

# PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR CO-DIGESTÃO UTILIZANDO UMA MISTURA DE DEJETOS BOVINOS E CASCA DE CAFÉ CONILON

## BIOGAS PRODUCTION BY CO-DIGESTION USING A MIXTURE OF COW MANURE AND CONILON COFFEE HUSKS



ISSN: 2447-5580

Lais Schimdt Albuquerque<sup>1</sup>; Jesuina Cássia Santiago de Araújo<sup>2</sup>

1 Graduada em Engenharia Química. UFES, 2016. Centro Universitário Norte do Espírito Santo - CEUNES. São Mateus, ES. E-mail: [laisschmidt@hotmail.com](mailto:laisschmidt@hotmail.com)

2 Doutora em Engenharia Química, UFSCAR, 2008. Professora Adjunta na UFES - Centro Universitário do Norte do Espírito Santo- São Mateus, ES. Email: [jesuina.araujo@ufes.br](mailto:jesuina.araujo@ufes.br)

Recebido em: 14/09/2016 - Aprovado em: 23/12/2016- Disponibilizado em: 23/12/2016

**RESUMO:** Energia é um dos fatores determinantes para o desenvolvimento social e econômico de uma região ou país. Questões socioeconômicas e ambientais como a escassez e o aumento crescente nos preços dos combustíveis fósseis sinalizam que a demanda energética mundial não poderá ser suprida apenas por fontes de origem fóssil. Neste cenário, o uso de biomassa residual com fins de reduzir o impacto ambiental e o “apagão energético” é determinante, uma vez que estrategicamente soluciona os problemas associados à demanda energética e à destinação adequada dos resíduos agroindustriais. Inúmeros processos têm sido usados na produção de energia a partir de biomassa residual, destacando-se a gaseificação, a pirólise e a biodigestão. Dentre estas rotas, a biodigestão tem se mostrado bastante promissora, uma vez que demanda menor quantidade de energia operacional quando comparada às demais. Diante dessa conjuntura, este estudo avaliou a produção de biogás, por meio do processo de biodigestão anaeróbia, utilizando resíduos agroindustriais disponíveis na região norte do Estado do Espírito Santo: casca de café conilon e dejetos bovinos. A caracterização da casca de café foi obtida pela determinação da granulometria, da análise imediata (teor de umidade, extrativos, cinzas, sólidos totais, sólidos voláteis) e da análise somativa (teor de lignina, teor de holocelulose), regidas pela norma estabelecida pela Embrapa para materiais lignocelulósicos. Para o dejetos bovinos considerou-se um teor de sólidos totais de 20%. Os resultados mostraram que o volume de biogás acumulado durante a codigestão das biomassas a 37 °C (3,3 mL de biogás /gST) foi três vezes maior que o processo realizado nas condições ambiente (1,1 mL de biogás /gST). Assim, concluiu-se que a casca de café conilon apresenta-se como uma biomassa em potencial para a produção de biogás, desde que o processo seja conduzido em condições mesofílicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomassa. Casca de café conilon. Dejetos bovinos. Digestão anaeróbica. Co-digestão. Biogás.

**ABSTRACT:** Energy is one of the determining factors for social and economic development for a region or country. Socioeconomic and environmental problems such as shortage and the increasing prices of fossil fuels shows that the global energy demand cannot be provide only by fossil fuels sources. In this scenario, the use of residual biomass with the purpose of reducing the environmental impact and the “energetic blackout” is crucial, since it can solve problems as energy demand and correct destination of agro-industrial waste. Several processes have been used in the energy production by residual biomass, as gasification, pyrolysis and digestion. Among these routes, the digestion has been very promising, since it needs less operating power compared to the others. Given this situation, this study evaluated the biogas production through the process of anaerobic digestion, using agro-industrial residues available in the north of Espírito Santo’s State: conilon coffee husks and bovine manure. The conilon coffee husks characterization was obtained by determining the particle size, the proximate analysis (moisture content, extractives, ash, total solids, volatile solids) and summative analysis (lignin content, holocelulose content), governed by the rule established by Embrapa for lignocellulosic materials. For bovine manure was used 20% by total solids. The results shows that the accumulated volume of biogas during the digestion process in 37 °C

(3,3 mL de biogás /gST) was three times higher than an ambient temperature(1,1 mL de biogás/gST). Therefore, we can say that coffee husks is a potential biomass for biogas production, since the process is conduct in mesophilic conditions.

**KEYWORDS:** Biomass. Conilon coffee husks. Cow dung. Anaerobic digestion. Co-digestion. Biogas.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de rotas tecnológicas para geração de energia, a partir de matérias-primas renováveis, tem se mostrado como o desafio estratégico para o século XXI. A necessidade de diversificação da matriz energética mundial se deve a iminente escassez das fontes não renováveis (petróleo, carvão mineral e gás), associadas ao aumento das exigências ambientais.

