

**NOTA TÉCNICA:****CAMA DE FRANGO E RESÍDUO MOVELEIRO: ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA A ZONA DA MATA MINEIRA**

Felipe Santos Dalólio¹, Jadir Nogueira da Silva², Fernando da Costa Baêta³, Ilda de Fátima Ferreira Tinôco⁴ & Angélica Cássia de Oliveira Carneiro⁵

1 - Zootecnista, Doutorando em Engenharia Agrícola, DEA/UFV, Viçosa – MG; felipe.dalolio@ufv.br

2 - Bacharel em Matemática, Professor Titular do Departamento de Engenharia Agrícola, DEA/UFV, Viçosa – MG; jadir@ufv.br

3 - Engenheiro Agrônomo, Professor Titular do Departamento de Engenharia Agrícola, DEA/UFV, Viçosa – MG; baeta@ufv.br

4 - Engenheira Agrícola, Professora Titular do Departamento de Engenharia Agrícola, DEA/UFV, Viçosa – MG; iftinoco@ufv.br

5 - Engenheira Florestal, Professora Associada do Departamento de Engenharia Florestal, DEF/UFV, Viçosa – MG; cassiacarneiro1@gmail.com

Palavras-chave:

biomassa
briquetes
energia renovável
pellets
sustentabilidade

RESUMO

Objetivou-se discutir as possibilidades de utilização da cama de frango e do resíduo moveleiro do Polo de Ubá, associados ou não, e propor alternativas energéticas sustentáveis para a região da Zona da Mata Mineira. Para tal, foi feito um levantamento da quantidade de resíduos produzidos por essas atividades e extrapolação descritiva do potencial energético baseado em literaturas publicadas. Estimou-se que o volume de cama de frango gerado foi de 78.624 ton/ano. Já o Polo moveleiro de Ubá produz em média 480 ton/ano. Estes resíduos são dispostos no meio ambiente de forma aleatória, sendo caracterizados como passivos ambientais. Em virtude das características de composição da cama de frango e do resíduo moveleiro e da necessidade de se produzir de maneira sustentável pode-se adotar estas biomassas como alternativas energéticas locais para geração de energia descentralizada. Isto pode ocorrer através da produção de briquetes e de pellets mistos e nos seus diversos processos de aproveitamento (combustão, gaseificação, co-geração) em alguns setores produtivos da região. No entanto, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos futuros para avaliar a emissão dos poluentes atmosféricos nocivos que possam vir a ser gerados durante seu aproveitamento energético.

Keywords:

biomass
briquettes
renewable energy
pellets
sustainability

POULTRY LITTER AND LUMBER WASTE: ENERGETIC ALTERNATIVE FOR THE REGION OF MATA MINEIRA**ABSTRACT**

The objective of this study was to discuss the possibilities of using the bed of chicken and lumber waste produced in the city of Ubá, associated or not, and propose sustainable energy alternatives for the region of Mata Mineira. For this, a survey was undertaken to determine the amount of waste produced by these activities and the descriptive extrapolation of the energy potential based on published literature. The volume of chicken litter generated estimated was 78,624 tons/year; the furniture pole in Ubá was estimated to produce an average of 480 tons/year. These residues are randomly disposed in the environment and are characterized as environmental liabilities. Due to the composition characteristics of the chicken litter and the lumber waste and the need to produce in a sustainable way, these biomasses can be adopted as local energetic alternatives for decentralized energy generation. This can occur through the production of mixed briquettes and pellets and in their various processes of utilization (combustion, gasification, cogeneration) in some productive sectors of the region. However, future studies are necessary to evaluate the emission of harmful air pollutants that may be generated during its energy use.

INTRODUÇÃO

As possibilidades futuras de escassez das fontes fósseis de energia, aliadas às emissões atmosféricas poluentes emitidas por sua queima, são fatores que levam a necessidade, cada vez mais iminente, de se utilizar outras fontes menos nocivas ao meio ambiente. Nesse sentido, o uso de fontes renováveis pode ser uma boa alternativa, pois aumenta a geração descentralizada de energia, reduz a dependência de outras fontes e promove, no caso da biomassa, a destinação adequada de resíduos que, outrora, poderiam ser dispostos como passivos ambientais.

