentos.

Toda cinza formada também deve ter um destino correto. O uso de biomassa como fonte de energia para ajudar a mitigar a mudança climática e aumentar a segurança energética deve ter um ciclo fechado de carbono. Os resíduos carbonosos da produção de bioenergia com potencial para a contenção de carbono e manejo de resíduos foram amplamente empregados como condicionadores de solo, uma vez que continham uma quantidade significativa de nutrientes vegetais (macro e micronutrientes) (Singh et al., 2015). Diferentes estudos mostraram os efeitos de diferentes biocombustíveis sólidos de diferentes fontes têm nas propriedades do solo (Mohan et al., 2018; Hussain et al., 2017; Jeffery et al., 2017). No entanto, deve-se atentar para o manuseio das cinzas devido à presença de elementos que desencadeiam a preocupação ambiental, mas são comumente encontrados na biomassa. Além disso, o aproveitamento integral do resíduo e sua contribuição para a melhoria das propriedades químicas do solo dependem principalmente dos teores de nutrientes encontrados nas cinzas da biomassa. Como continuação do estudo de cinzas recomenda-se determinação de sílica, macro e micronutrientes dos biocombustíveis sólidos preparados.

O PCS é aquele em que a combustão se efetua a volume constante, no qual a água formada durante a queima condensa e o calor é recuperado. O PCS dos espécimes (Tabela 1) foram na faixa de 15,35-17,02 MJ/kg (Tabela 1). Para os cinco espécimes o melhor resultado foi encontrado para o espécime 4, cuja a composição foi 10 g de casca de arroz e 60 g de borra de café expresso. Segundo Dias e colaboradores (2012), os briquetes com resíduos de casca de arroz apresentam geralmente PCS de 15,90 MJ/Kg, os materiais desenvolvidos apresentaram valores próximos ou superiores. Os resultados de PCS dos espécimes ficaram próximos ou abaixo dos valores de referência da Food and Agriculture Organization (FAO) que são de 17-18 MJ/kg (ERIKSSON et al., 1990), mas foram superiores aos valores de 13,47-11,61 MJ/kg, encontrados em trabalho anterior com biomassa de casca de arroz (COSTA et al., 2017).

Espécimes	100g de casca de batata e 70ml de água			Teor de umidade (%)	Cinzas (%)	PCS (MJ/Kg)	PCI (MJ/Kg)
	Casca arroz (g)	Borra café passado (g)	Borra café expresso (g)				
1	-	70	-	9,79 ±0,69	7,86 ±2,14	16,44 ±0,78	15,12 ±0,45
2	-	-	70	15,11 ±2,46	8,06 ±2,85	15,35 ±0,3	13,99 ±0,29
3	10	60	-	10,00 ±0,73	4,95 ±0,63	17,01 ±0,27	15,65 ±0,27
4	10	-	60	9,40 ±0,52	5,52 ±1,25	17,02 ±0,35	15,67 ±0,34
5	-	35	35	14,96 ±4,55	5,00 ±0,92	16,01 ±0,89	14,59 ±0,99

Tabela 1: Teor de umidade, teor de cinzas, Poder Calorífico Superior (PCS) e Inferior (PCI) para cinco espécimes de combustível sólido.
Fonte: Autores.

O PCI é a energia livre por unidade de massa de um combustível, depois de reduzidas as perdas com a evaporação da água (JARA, 1997). Por isso, é fundamental avaliar o PCI de um combustível, pois é a forma de quantificar a energia efetiva do material. O PCI dos espécimes também está descrito na Tabela 1, sendo que os valores foram na faixa de 13,99-15,67 MJ/Kg. Os valores encontrados foram superiores ao da lenha (7,12-10,47 MJ/kg), acima dos avaliados por Vieira (2014) e aos encontrados para os briquetes de casca de arroz desenvolvidos anteriormente em nosso grupo de pesquisa (10,27-12,07 MJ/Kg) (COSTA et al., 2017), mas inferiores aos indicados pela FAO, que prediz a faixa de 15,4-16,5 MJ/kg (ERIKSSON et al., 1990).