São inúmeras as fontes de energia renováveis, como por exemplo, energia solar, eólica, geotérmica, das ondas, das marés, da biomassa. A energia provinda da biomassa tem se revelado bastante promissora, uma vez que utiliza matérias-primas mais acessíveis e menos poluentes. Além disso, esse novo modelo proporciona a agregação de valor econômico às cadeias do agronegócio.

O Brasil, por ser um país que se destaca nas atividades agropecuárias e agroindustriais, apresenta grande potencial na produção de energia por meio da biomassa residual (JUNIOR; AMORIM, 2005).

Dentre os diversos resíduos disponíveis, os lignocelulósicos tem recebido lugar de destaque. Segundo estimativas do IBGE (2010), a cafeicultura gerou aproximadamente 2,7 milhões de toneladas de casca e pergaminho. O Estado do Espírito Santo contribuiu com 21 % do total produzido.

Assim, a substituição das fontes de energia convencionais pode ser feita mediante a valorização dos resíduos oriundos das cadeias agroindustriais, que a partir da decomposição da matéria orgânica residual geram volumes significativos de biogás (PEREIRA, 2013).

O biogás é definido como uma mistura gasosa constituída basicamente de metano e dióxido de carbono. Das rotas convencionais de produção de biogás cita-se a compostagem, a vermicompostagem e a digestão anaeróbia, que relacionam os aspectos de saneamento e de energia e incentivam a reciclagem orgânica e de nutrientes (JUNIOR; AMORIM, 2005).

A digestão anaeróbia é a que mais se destaca na eficiência do tratamento de resíduos, uma vez que proporciona a redução da poluição e a valorização dos subprodutos gerados (PEREIRA, 2013).

Neste contexto, a co-digestão tem recebido considerável atenção, pelo fato de ser um processo dedecomposição simultânea de dois ou mais substratos orgânicos. É vista como uma opção de melhoramento da digestão anaeróbia, pois a associação de resíduos orgânicos com diferentes cargas de microrganismos pode proporcionar melhores condições para a produção de biogás, devido ao sinergismo positivo estabelecido durante a digestão, uma vez que podem ser fornecidos nutrientes em falta (SUZUKI, 2012).

Economicamente, a co-digestão pode ser uma alternativa viável quando a quantidade de resíduo produzido individualmente não é suficiente para viabilizar a construção de um sistema de digestão anaeróbia (CARNEIRO, 2009).

O biogás gerado por meio das três rotas tem sido utilizado como combustível em diversos equipamentos de conversão energética, tais como: no motor-gerador (usado na produção de calor e eletricidade), nas caldeiras (para geração de vapor d'água) e nas atividades agropecuárias como aquecimento,

refrigeração, misturadores de rações, iluminação, geração de energia, etc (PIRES, 2009).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi estudar a co-digestão de resíduos agropecuários, provenientes das atividades de cafeicultura (casca de café) e bovinocultura (dejeito bovino) e avaliar o potencial energético dessas biomassas na produção de biogás.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Análise e Apoio do Centro Universitário Norte do Espírito Santo – CEUNES. A amostra de casca de café *conilon* foi cedida por um produtor rural do Município de São Mateus.

Para melhor desenvolvimento do trabalho, a metodologia foi dividida em três partes: o pré - tratamento dos resíduos; a caracterização da casca de café; e por fim, os experimentos de biodigestão.

No pré - tratamento foi realizada a desaglomeração mecânica da casca de café *conilon* pelo processo de moagem, bem como a diluição dos dejetos bovinos em água.

Os ensaios de caracterização foram realizados com fins de se avaliar a biomassa mediante a determinação da propriedade física (granulometria), da análise imediata (teor de umidade, extrativos, cinzas, sólidos totais, sólidos voláteis) e da análise somativa (teor de lignina, holocelulose). Todos os ensaios foram realizados em triplicata, seguindo as normas estabelecidas pela Embrapa para análise de materiais lignocelulósicos (Embrapa, 2010).

A partir da caracterização dos resíduos sólidos foi possível determinar parâmetros essenciais para definir as condições iniciais do processo de biodigestão, tais como a determinação da umidade e dos sólidos totais.

Para os experimentos de biodigestão, foram avaliados os processos em que as biomassas são decompostas

separadamente, bem como os que ocorrem por codigestão, utilizando uma mistura de casca de café e dejeito bovino na proporção de 1:1. Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente e mesofílica (37 °C).

### 2.1 PRÉ-TRATAMENTO

O resíduo da casca de café foi submetido ao processo de moagem em um Oster 4093 Classic Beehive Blender, de forma a uniformizar a granulometria das partículas e minimizar o tamanho ao máximo. O tempo de moagem foi de aproximadamente 5 minutos.