O Brasil destaca-se com relação à utilização de energias renováveis em sua matriz energética, com 39,40% de energia renovável em sua matriz, enquanto no resto do mundo é de apenas 13,20% (MME, 2014). Do montante gerado de forma renovável, cerca de 23,80% se dá na forma de biomassa e esse percentual é alavancado, principalmente, pela indústria canavieira, pelo uso da lenha e de carvão vegetal na indústria primária e de manufaturados, por exemplo.

A utilização de cada tipo de biomassa irá depender da especificidade do resíduo que é produzido em cada região, relacionado à proximidade com a fonte geradora e produtora de energia. Isso se dá pelo fato dos custos relacionados ao transporte de biomassa serem um dos principais entraves. Além disso, a padronização e o fluxo de geração de resíduos também devem ser constantes. Pois, na maioria das vezes, a biomassa possui elevado volume, produção sazonal, baixa densidade a granel, teor de umidade acima das condições ótimas de combustão e tamanho de partícula heterogêneo.

A mesorregião da Zona da Mata Mineira tem exploração econômica bastante diversificada. A produção de frangos de corte e a indústria moveleira são atividades de grande relevância, pois contribuem de forma direta para a economia regional. No entanto, paralela à atividade produtiva, a geração de resíduos por esses setores é alta. Assim, medidas de destinação adequada, de valoração energética e econômica devem ser levadas em consideração como benefício para a geração de energia útil. Dentre esses mecanismos, a utilização da compactação de resíduos e o seu posterior uso

energético pode ser uma alternativa viável. Pois na produção de briquetes e de pellets podem-se ter algumas vantagens como: maior disponibilidade de energia por volume, padronização da biomassa, redução de umidade, forma e tamanho definido o que facilita a automação de processos, redução da comercialização de lenha clandestina e maior eficiência na queima (BENHART *et al.*, 2010; FARAGE *et al.*, 2013). Além disso, ressalta-se o ganho ao meio ambiente com menor desmatamento clandestino de áreas rurais e agrícolas.

Objetivou-se, desse modo, expor o potencial de utilização do resíduo moveleiro e da cama de frango como biomassas alternativas e suas respectivas finalidades energéticas para alguns setores produtivos de maior destaque na mesorregião da Zona da Mata Mineira.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo do potencial de utilização da cama de frango e do resíduo moveleiro partiu da necessidade de dar a destinação adequada para esses resíduos. Dessa forma, para a confecção dessa nota técnica foram abordadas as características da avicultura de corte e do polo moveleiro e de seus resíduos como potenciais combustíveis energéticos, bem como a geração de cama de frango e resíduos de base florestal por essas atividades e as consequências resultantes da disposição inadequada ao meio ambiente.

Para tal, foi feito um levantamento junto à Pif-Paf, principal agroindústria produtora de frangos de corte da região, e junto ao Sindicato Intermunicipal das Indústrias do Mobiliário de Ubá (Intersind) para saber a quantidade aproximada de geração desses resíduos e de como são dispostos no meio ambiente. A partir disso, realizou-se um estudo do potencial energético de cada material baseado em literaturas e trabalhos científicos já publicados. Em seguida, fez-se a extrapolação da capacidade energética dos resíduos de maneira descritiva somente. Por fim, foi feito um levantamento das principais atividades agroindustriais da Zona da Mata Mineira a fim de verificar em quais alocações produtivas os resíduos de cama de frango e da indústria moveleira poderiam ser utilizados como combustíveis energéticos viáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avicultura de corte é um dos ramos de maior destaque no agronegócio brasileiro e produziu, em 2015, 13,14 milhões de ton de carne de frango, chegando a representar algo em torno de 1,60% do produto interno bruto (PIB) nacional (ABPA, 2016). Desse montante, cerca de 67,30% foi destinado para o consumo interno e o restante para exportação. O consumo per capita/ano no Brasil, em 2015, foi de 43,25 kg, transformando a carne de frango na mais consumida do país. Esse setor avançou de forma significativa após a integralização da cadeia produtiva na década de 80 e devido aos avanços no melhoramento genético, na nutrição, no manejo, na ambiência e na sanidade das aves (DALÓLIO et al., 2016).