A Figura 4 mostra a resistência à compressão máxima para os espécimes preparados, sendo importante, pois estes devem suportar carga suficiente para serem manuseados, transportados e armazenados sem sofrer desgaste, perda de massa ou quebras.

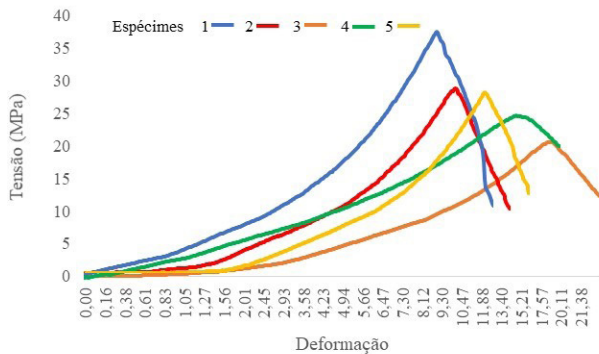


Figura 4 – Tensão de compressão versus deformação para espécimes 1, 2, 3, 4 e 5.
Fonte: Autores.

Na Figura 4, o espécime que apresentou maior resistência mecânica a compressão foi o 1, com 70 g de borra de café passado. Também pode ser observado que a

resistência mecânica dos combustíveis sólidos. A resistência mecânica das diferentes composições (Tabela 1) foram devido a aglutinação da celulose e hemicelulose das biomassas, além de intertravamento por meio de fibras vegetais, deste modo produziu-se espécimes com resistência mecânica apropriada para aproveitamento energético (COSTA et al., 2017; VIEIRA, 2014; PILUSA et al., 2013; CHOU et al., 2009; PAULA et al., 2011; LUZ et al., 2006; QUIRINO et al., 2005).

Para o monitoramento da cor da fumaça durante a combustão foi utilizado o software VirtualRingelmann®. A Figura 5 mostra as imagens captadas da fumaça emitida pelos espécimes 2 (Tabela 1) durante a queima, as quais foram conferidos na escala de Ringelmann.

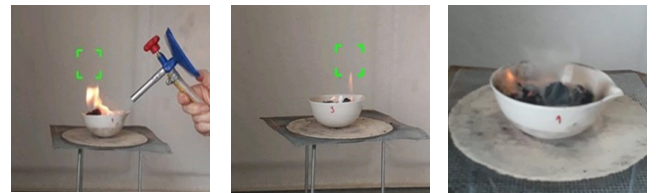


Figura 5 – Queima de combustíveis sólido confeccionados com biomassa de 100 g de casca de batata inglesa e 70 g borra de café expresso
Fonte: Autores.

Como pode ser visto nas imagens da Figura 5, a fumaça emitida durante a queima foi branca para todos os registros, encontrando-se na escala 2-3 de Ringelmann. Todos os espécimes mantiveram-se nesta faixa da escala de Ringelmann que equivale a densidade entre 40-50% da fumaça, sendo que demonstra característica predominante de combustão completa formando dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O).

O uso de borra de café e casca de batata inglesa para geração de energia é capaz de reduzir o descarte inadequado destes e aproveitamento de biomassa residual para geração de energia.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os espécimes preparados com biomassas de borra de café, com e sem casca de arroz e casca de batata inglesa mostram-se aptos para serem utilizados como combustível sólido quanto ao Poder Calorífico Superior e Inferior. O melhor resultado de PCS e PCI foi para a composição de 10 g de casca de arroz, 100 g de casca de batata inglesa e 60 g de borra de café expresso, sendo de 17,02 MJ/Kg e 15,67 MJ/Kg, respectivamente. No entanto este combustível sólido foi o segundo em resistência mecânica a compressão, que foi de 25 MPa, mas sendo suficiente para manuseio, armazenamento e transporte destes.

A incorporação de biomassa avança a produção de novos produtos a partir de descartes da agricultura ou de alimentos. Os combustíveis sólidos preparados tratam-se de geração descentralizada de energia, e de produção nacional, podendo ser usado, por exemplo, na secagem do café ou ainda em caldeiras para diversas finalidades. O uso de biomassas pode ser ambientalmente interessante considerando-se que o gás CO₂ gerado é absorvido pelas plantas durante a fotossíntese, mantendo constante a sua quantidade na atmosfera. Vantagens como estas fazem com que a biomassa seja uma opção estratégica para o país. De maneira geral, a biomassa assim empregada enquadra-se perfeitamente no conceito do desenvolvimento sustentável, pois permite a criação de empregos na região, dinamiza as atividades econômicas, reduz os custos relativos à distribuição e transmissão da energia gerada e, quando utilizada de forma sustentável, não agride o meio ambiente.