Os dejetos bovinos foram diluídos em água e mantidos por 2 dias nas condições ambiente antes do início dos experimentos, com fins de pré-fermentação dos inóculos.

### 2.2 ANÁLISE IMEDIATA

#### UMIDADE

O teor de umidade foi obtido pelo método gravimétrico. Uma amostra contendo 6,0000 g de resíduo previamente pesado foi mantido em estufa a  $105 \pm 2$  °C, até atingir peso constante. O teor de umidade foi calculado a partir da Eq. 1:

$$TU\% = \frac{((MAU+MR)-MRAS)}{MAU} \times 100\% \quad (1)$$

onde: TU% = Teor de umidade da amostra [%], MAU = Massa da amostra úmida [g], MRAS = Massa da amostra seca mais recipiente [g], MR = Massa do recipiente [g].

#### EXTRATIVOS

A determinação dos extrativos foi realizada via extração por solvente, utilizando um extrator Soxhlet. Neste experimento, 5,3000 gramas da amostra seca foram transferidas para num envelope de papel filtro e inserida no extrator Soxhlet.

Em um balão de vidro, foram adicionados 200 mL de uma mistura de álcool etílico com tolueno na proporção de 1:1. O conjunto balão-extrator foi transferido para uma manta aquecedora e conectado a um condensador. O tempo da extração foi de aproximadamente cinco horas, a partir do primeiro refluxo.

Após esse período, o sistema foi resfriado até atingir a temperatura ambiente. A amostra foi removida do envelope de papel filtro e levado à estufa à  $105 \pm 2$  °C até atingir peso constante. O teor de extrativos foi determinado pela Eq. 2:

$$TE\% = (MAS - (MRRS - MF)) \times 100\% \quad (2)$$

Onde: TE%= Teor de extrativos [%], MRRS= Massa da amostra mais funil após procedimento [g], MF= Massa do funil seco [g], MAS= Massa da amostra sem umidade [g].

A correção do teor de extrativos (TE%) obtido pela Eq. 2 foi realizada mediante a utilização da Eq.3:

$$TE\% \text{ corrigido} = \frac{TE\% \times (100 - TU\%)}{100} \quad (3)$$

Onde: TE% corrigido = Teor de extrativos corrigido [%], TE% = Teor de extrativos [%], TU%= Teor de umidade da amostra [%].

## TEOR DE CINZAS

Para a determinação do teor de cinzas foram utilizados 2,0000 g de amostras de casca de café. O experimento foi conduzido em mufla a 600 °C, a uma taxa de aquecimento de  $9,6$  °C.min<sup>-1</sup> e tempo de permanência de 3 horas. Durante o procedimento foram utilizados cadinhos previamente calcinados a 600 °C por 30 minutos, resfriados e pesados. Após calcinação, o conjunto (cadinho + amostra) foi removido da mufla e transferido para um dessecador até que a temperatura ambiente fosse atingida. O teor de cinzas foi determinado pela Eq. 4:

$$TC\% = \frac{MRAC - MR}{MA} \times 100\% \quad (4)$$

Onde: TC%=Teor de cinzas [%], MRAC= Massa da amostra mais recipiente após calcinação [g], MR= Massa do recipiente [g], MA= Massa da amostra seca [g].

O valor obtido para o teor de cinzas se refere à massa da amostra seca e sem extrativos, logo se faz necessário realizar uma correção no valor obtido, utilizando-se a Eq. 5:

$$TC\% \text{ corrigido} = \frac{TC\% \times (100 - (TE\% - TU\%))}{100} \quad (5)$$

Onde: TC%=Teor de cinzas [%], TE% = Teor de extrativos [%], TU%= Teor de umidade da amostra [%].

## SÓLIDOS TOTAIS

O teor de sólidos totais foi obtido mediante a Eq.6:

$$TS\% = 100 - TU\% \quad (6)$$

Onde: TS% =Teor de sólidos totais [%], TU%= Teor de umidade [%].

## SÓLIDOS VOLÁTEIS

Uma vez determinado o teor de cinzas e de sólidos totais, foi determinado o teor de sólidos voláteis pela aplicação da Eq. 7:

$$TSV\% = TS\% - TC\% \text{ corrigido} \quad (7)$$

Onde: TSV%= Teor de sólidos voláteis [%], TS% = Teor de sólidos totais [%], TC% corrigido =Teor de cinzas corrigido [%].

## 2.3 ANÁLISE SOMATIVA

### LIGNINA (MÉTODO DE KLASON)

O teor de lignina presente na casca do café *conilon* foi obtido pesando-se 1,0000 g da amostra seca e sem extrativos.

O procedimento se deu mediante a digestão da amostra com 17,0 mL de ácido sulfúrico 72% (m/m) sob agitação, por 15 minutos. Após a solubilização da

casca de café, o sistema foi mantido nas condições ácidas por 24 horas.