No entanto, aliada ao crescimento exorbitante da produtividade, surgiu também a preocupação com o volume de resíduos e dejetos oriundos do setor avícola e com os possíveis destinos dos mesmos, uma vez que esse setor caracteriza-se pela criação de animais confinados em pequenas áreas, com concentração da carga de dejetos produzidos. Na avicultura de corte, o volume de resíduos tona-se elevado, pois, aliado aos dejetos das aves, tem-se também o material utilizado como cama, servindo de leito às aves. Assim, logo após um ciclo produtivo médio de 42 dias, a cama irá ter, além de dejetos, restos de ração, água, penas e a microbiota resultante desse composto (GARCIA et al., 2012).

Os dados disponíveis na literatura em relação à quantidade de cama gerada por ave em um ciclo de produção são um pouco variáveis e situam-se entre 1,50 a 5,70 kg (EDWARDAS; DANIEL, 1992; BOLAN et al., 2010). De acordo com Santos et al. (2005), para as condições brasileiras, a quantidade de cama gerada por ave é de 1,75 kg por ave/ciclo de 42 dias, com base na matéria natural, admitindo-se a cama com 20% de umidade. A variabilidade nessas quantidades sofre influência de alguns fatores como dieta, idade de abate dos frangos, manejo da cama, condições climáticas, época do ano e a gestão dos resíduos na propriedade.

A cama de frango pode ser constituída de diversos materiais, como maravalha, casca de café, casca de amendoim, casca de arroz, capim seco,

sabugo de milho picado, entre outros (GRIMES et al., 2002). A escolha do tipo de material vai depender da região na qual a atividade está inserida e do melhor custo benefício de aquisição e de transporte. A cama de frango pode ser utilizada em até 12 lotes consecutivos. Porém, a média de reutilização praticada no Brasil, em especial na Zona da Mata Mineira, é de 4 a 5 lotes. Nessa região, o principal material utilizado como cama é a casca de café. Isso ocorre pelo fato da cafeicultura ser muito significativa nessa região, gerando elevado volume desse material a baixo custo. A casca de café possui umidade que varia de 11,45 a 18,00%, granulometria de 0,25 a 3,36 mm e teor de carbono orgânico total de 48,80 a 51,20 dag/kg⁻¹ (MATOS et al., 1998; BAGGIO, 2006).

De acordo com os produtores de frangos da região em estudo, do montante de cama de frango gerada, a maior parte é disposta no ambiente de forma aleatória ou comercializada como adubo orgânico devido à sua riqueza em nutrientes como nitrogênio e matéria orgânica. Contudo, o descarte inadequado e sem o prévio tratamento, e a utilização de adubação orgânica sem levar em consideração as propriedades químicas e físicas do solo e a necessidade da cultura a ser adubada, causam impactos negativos ao ambiente. Isso porque há comprometimento da qualidade do solo e da água com contaminação dos mananciais pelos microrganismos. Tal fato pode proporcionar alta toxicidade aos animais e às plantas e depreciação do produto, porém com percepção só a médio e longo prazo (RANATUNGA et al., 2013).