Os combustíveis sólidos preparados apresentaram resistência mecânica suficiente para serem transportados e armazenados. Para trabalhos futuros sugere-se estudar a constituição das cinzas tal como determinação de sílica, macro e micronutrientes dos biocombustíveis sólidos preparados e também estudos dos gases gerados no processo de combustão.

AGRADECIMENTOS

Aos restaurantes Vô João e Universitário Pedra Branca, localizados na praça de alimentação no campus Pedra Branca da Universidade do Sul de Santa Catarina. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – Fapesc pela concessão da bolsa de mestrado para o Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (UNISUL). Também aos mestrandos Adriano Andrade Rambo, Fernando Da Silva Osório, José Ricardo Tavares e

Márcio Zapicán Camargo Abella do PPGCA/UNISUL 2018 e a graduanda em Engenharia Química Karina Suldoovski Pilarski.

REFERÊNCIAS

AKKERMAN, Renzo; FARAHANI, Poorya; GRUNOW, Martin. Quality, safety and sustainability in food distribution: a review of quantitative operations management approaches and challenges. **OR Spectrum**, v. 32, p. 863-904, 2010.

ALMEIDA, Luciana Florêncio de; ZYLBERSZTAJN, Decio. Key success factors in the brazilian coffee agrichain: Present and future challenges. **International Journal on Food System Dynamics**, v. 8, n. 1, p. 217-222, 2017.

CAETANO, Nídia Sá; SILVA, Vania; MATA, Tereza. Valorization of coffee grounds for biodiesel production. **Chemical Engineering Transactions**, v. 26, p. 267-272, 2012.

CAETANO, Nidia Sá; SILVA, Vania; MATA, MELO, Ana Carolina; MATA, Tereza Maria. Potential of spent coffee grounds for biodiesel production and other applications. **Chemical Engineering Transactions**, v. 35, p. 1063-1068, 2014.

CAMPOS-VEGA, Racio; LOARCA-PINA, Guadalupe; VERGARA-CASTAÑEDA, Haydé; OOMAH, Dave. Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 24-36, 2015.

CHABADA, Lukas; DREYER, Heidi Carin; ROMSDAL, Anita; POWELL, Daryl John. Sustainable Food Supply Chains: Towards a Framework for Waste Identification. **International Federation for Information Processing**, v. 397, p. 208-215, 2013.

DIAS, Jose Manuel Cabral de Sousa; SOUZA, Daniela Tatiane de; BRAGA, Melissa; ESQUIAGOLA, Marcia Mitiko Onoyama; MIRANDA, Cesar Heraclides Behling; BARBOSA, Patricia Flavio Dias; ROCHA, Jose Dilcio. **Produção de briquetes e péletes de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2012.

ESQUIVEL, Patrícia; JIMÉNEZ, Victor. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food Research International**, v. 46, n. 2, p. 488-495, 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Save Food: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction**, 2013. Disponível em <http://www.fao.org/save-food/pt/>. Acesso em: 28 out. 2018.

FULLER, Malcolm. **The Encyclopedia of Farm Animal Nutrition**. CABI Publishing, Oxon UK, p. 111. 2004.

GARCÍA-GUTIÉRREZ, Nataly; MALDONADO-CELIS, Maria Elena; ROJAS-LÓPEZ, Mauricio; LOARCA-PIÑA, Guadalupe Flavia; CAMPOS-VEGA, Racio. The fermented non-digestible fraction of spent coffee grounds induces apoptosis in human colon cancer cells (SW480). **Journal of Functional Foods**, v. 30, p. 237-246, 2017.

GARNETT, Tara. Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in 747 the food system (including the food chain)? **Food Policy**, v. 36, p. 23-32, 2011.