Neste intervalo, um funil de vidro sinterizados (ASTM número 4) foi lavado e seco em uma estufa a  $105 \pm 2$  °C por 2 horas. Após esse período, o funil limpo foi mantido em um dessecador até o momento de sua utilização.

Após o tempo de digestão, adicionou-se 306 mL de água destilada à amostra contendo ácido, de modo adiluir o ácido sulfúrico a 4% (v/v). O conteúdo foi transferido para um balão volumétrico de 1000 mL, sendo mantido sob refluxo por 4 horas, contadas a partir do início da fervura.

Ao terminar o tempo de refluxo, o sistema foi resfriado até atingir a temperatura ambiente, sendo posteriormente filtrado. O precipitado coletado no funil (limpo e previamente pesado) foi lavado com água destilada até se atingir um pH de solução igual a 7,0.

Em seguida, o funil contendo o precipitado foi mantido em uma estufa a  $105 \pm 2$  °C, até se obter peso constante.

A determinação do teor de lignina foi realizada pela Eq.8:

$$TLI\% = \left( \frac{MFL - MF}{MA} \times 100\% \right) - TC\% \quad (8)$$

Onde: MF= Massa do funil limpo e seco [g], MA= Massa da amostra [g], TC%= Teor de cinza [%], MFL= Massa do funil somada a massa de lignina, após a secagem em estufa [g], TLI%= Teor de lignina insolúvel [%].

A correção do teor de lignina (TLI% corrigido) foi obtida a partir da Eq.9:

$$TLI\% \text{ corrigido} = \frac{TLI\% \times (100 - (TE\% + TU\%))}{100} \quad (9)$$

## HOLOCELULOSE

A técnica empregada na determinação da holocelulose consiste na oxidação da lignina em um meio ácido, principalmente a oxidação por cloro,

proveniente da reação entre clorito de sódio e ácido acético a quente.

Primeiramente, um funil de vidro sinterizado com placa porosa de número 1 foi lavado e seco em uma estufa a  $105 \pm 2$  °C por 2 horas. Em seguida, o funil foi mantido em um dessecador até o momento de ser utilizado.

Na sequência, transferiu-se 3,0000 g do material vegetal seco e sem extrativos para um erlenmeyer de 500 mL contendo 120 mL de água destilada. O recipiente foi colocado em banho maria com temperatura constante em torno de 70 °C. Em seguida, foram adicionados 2,5 g de clorito de sódio ( $\text{NaClO}_2$ ) com pureza aproximada de 80% e 1 mL de ácido acético glacial (pureza  $\geq 99,85\%$ ). O sistema (erlenmeyer + amostra + reagentes) foi mantido a 70 °C, sob agitação constante, por 1 hora. Após esse período, realizou-se uma nova adição de 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético, sob as mesmas condições de temperatura e tempo. Na sequência, adicionou-se mais uma vez 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético, mantendo-se o aquecimento a 70 °C por 3 horas. Durante o aquecimento, notou-se a elevação de cloro devido a formação de um gás amarelo-esverdeado dentro do erlenmeyer.

No final das 5 horas de aquecimento, o recipiente foi colocado banho de gelo por 30 minutos. Uma vez resfriado, o líquido foi filtrado com o auxílio do funil de vidro sinterizado nº 1 (limpo, seco e previamente pesado).

O precipitado obtido foi lavado com água destilada até que o filtrado resultante tivesse pH próximo ao da água. Em seguida, o filtrado foi lavado com 20 mL de acetona e novamente lavado com água destilada.

Ao final do processo de filtração, o funil contendo o precipitado (holocelulose) foi seco em uma estufa a  $105 \pm 2$  °C até atingir um peso constante.

O teor de holocelulose foi calculado pela Eq. 10:

$$TH\% = \frac{MFH - MF}{MA} \times 100\% \quad (10)$$

Em que: MF= Massa do funil seco [g], MA= Massa da amostra [g], MFH= Massa do funil mais massa de holocelulose após secagem na estufa [g], TH% = teor de holocelulose [%].

O teor de holocelulose da amostra seca e sem extrativos foi obtido mediante a Eq. 11:

$$TH\% \text{ corrigido} = \frac{TH\% \times (100 - (TE\% + TU\%))}{100} \quad (11)$$

## 2.4 ENSAIOS DE BIODIGESTÃO E QUANTIFICAÇÃO DO BIOGÁS

Foram realizados ensaios de modo a se definir as condições iniciais e os parâmetros que exercem maior influência na quantidade de biogás produzido. Assim, foram realizados quatro experimentos, apresentando as seguintes condições:

1. Cascas de café, dejetos de bovinos e água - com controle de temperatura;
2. Cascas de café, dejetos de bovinos e água - sem controle de temperatura;
3. Casca de café e água - sem controle de temperatura;
4. Dejetos bovinos e água - sem controle de temperatura.