É válido ressaltar também que a cama de aviário pode conter, após um ciclo produtivo, muitos patógenos que sobrevivem até 11 semanas fora do sistema digestivo das aves (HAAAPAPURO et al., 1997). Podem ser detectados também resíduos de antibióticos, usados como promotores de crescimento ou para o tratamento de enfermidades, que não são totalmente absorvidos pelos animais e podem ser liberados em até 75% para o meio ambiente (CHEE-SANFORD et al., 2009). Segundo Hahn et al. (2012), os principais microrganismos presentes na cama de aviário são a *Escherichia coli*, a *Salmonella* e os oocistos de eimérias. O principal antibiótico usado na produção de frangos de corte é a salinomicina, que é fornecido como promotor

de crescimento e preventivo de coccidioses. Portanto, na utilização da cama de aviário, como fertilizante orgânico, sem o tratamento adequado, pode ocasionar impactos adversos ao ecossistema. Afinal, os antimicrobianos utilizados na produção avícola já foram detectados no solo, na água, nas plantas e em sedimentos nas proximidades de regiões com elevada produtividade de frangos de corte (MANAGAKI *et al.*, 2007).

Visto isso, torna-se evidente a necessidade de mecanismos que possibilitem a utilização correta da cama de frango com o mínimo de prejuízo ao meio ambiente e o máximo de funcionalidade prática. Dentre esses mecanismos, a utilização de cama de frango como biomassa energética com a utilização de processos termoquímicos torna-se viável tanto do ponto de vista ambiental como econômico (ABELHA *et al.*, 2003). No entanto, devido ao aspecto heterogêneo e a falta de padrão na composição da cama de frango, recomenda-se a compactação através da produção de briquetes e de pellets para serem utilizados com fins energéticos de maneira otimizada (BENHART *et al.*, 2010; NEITZKE *et al.*, 2010; JUNQUEIRA *et al.*, 2012).

Outro resíduo de destaque na região da Zona da Mata é aquele oriundo dos diversos processos produtivos para a fabricação de móveis. Torna-se necessária, então, a caracterização da atividade, a geração de resíduos, bem como a posterior destinação ao meio ambiente. O polo moveleiro de Ubá é formado por cerca de 321 indústrias legalizadas para a produção de móveis e gera em torno de 18 mil empregos diretos de acordo com o Sindicato Intermunicipal das Indústrias do Mobiliário de Ubá (Intersind). O polo está localizado na microrregião de Ubá e constitui-se por 9 cidades. Aliado à importância econômica e desenvolvimentista do setor, tem-se também a preocupação com a quantidade e o tipo de resíduo gerado pela atividade moveleira na região. Silva (2005) realizou um levantamento em 55 fábricas de móveis no polo moveleiro de Ubá e constatou que a disposição final dos resíduos era feita sem critério, identificando grande deficiência em relação ao controle e gerenciamento desses resíduos. Farage *et al.* (2013) realizaram um levantamento em 11 fábricas de móveis representativas do Polo de Ubá (micro, pequenas, médias e grandes) e também

constatarem que havia ingerência dos resíduos gerados e inadequação para o seu aproveitamento energético.

A disposição final inadequada do resíduo resulta em expressivo passivo ambiental, principalmente devido ao descarte inadequado de resíduos sólidos, especialmente de madeira e seus derivados, representando mais de 90 % do total de resíduos gerados. Os resíduos dos painéis reconstituídos sugerem uma preocupação ainda maior em comparação aos demais. Isso ocorre devido à presença dos adesivos, geralmente ureia-formaldeído ou fenol-formaldeído, existentes em sua composição (FARAGE *et al.*, 2013).

Na fabricação de móveis utiliza-se não somente a madeira maciça, mas também painéis reconstituídos (MDF, aglomerados e compensados). Isso ocorre devido ao apelo ambiental, pois os painéis são oriundos de reflorestamento, e também devido à facilidade de trabalho e modificação para estruturas mais simples e econômicas. Desde a transformação da madeira até a confecção de móveis, inúmeros resíduos lignocelulósicos são gerados, como o pó fino de madeira, a serragem, as aparas, os cavacos e o pó de madeira com tinta seladora e adesiva. Farage *et al.* (2013) identificaram que, em somente 11 fábricas amostradas, o volume total de resíduo chegou a representar 1699 ton/mês. Porém, de acordo com o Intersind, o volume aproximado chega a 40 ton/mês se somar todos os resíduos gerados pelas fábricas legais que realizam algum processo de transformação de madeira maciça e de painéis reconstituídos.