GIROTTI, Francesca; ALIBARDI, Luca; COSSU, Raffaello. Food waste generation and industrial uses: A review. **Waste Management**, v. 45, p. 32-41, 2015.

GIROTTI, Francesca; PIVATO, Alberto; COSSU, Raffaello; NKENG, George Elambo; LAVAGNOLO, Maria Cristina. The broad spectrum of possibilities for spent coffee grounds valorisation. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, n. 1, p. 695-701, 2018.

HOOGE, Ilona; DULM, Everton; TRIJP, Hans. Cosmetic Specifications in the Food Waste Issue: Supply Chain Considerations and Practices Concerning Suboptimal Food Products. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 698-709, 2018.

HUSSAIN, Mubshar; FAROOQ, Muhammad; NAWAZ, Ahmad. Biochar for crop production: potential benefits and risks. **J. Soil. Sediments**, v. 17, p. 685-716, 2017.

ICO. International Coffee Organization, 2018. Disponível em: <http://www.ico.org/> Acesso em: 30 out. 2018.

JANISSEN, Brendan; HUYNH, Tien. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, p. 110-117, 2018.

JENKINS, Rhodri; STAGEMAN, Natasha; FORTUNE, Christopher; CHUCK, Christopher. Effect of the type

of bean, processing, and geographical location on the biodiesel produced from waste coffee grounds. **Energy & Fuels**, v. 28, n. 2, p. 1166-1174, 2014.

JEFFERY, Simon; ABALOS, Diego; PRODANA, Marija; BASTOS, Ana Catarina; van GROENIGEN, Jan Willem; HUNGATE, Bruce; VERHEIJEN, Frank. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. **Environ. Res. Lett.**, v. 12, 053001, 2017.

KANG, Sae Byul; OH, Hong Yuong; KIM, Jong Jin; CHOI, Kyu Sung. Characteristics of spent coffee ground as a fuel and combustion test in a small boiler (6.5 kW). **Renewable Energy**, v. 113, p. 1208-1214, 2017.

KARMEE, Sanjib Kumar. A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites. **Waste Management**, v. 72, p. 240-254, 2017.

KOURMENTZA, Constantina; ECONOMOU, Christina; TSAFRAKIDOU, Panagiota; KORNAROS, Michael. Spent coffee grounds make much more than waste: Exploring recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 980-992, 2018.

KOVALCIK, Adriana; OBRUCA, Stanislav; MAROVA, Ivana. Valorization of spent coffee grounds: A review. **Food and Bioproducts Processing**, v. 110, p. 104-119, 2018.

LIN, Carol Sze Ki; PFALTZGRAFF, Lucie; HERRERO-DAVILA, Lorenzo; MUBOFU, Egid; ABDERRAHIM, Solhy; CLARK, James; KOUTINAS, Nikolaos Kopsahelis; STAMATELATOU, Katerina; DICKSON, Fiona; THANKAPPAN, Samarthia; MOHAMED, Zahouily; BROCKLESBY, Robert; LUQUE, Rafael. Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective. **Energy & Environmental Science**, v. 6, n. 2, p. 426-464, 2013.

MATA, Tereza; MARTINS, Anetekhai; CAETANO, Nídia. Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 1077-1084, 2018.

MARTINEZ-SAEZ, Nuria; GARCÍA, Alba Tamargo; PÉREZ, Inés Domínguez; REBOLLO-HERNANZ, Miguel; MESÍAS, Marta; MORALES, Francisco; MARTÍN-CABREJAS, Maria; CASTILLO, Maria Dolores del. Use of spent

coffee grounds as food ingredient in bakery products. **Food Chemistry**, v. 216, p. 114-122, 2017.

MENEGHELLI, Caroline Merlo; MONACO, Paola Alfonsa Vieira Lo; HADDADE, Ismail Ramalho; MENEGHELLI, Lorena Aparecida Merlo; KRAUSE, Marcelo Rodrigo. Resíduo da secagem dos grãos de café como substrato alternativo em mudas de café Conilon. **Coffee Science**, v. 11, n. 3, p. 330-335, 2016.

MOHAN, Dinesh; ABHISHEK, Kumar; SARSWAT, Ankur; PATEL, Manvendra; SINGH, Prachi; PITTMAN, Charles. Biochar production and applications in soil fertility and carbon sequestration—a sustainable solution to crop-residue burning in India. **RSC. Adv.**, v. 8, p. 508-520, 2018.