As quantidades de resíduos e de água utilizados nos experimentos foram definidas a partir das Eq. 12 a 15, considerando um teor de sólidos totais no interior do biodigestor igual a 8% (MICALLI JUNIOR *et al.*, 2009):

$$Es = \frac{(K \cdot W)}{100} \quad (12)$$

$$Es = Esc + Esb \quad (13)$$

$$Eu = \left( \frac{Es}{St} \right) * 100 \quad (14)$$

$$A = W - Eu \quad (15)$$

Onde: W= Massa do substrato que será adicionado no biodigestor, Es= Massa seca de dejetos que deverá ser

adicionado em W, Esb = Massa seca de dejetos bovinos que deverá ser adicionado em W, Esc = Massa seca de casca de café que deverá ser adicionado em W, K = Percentagem de sólidos totais que se pretende colocar em W, ST = Percentagem de sólidos totais contidos no dejetos fresco, Eu= Massa de dejetos fresco para se obter W, A= Massa da água que deve ser misturado com Eu para se obter W.

Assim, considerando uma porcentagem total de sólidos no biodigestor (K) de 8%, indicada por MICALLI JUNIOR *et al.* (2009) e utilizando uma massa total no biodigestor (W) de 125g, obtém-se a quantidade de dejetos seco que se deve acrescentar no biodigestor pela Equação 12:

$$Es = 10 \text{ g}$$

### Experimento 1

Considerando porcentagem de 1:1 de dejetos bovinos e cascas de café, ou seja, Esc=5g e Esb=5g, porcentagem de sólidos totais nos dejetos bovinos de 20% (JUNIOR; AMORIM, 2005), porcentagem de sólidos totais na casca de café de 80% (SILVA, 2012) e utilizando as Eq. 12 a 15 foram calculadas as massas de água, casca de café e dejetos necessários para atingir teor de sólidos totais no reator de 8%. Os experimentos foram realizados a temperatura ambiente, em torno de 25°C. Os resultados estão sumarizados na Tabela 1.

### Experimento 2

As quantidades de dejetos bovino, casca de café e água foram semelhantes aos calculados no experimento 1. Assim, de modo a diferenciar o experimento 1 e 2, foi proposto a alteração de um parâmetro experimental, a temperatura. Logo, o reator do experimento 1 foi mantido a 37 °C ao longo dos dias de biodigestão, enquanto os reatores 2, 3 e 4 foram mantidos na temperatura ambiente.

### Experimento 3

Foram realizados utilizando apenas água e cascas de café, então Esc=10g e Esb=0g. As considerações de umidade foram as mesmas do experimento 1. Assim, a partir das Eq. 12 a 15, obtiveram-se as massas sumarizadas na Tabela 1. Os experimentos foram realizados a temperatura ambiente, em torno de 25°C.

#### Experimento 4

Foram realizados utilizando apenas água e dejetos bovinos, então Esb=10g e Esc=0g. As considerações de umidade foram as mesmas do experimento 1. Assim, mediante as Eq. 12 a 15 foram obtidas as massas de água e dejetos para o referido experimento. Os dados obtidos estão sumarizados na Tabela 1. Os experimentos foram realizados a temperatura ambiente, em torno de 25°C.

**Tabela 1**

Massa de resíduos utilizada em cada experimento.

Experimento	Casca de café (g)	Dejetos bovinos (g)	Água (g)
1	25,0880	6,2506	93,8544
2	25,0161	6,2496	93,8038
3	-	50,4427	75,3112
4	12,5413	-	111,3276

O aparato experimental utilizado nesse trabalho foi constituído de kitassato de 250 mL, tampo de borracha, mangueira, válvula tipo agulha, termômetro, chapa de aquecimento com agitação, banho de silicone. A Fig.1 mostra os reatores de biodigestão anaeróbia com seus respectivos resíduos.



**Figura 1:** Experimento 1 à esquerda e experimentos 2, 3 e 4 à direita.

Semanalmente, foram realizadas medições da produção de biogás. O volume de biogás produzido foi quantificado através de um manômetro do tipo tubo em U, com diâmetro conhecido, por meio do deslocamento da coluna de água (h):

$$V = \pi R^2 h \quad (16)$$

Onde: V = Volume de biogás produzido [mL], R = Raio da mangueira [cm], h= Altura média pelo deslocamento [cm].

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 PRÉ TRATAMENTO

O resíduo da casca de café *conilon* apresentou uma granulometria finamente dividida após o processo de moagem, conforme mostrado na Fig. 2B. O diâmetro médio de Sauter obtido para a amostra foi de 0,00451mm.