Em decorrência do elevado volume de resíduo gerado pela atividade moveleira e de seu caráter heterogêneo quanto à granulometria e composição, é essencial estabelecer medidas que propiciem à utilização consciente e adequada dos mesmos. O resultado disso seria a redução dos impactos ambientais e o desenvolvimento de aplicações de uso com outros resíduos gerados na região que também possuem características de ser um importante passivo ambiental disposto, muitas vezes, de forma inadequada, como a cama de frango.

Um das formas de se aproveitar melhor a energia útil contida em resíduos de caráter heterogêneo é a compactação. A compactação dos

resíduos consiste no emprego de alta temperatura e pressão, com ou sem a adição de aglutinantes, com o objetivo de produzir, ao final do processo, briquetes ou pellets de determinado material. Os resíduos mais indicados para esse processo são os lignocelulósicos, devido à plasticidade da lignina em altas temperaturas durante o processo de compactação. Tal característica servirá de material ligante, melhorando, assim, a qualidade dos produtos. O resultado do processo é um material com elevada densidade, dimensões padronizadas e melhor como substrato para queima direta, pelo reduzido teor de umidade. Segundo Quirino et al. (2004), o material compactado tem cerca de 5 a 6 vezes mais densidade energética do que o material de origem e possibilita ainda a mecanização do processo em decorrência de sua homogeneidade.

Os briquetes, oriundos do processo de briquetagem, possuem umidade em torno de 8 a 12%, densidade de 1.000 a 1.200 kg/m³, e o seu tamanho e dimensão irá depender do tipo de máquina briquetadeira que será utilizada na confecção (FELFLI et al, 2011). O processo de briquetagem suporta resíduos com teor de umidade um pouco mais alto quando comparado à peletização de biomassa. O processo de transformação da biomassa em pellets depende, basicamente, das propriedades físicas das partículas e das variáveis do processo, como a pressão e a temperatura empregadas. O ideal é que a biomassa esteja com o teor de umidade em torno de 10%, para uma melhor qualidade de queima do pellet (MANI et al., 2006). Os pellets são pequenos granulados em formato cilíndrico que possuem entre 6 e 8 milímetros de diâmetro e 10 a 40 milímetros de comprimento, variando conforme a peletizadora utilizada na confecção dos mesmos.

Devido à crescente demanda por madeira e o crescimento exorbitante na geração de outros resíduos, tem se intensificado o estudo de materiais alternativos para serem compactados com fins energéticos. Segundo Stahl e Berghel (2011) é válido ressaltar que com o uso de diferentes materiais na produção de pellets, é importante observar algumas propriedades importantes como: alto poder calorífico, baixo teor de cinzas e baixa geração de finos no processo.

Farage et al. (2013) identificaram viabilidade

técnica na produção de compactados oriundos do Polo moveleiro de Ubá. Porém, maior atenção deve ser dada nas emissões atmosféricas produzidas na queima desses compostos. Benhart et al. (2010) e Junqueira et al. (2012) observaram viabilidade técnica da produção de briquetes e de pellets a partir de cama de frango, respectivamente.

Dalólio et al. (2017) ressaltam que a automação dos processos de aproveitamento da cama de frango como biomassa energética é essencial para aumentar a otimização da geração de energia útil através de diversos processos como combustão direta, gaseificação e pirólise. No entanto, os autores destacaram que a gaseificação pode ser o método mais eficiente se comparado aos demais, pois permite uma taxa de queima maior, menos gasto energético, menor poluição ambiental e menor geração de resíduos na queima. Barbosa (2015) realizou um estudo de modelagem dinâmica e desenvolvimento de um controlador para automação de um gaseificador de biomassa na Zona da Mata Mineira, utilizando lenha com combustível. De acordo com o autor, a pesquisa demonstrou a eficácia do controlador e do modelo aproximado do gaseificador de biomassa, com um gás de boa qualidade e com poder calorífico inferior (PCI) passível de ser aplicado em diversas atividades agrícolas. Resende (2016) desenvolveu um sistema automático de alimentação contínua para gaseificadores de biomassa do tipo fluxo concorrente utilizando a tecnologia lógica programável (CLP) e verificou sua viabilidade para geração de energia térmica e elétrica em qualquer atividade agrícola. Resende et al. (2017) desenvolveram ainda um sistema especialista de seleção de gaseificadores de biomassa, que orienta na melhor escolha de utilização de gaseificadores de acordo com o tipo de resíduo.