MURTHY, Pushpa; NAIDU, Mandhava. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. **Resources, Conservation and Recycling**, 66, 45-58, 2012.

ONU. Organização das Nações Unidas, 2015. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu>). Acesso em: 30 out. 2018.

PAGE, Julio; ARRUDA, Neusa; FREITAS, Suely Pereira. Crude ethanolic extract from spent coffee grounds: Volatile and functional properties. **Waste Management**, v. 69, p. 463-469, 2017.

PANUSA, Alessia; ZUORRO, Antonio; LAVECCHIA, Roberto; MARROSU, Giancarlo; PETRUCCI, Rita. Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 17, p. 4162-4168, 2013.

PESHEV, Dimitar; MITEV, Dimitar; PEEVA, Ludmila; PEEV, Georgi. Valorization of spent coffee grounds—A new approach. **Separation and Purification Technology**, v. 192, p. 271-277, 2018.

PILUSA, Tsietsi; HUBERTS, Robert; MUZENDA, Edison. Emissions analysis from combustion of eco-fuel briquettes for domestic applications. **Journal of Energy in Southern Africa**, v. 24, n. 4, p. 30-36, 2013.

RIBEIRO, Helena; ALLEGRO, Margherita; MARTO, Joana; PEDRAS, Bruno; OLIVEIRA, Nuno; PAIVA, Alexandre;

BARREIROS, Susana; GONÇALVES, Lidia; SIMÕES, Pedro Miguel Calado. Converting Spent Coffee Grounds into Bioactive Extracts with Potential Skin Antiaging and Lightening Effects. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 6, n. 5, p. 6289–6295, 2018.

RODRIGUES, Francisca; NUNES, Maria Antónia da Mota; OLIVEIRA, Maria Beatriz Prior Pinto. **Applications of recovered bioactive compounds in cosmetics and other products. In Handbook of Coffee Processing By-Products: Sustainable Applications**, 2017.

SANTINATO, Felipe; TICLE, Rodrigo; SANTINATO, Roberto; FERNANDES, André Luis Teixeira. Redução da adubação mineral do cafeeiro Arábica com a utilização de palhas de café. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p.324-336, 2014.

SCHERHAUFER, Susan; MOATES, Guilherme; HARTIKAINEN, Hans; WALDRON, Keyla; OBERSTEINER, Geron. Environmental impacts of food waste in Europe. **Waste Management**, v. 77; p. 98–113, 2018.

SOARES, Guilherme; SOARES, Victor; SOARES, Sammy Fernandes; DONZELES, Sérgio Maurício Lopes; MORELI, Aldemar Polonini; ROCHA, Aledir; PREZOTTI, Luiz. Efeito da água residuária do café em plantas de milho. **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Águas de Lindóia**, São Paulo, 2007.

SOARES, Sammy Fernandes; DONZELES, Sérgio Maurício Lopes; DONZELES, Guilherme Fernandes Soares; MORELI, Aldemar Polonini. Utilização da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro em alface. **VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Vitória**, Espírito Santo, 2009.

THENEPALLI, Thriveni; RAMAKRISHNA, Ramakrishna; AHN, Ji-Whan. Environmental Effect of the Coffee Waste and Anti-Microbial Property of Oyster Shell Waste Treatment. v. 26, n. 2, p. 39-49, 2017.

THYBERG, Krista; TONJES, David. Drivers of food waste and their implications for sustainable policy development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 106. p. 110-123, 2016.

TUCKER, Catherine. **Coffee Culture: Local Experiences, Global Connections**. Taylor & Francis, 2011.

SINGH, Rishikesh; BABU, Nagendra; KUMAR, Rabindra; SRIVASTAVA, Pratap; SINGH, Pardeep; RAGHUBANSHI, Akhilesh Singh. Multifaceted application of crop residue biochar as a tool for sustainable agriculture: An ecological perspective. **Ecol. Eng.**, v. 77, p. 324-347, 2015.

VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, Kenia; MARTINEZ-SAEZ, Nuria; REBOLLO-HERNANZ, Miguel; DEL CASTILLO, Maria Dolores, GAYTÁN-MARTÍNEZ, Marcela; CAMPOS-VEGA, Rocio. In vitro health promoting properties of antioxidant dietary fiber extracted from spent coffee (Coffee arabica L.) grounds. **Food chemistry**, v. 261, p. 253-259, 2018.

ZHANG, Lu; SUN, Xiangyang. Using cow dung and spent coffee grounds to enhance the two-stage co-composting of green waste. **Bioresource technology**, v. 245, p. 152-161, 2017.

AUTORES

ORCID: 0000-0001-7306-7984

RACHEL FAVERZANI MAGNAGO, Dra. | Universidade do Sul de Santa Catarina | Pós-graduação em Ciências Ambientais | Palhoça, SC – Brasil | Correspondência para: Dunas da Joaquina, 273 – Rio Tavares, Florianópolis – SC, 88048424 | E-mail: rachel.magnago@unisul.br

ORCID: 0000-0003-0438-0736

GUILHERME DOMINGOS GARCIA | Universidade do Sul de Santa Catarina | Engenharia Química | Palhoça, SC – Brasil | Correspondência para: Av. Pedra Branca, 25 - Pedra Branca, Palhoça - SC, 88137-270 | E-mail: guigarcia0000@hotmail.com

ORCID: 0000-0003-4062-9922

DIEGO VALDEVINO MARQUES, Eng. | Universidade do Sul de Santa Catarina | Pós-graduação em Ciências Ambientais | Palhoça, SC – Brasil | Correspondência para: Av. Pedra Branca, 25 - Pedra Branca, Palhoça - SC, 88137-270 | E-mail: marques__diego@hotmail.com

ORCID: 0000-0001-9809-740X

IZOÉ DAILY PEDROSO, Arq. | Universidade do Sul de Santa Catarina | Pós-graduação em Ciências Ambientais | Palhoça, SC – Brasil | Correspondência para: Av. Pedra Branca, 25 - Pedra Branca, Palhoça - SC, 88137-270 | E-mail: izoe13@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9015-645X

KÊNIA ALEXANDRA COSTA HERMANN, Fis. | Universidade do Sul de Santa Catarina | Pós-graduação em Ciências Ambientais | Palhoça, SC – Brasil | Correspondência para: Av. Pedra Branca, 25 - Pedra Branca, Palhoça - SC, 88137-270 | E-mail: kenia.hermann@gmail.com

ORCID: 0000-0003-44337871

NATHAN ROBERTO LOHN PEREIRA, Qui. | Universidade do Sul de Santa Catarina | Pós-graduação em Ciências Ambientais | Palhoça, SC – Brasil | Correspondência para: Av. Pedra Branca, 25 - Pedra Branca, Palhoça - SC, 88137-270 | E-mail: lohnnathan@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0125-8671

SIMONE PERRONI MAZON, Bio. | Universidade do Sul de Santa Catarina | Pós-graduação em Ciências Ambientais | Palhoça, SC – Brasil | Correspondência para: Av. Pedra Branca, 25 - Pedra Branca, Palhoça - SC, 88137-270 | E-mail: simone.perroni5@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1775-1826

SUSANA CLAUDETE COSTA, Eng. Amb. | Universidade do Sul de Santa Catarina | Pós-graduação em Ciências Ambientais | Palhoça, SC – Brasil | Correspondência para: Av. Pedra Branca, 25 - Pedra Branca, Palhoça - SC, 88137-270 | E-mail: susanacostah@hotmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

MAGNAGO, Rachel Faverzani; GARCIA, Guilherme Domingos; MARQUES, Diego Valdevino; PEDROSO, Izoé Daysi; HERMANN, Kênia Alexandra Costa; PEREIRA, Nathan Roberto Lohn; MAZON, Simone Perroni; COSTA, Susana Claudete. Combustível Sólido a partir de Biomassa Residual de Borra de Café, Casca de Arroz e Casca de Batata. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 43-54, jun. 2019.** ISSN 24473073.. Disponível em:<<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n2.43-54>.

DATA DE ENVIO: 12/04/2019

DATA DE ACEITE: 16/04/2019