**Figura 2:** Casca de café antes (A) e depois da moagem (B).

Segundo Alvira *et al.* (2010) o objetivo de qualquer pré-tratamento aplicado em resíduos lignocelulósicos é de alterar ou remover impedimentos estruturais que dificultem a hidrólise biológica.

Estudo realizados por Elvira *et al.* (2006) revelaram que o pré-tratamento de resíduos lignocelulósicos melhoram a acessibilidade das bactérias anaeróbias aos substratos e aceleram o processo de digestão. Adicionalmente, o pré-tratamento aumenta a solubilidade dos sólidos presentes, elevando o grau de

degradabilidade dos substratos e reduzindo os resíduos a serem eliminados.

Para produção de biogás o pré-tratamento da casca de café, por meio do processo de moagem, teve por objetivo diminuir o tamanho e a cristalinidade da partícula do resíduo, bem como aumentar a área superficial disponível para os microrganismos. Estes fatores aceleram a etapa da hidrólise, na maioria dos casos em 5 a 25 %, variando de acordo com o tipo e a duração da moagem, reduzindo o tempo de digestão em uma faixa de 23 a 59% (HENDRIKSet *al.*, 2009).

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA CASCA DE CAFÉ

### 3.2.1 TEOR DE UMIDADE

Na Tabela 2 estão apresentados os teores de umidade (%) da amostra de casca de café *conilon* selecionada para este estudo, bem como os teores de umidade obtidos por outros autores.

**Tabela 2**

Teor de umidade (TU%) de diferentes amostras de casca do café *in natura*.

Amostras	TU (%)	Referência
Casca do café <i>in natura</i>	10,0	Oliveira, F. C., (2015)
Casca do café <i>in natura</i>	11-12	EMBRAPA, (2010)
Casca do café <i>in natura</i>	10,0	Silva, J. P., (2012)
Casca do café <i>in natura</i>	11,4	Saegneret <i>al.</i> (2010)
<b>Casca do café</b>	<b>12,39</b>	<b>Neste estudo</b>

Conforme observado, o teor de umidade obtido para a casca de café *conilon* foi de 12,39  $\pm$  0,02 %. Este resultado está de acordo com o observado por Saegneret *al.* (2010) e pela Embrapa (2010), que identificaram teores de umidade na faixa de 11-12 %.

O teor de umidade exerce influência em algumas propriedades importantes, como o Poder Calorífico Inferior (PCI), uma vez que este é inversamente proporcional à umidade. Pode-se citar também a condutividade térmica como dependente da umidade (VIEIRA, 2012).

Segundo Leite (2013), proporções elevadas de umidade, cinzas e nitrogênio contribuem para reduzir o valor calórico do carvão vegetal. Além de dificultar o processo de combustão ou até mesmo impossibilitar o processo de ignição.

### 3.2.2 TEOR DE EXTRATIVOS

O teor de extrativos obtido pela Eq.3 foi de 26  $\pm$  5 %. O valor encontra-se dentro da média aceitável pela ANVISA, um valor mínimo de 25%.

Os extrativos são considerados um grupo de menor expressão, sendo constituídos majoritariamente por substâncias aromáticas, alifáticas nitrogenadas, glicosídeos, terpenos, carboidratos e esteróides. Este grupo é responsável pelo cheiro, cor e resistência natural ao apodrecimento.

### 3.2.3 TEOR DE CINZAS

Os teores de cinzas de diversas amostras de casca de café estão sumarizados na Tabela 3. Observa-se que o teor de cinzas da amostra utilizada neste estudo foi de 6,9  $\pm$  0,6 %.

**Tabela 3**

Teor de cinzas (TC%) de diferentes amostras de casca do café *in natura*.

Materiais	TC (%)	Referência
Casca do café	6,5-7,8	Baggio J., (2006)
Casca do café	11,48	Kivaisi A.K., (2002)
Casca do café	0,34	Silva J. P., (2012)
Casca do café	4,0	Saegneret <i>al.</i> , (2010)
<b>Casca do café</b>	<b>7,30</b>	<b>Neste estudo</b>

De acordo com Baggio (2006), o teor de cinzas da casca do café deve ficar em torno de 6,5% a 7,8%. Porém, esse valor pode variar conforme observado na Tabela 3.

As cinzas são constituídas de compostos de silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca),



fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe), (VALE *et al.*, 2007).

Teores de cinzas elevados não são atrativos, visto que os mesmos afetam a hidrólise ácida, aumentando o consumo de ácidos. Adicionalmente, altos teores de cinzas podem inibir a hidrólise enzimática, uma vez que os cátions presentes nas cinzas podem migrar para a solução e afetar a atividade da celulose, etapa conhecida como limitante no processo de biodigestão (BIN, 2010).