A partir das informações supracitadas, pode-se inferir que existe a possibilidade de utilização dos resíduos da indústria moveleira do polo de Ubá, bem como da cama de frango resultante de ciclos consecutivos de criação, desde que esses materiais consigam conferir melhora na qualidade e na produção de compactados, não liberem elementos tóxicos ao meio ambiente e não prejudiquem a qualidade do ar durante a sua queima. Além disso, a automação dos processos com consequente

melhora na otimização da geração de energia útil na região pode ser alternativa viável devido aos estudos com gaseificadores de biomassa *in loco*.

É importante estabelecer quais as possibilidades de utilização dos materiais compactados de cama de frango e de resíduo moveleiro são disponíveis na região. De acordo com Farage et al. (2013), os briquetes de resíduo moveleiro podem ser usados para diversos fins como: fornos de padaria, pizzaria, lareiras, saunas, caldeiras industriais, caldeiras a vapor para geração de energia elétrica e no fornecimento de vapor para a cocção de alimentos. Os briquetes e pellets de cama de frango podem ser usados na gaseificação para geração de gás combustível, calor, co-geração de energia elétrica e geração de biocarvão (NEITZKE et al., 2010; JUNQUEIRA et al., 2012; SONG; GUO, 2012). Ainda, os pellets de cama de frango, bem como as cinzas resultantes do processo de combustão do material compactado, podem ser usados como adubo orgânico e corretivo de solos agrícolas (LYNCH et al., 2013).

Outra possibilidade de utilização dos resíduos seria na geração de energia elétrica. A geração de energia elétrica a partir de resíduos agropecuários e industriais pode se dar de diferentes formas como: gaseificação, pirólise, caldeiras a vapor ou co-geração. Sendo que este último se dá pela combinação de dois ou mais processos ou dois ou mais tipos de biomassa.

Sordi et al. (2005) avaliaram a cama de frango como biomassa energética para a produção de energia elétrica na região Oeste do estado do Paraná. Os autores utilizaram um esquema hipotético de geração a vapor para avaliar o potencial técnico da energia gerada a partir da cama de frango. Dessa forma, foi possível calcular a quantidade de potência elétrica que pode ser obtida a partir da combustão direta da cama de frango em um ciclo de potência a vapor (ciclo de Rankine). Tal ciclo consiste em uma caldeira para produzir vapor superaquecido. Posteriormente, esse vapor é convertido em trabalho mecânico em uma turbina a vapor, de maneira que força motriz é transformada em eletricidade por meio de um gerador acoplado no eixo da turbina. Assim, o vapor de escape da turbina a uma pressão e temperatura inferiores, é condensado num grande

trocador de calor para então ser bombeado de volta para a caldeira. De acordo com Sordi et al. (2005), o rendimento termodinâmico desses ciclos situa-se em 30%. Nesse estudo foi possível verificar que a região Oeste do Paraná produziu, em 2005, em média, 382.021 toneladas de cama de frango com um potencial teórico energético de 141.500 kJ/s, sendo que o potencial teórico de energia com o aproveitamento da cama de frango foi próximo de 50.700 kW.