### 3.2.4 TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS E SÓLIDOS VOLÁTEIS

Os teores de sólidos totais e de sólidos voláteis obtidos pelas Eq. 6 e 7 foram de  $87,61 \pm 0,02 \%$  e  $80,7 \pm 0,7 \%$ , respectivamente.

A partir desses valores, podemos concluir que a biomassa em análise apresentou um maior percentual de voláteis do que o valor obtido por Orsini (2012) que foi de 78,4%.

O teor de voláteis está ligado diretamente com o poder calorífico superior, visto que o material volátil interfere na ignição. Segundo Viera (2012), quanto maior o teor de voláteis maior a reatividade e, conseqüentemente a ignição. Ou seja, quanto maior o valor de voláteis, maior a facilidade de queima da biomassa.

### 3.2.5 TEOR DE LIGNINA

Com auxílio das Eq. 8 e 9, a lignina presente na amostra foi calculada, obtendo-se um teor de  $19 \pm 5 \%$ .

O teor de lignina obtido foi menor que os disponíveis na literatura, que encontram-se em torno de 25% (VIEIRA, 2012) e 36% (Embrapa, 2011). Isto pode ser explicado pelo fato de uma amostra ter apresentado teor de lignina de 13,87 %, que resultou numa redução do valor médio calculado.

A pequena quantidade de lignina presente se torna favorável para utilização da casca do café no processo

de digestão anaeróbia, uma vez que torna mais fácil o ataque microbiológico da estrutura que necessita ser degradada.

### 3.2.6 TEOR DE HOLOCELULOSE

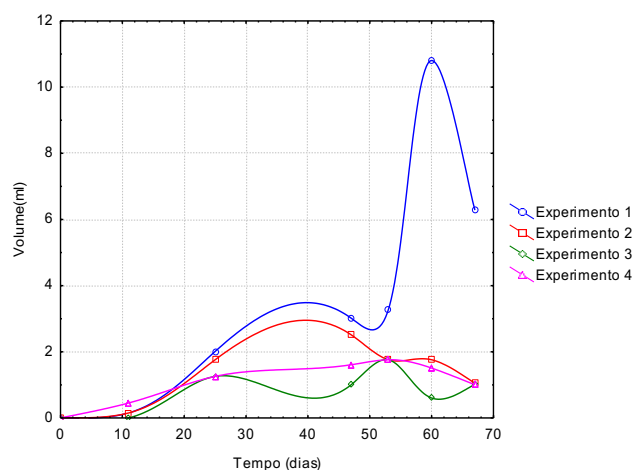
Com o auxílio das Eq. 10 e 11 o teor de holocelulose encontrado foi de  $24 \pm 4 \%$ .

Os valores obtidos para o teor de holocelulose, considerando o desvio padrão, estão próximos aos valores médios encontrados na literatura, como por exemplo, o valor obtido por Andrade (2009) que apresentou um valor de 32,15 %. O teor de holocelulose indica o grau de facilidade de degradação da parede celular da casca do café, resultando em maior ou menor volume de gás produzido.

### 3.3 BIODIGESTÃO E QUANTIFICAÇÃO DO BIOGÁS

Os experimentos foram monitorados por 67 dias sendo que a quantidade de gás produzido foi obtida pelo deslocamento da coluna de água.

A Fig.3 apresenta o comportamento de cada experimento, bem como o volume de biogás produzido ao longo dos dois meses.



**Figura 3:** Volume de biogás produzido versus tempo.

Ao analisar a Fig.3, pode-se observar que a associação dos resíduos teve resultado positivo no processo de decomposição da matéria orgânica, uma

vez que a produção de biogás na co-digestão foi maior quando comparado aos resíduos digeridos separadamente, apesar do teor de sólidos totais em todos os biorreatores serem de 8%.

Ao avaliar o experimento 1 e 2 na Fig.3, nota-se uma influência considerável da temperatura, visto que no experimento 1, o controle e manutenção da temperatura em condições mesofílicas (37 °C) resultou num volume acumulado de biogás produzido de 25,5 mL, quase três vezes mais que o volume acumulado no experimento 2 (8,9mL). Assim, pode-se concluir que o controle da temperatura é determinante para que se obtenha elevados volumes de biogás.

Adicionalmente, em ambos os processos de co-digestão de resíduos(experimentos 1 e 2), pode-se notar um pico de produção de biogás entre 36 e 40 dias. A partir desta observação, pode-se dizer que neste intervalo foi atingida a etapa da metanogênese durante o processo de digestão anaeróbia. Sendo esse o tempo ideal para os resíduos ficarem no biodigestor.

#### 4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados de caracterização apresentados, observou-se que a casca de café conilon apresenta potencial como biomassa para gerar energia, isto devido ao fato de apresentar baixa umidade (12,39%), alto teor de voláteis (80,73%), baixo teor de lignina (19%) e holocelulose (24%), condições favoráveis para o processo de biodigestão anaeróbica.

Entretanto, atenção especial deve ser dada ao teor de cinzas, que apresentou um valor acima do indicado para esse processo, aproximadamente 7%. Provavelmente, o elevado teor de cinzas foi responsável pela baixa produtividade de biogás no experimento 3.

O teor de holocelulose obtido foi menor do que o esperado (24,43%), porém isso se torna um fator

positivo, visto que a pequena quantidade de holocelulose proporciona degradação da parede celular da casca do café mais facilmente. Os demais parâmetros estão condizentes com os disponíveis na literatura.

Em relação ao experimento de biodigestão, foi concluído que a utilização da casca do café em associação com dejetos bovinos apresenta caráter positivo para a maior produção de biogás. Verificou-se a influência da temperatura, uma vez que o experimento com controle de temperatura apresentou melhores resultados.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIRA, P.; PEJÓ, E.T.; BALLESTEROS, M.; NEGRO, M.J. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 4851-4861, 2010.

ANDRADE, A. P. S.; *Análise química e avaliação do potencial alelopático da casca do café (Coffea arábica)*, Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2009.

BAGGIO, J. *Avaliação dos resíduos (casca e pó orgânico) de café (coffe arábica L.) como provável fonte de substâncias bioativas*, Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

BIN, Y.; HONGZHANG, C.; Effect of the ash on enzymatic hydrolysis of steam-explodes rice straw, *Bioresource Technology*, v. 101, p. 9114-9119, 2010.

CARNEIRO, D. S. C.; *Viabilidade técnica e econômica de uma unidade centralizada de co-digestão anaeróbia de resíduos orgânicos*. Dissertação

- (mestrado em Engenharia do Ambiente), Universidade do Porto. 2009.
- ELVIRA, S.I.P., DIEZ, P.N., FDZ-POLANCO, F. Sludgeminimisation technologies. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 5, p. 375-398, 2006.
- EMBRAPA. Procedimentos para análise lignocelulósica, 1ª Edição, Campina Grande, 2010. ISSN 0103-0205.
- HENDRIKS, A. T. W. M.; ZEEMAN, G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, v. 100, p.10-18, 2009.
- IBGE. Produção agrícola municipal 2010. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/default.shtm>>. Acesso em: 20 nov. 2011.
- LUCAS JR., J.; AMORIM, A.C. *Manejo de dejetos: fundamentos para a integração e agregação de valor*. Anais do ZOOTEC'2005 - 24 a 27 de maio de 2005 - Campo Grande-MS.
- KIVAIISI, A.K. Pretreatment of robusta coffee hulls and co-digestion with cow-dung. *Tanzania Journal of Science*. v. 28 (2), p. 1-10, 2002.
- LEITE, E. R. da S.; *Madeira e carvão de coffea arábica L.: Caracterização para o uso energético*, Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- MICALLI JUNIOR, J. R.; GALBIATTI, J. A.; PEREZ, H. L.; RAGAZZI, M.F.; GALBIATTI, R.; *Produção de biogás a partir de dejetos de ruminantes e monogástricos com e sem inoculo*, 2009.
- OLIVEIRA, F. C. *Oxidação de lignina provenientes de resíduos lignocelulósicos agroindustriais para obtenção de compostos químicos aromáticos de maior valor agregado*. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial) – Escola de Engenharia de Lorena Universidade de São Paulo, Lorena, 2015.
- ORSINI, R. R. *Estudo do aproveitamento do resíduo da lavoura cafeeira como fonte de biomassa da produção de hidrogênio*, Tese (Doutorado em Ciências – Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2012.
- PEREIRA, A. I. C.; *Co-digestão anaeróbia de resíduos verdes e lamas de ETAR para produção de biogás*. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia), Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- PIRES, A. F. F. E.; *Contribuição para o estudo de avaliação do desempenho de um sistema de estabilização anaeróbia e utilização do gás produzido*. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Universidade Nova de Lisboa, 2009.
- SAEGNER, M.; HARTGE, U., E.; WERTHER, J.; OGADA, T.; SIAGI, Z.; Combustion of coffee husks. *Renewable Energy*, v. 23, n.1, p. 103-121, 2000.
- SILVA, J. P.; *Caracterização da casca de café (coffea arábica, l) in natura, e de seus produtos obtidos pelo processo de pirólise em reator mecanicamente agitado*. Dissertação (Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica), Universidade Estadual de Campinas, 2012.
- SUZUKI, A. B. P.; *Geração de biogás utilizando cama de aviário e manipueira*. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.
- VALE, A. T.; GENTIL, L.V.; GOLÇALEZ, J. C.; COSTA, A. F.; *Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (coffe arábica, L) e de madeira (cedrelingacatenaeformis)*, *Cerne*, v. 13, n. 4, p. 416-420, 2007.
- VIEIRA, A. C.; *Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas*, Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.