De acordo com a empresa Pif-Paf, empresa de integração da Zona da Mata Mineira, mensalmente, são abatidos 3.600.000 frangos. Considerando-se uma mortalidade final, no transporte e no abatedouro, de 4%, estima-se que mensalmente a empresa recolhe nas granjas cerca de 3.744.000 frangos. Adotando-se o volume de cama produzido para as condições brasileiras de 1,75 kg/ave na matéria natural, com 20% de umidade, o volume de cama produzido mensalmente na região é de 6.522 ton. Portanto, a produção anual será de 78.624 ton. Nesse sentido, adotando-se os cálculos propostos por Sordi et al. (2005), estima-se que o potencial teórico energético e o potencial técnico, do total de cama de frango produzida anualmente pode ser de 29.328 kJ e 8.800 kWh, respectivamente. Adotou-se para a estimativa de cálculo uma eficiência termodinâmica de 30%.

No entanto, esses valores foram utilizados com base na cama *in natura* e acredita-se que a utilização na forma compactada possa produzir maiores quantidades de energia aliado a um sistema mais eficiente. Isso ocorre pelo fato da compactação poder aumentar a densidade do produto, melhorar a eficiência de queima, promover maior homogeneização na alimentação do combustor e permitir menor geração de poluentes e de cinzas ao final do processo. Ainda, com a possibilidade de co-geração da cama de frango misturada ao resíduo moveleiro, pode ocorrer aumento na eficiência, pelo aumento consequente no teor de energia potencial. Esse fato foi observado por Jia e Anthony (2011) ao realizarem a gaseificação de cama de frango (40%) em mistura com carvão vegetal (60%), com identificação de viabilidade técnica e ambiental.

Quando o objetivo é a produção de gás de síntese que será utilizado como combustível para geração de energia elétrica, pode-se adotar a pirólise ou

a gaseificação dos briquetes mistos de cama de frango e de resíduo moveleiro. Song e Guo (2012) avaliaram a viabilidade da pirólise lenta da cama de frango e observaram geração viável de gás de síntese e de biochar com elevada concentração de nutrientes e com potencial de ser utilizado como fertilizante orgânico.

Neitzke et al. (2010) observaram viabilidade da gaseificação de pellets de cama de frango com um custo médio de, R\$ 0,19/kWh. Considerando-se o custo normal do kWh no meio rural de R\$ 0,34, talvez pode ser válida a utilização de cama de frango para a produção de energia com a instalação de uma micro-usina geradora próxima às granjas produtoras a uma distância que também permita a incorporação de resíduos moveleiros e compactação desses materiais.

Os processos de gaseificação e pirólise geram calor na transformação da biomassa em gás e biochar, produzindo cinzas residuais. O calor excedente pode ser utilizado para a secagem do material que vai abastecer a usina geradora de energia, reduzindo o teor de umidade. Já as cinzas resultantes podem ser utilizadas como fertilizante natural e condicionante do solo.

Os briquetes e pellets mistos de cama de frango e resíduo moveleiro podem ter viabilidade de utilização em caldeiras em substituição à lenha. Neitzke et al. (2010) afirmaram que a cama de frango possui um poder calorífico médio de 3.230 kcal/kg. Farage et al. (2013) afirmaram que os briquetes produzidos com resíduo do polo moveleiro de Ubá possuem em torno de 4.465 kcal/kg. Considerando-se que a lenha possui poder calorífico médio de 3.680 kcal/kg (QUIRINO et al., 2004), pode-se inferir que, com relação ao teor de energia, a mistura dos resíduos pode produzir compactados viáveis para a utilização e alimentação de caldeiras.

Em uma planta de abatedouro é necessário o fornecimento de calor, vapor d'água e água quente para diversos processos de abate como: depena dos frangos, esterilização de utensílios e limpeza de equipamentos, instalações e veículos de transporte. Geralmente, isso acontece através de uma caldeira externa acoplada à planta de abate. Nesse caso, utiliza-se lenha ou óleo diesel como combustível.

Na secagem de café, a Fazenda Heringer, uma das principais da região, utiliza a secagem do grão com trocadores de calor entre o vapor aquecido e o ar de secagem. Esse sistema está disponível somente para grandes cafeicultores

devido ao alto custo de implantação. Esse setor utiliza lenha em grande quantidade e a produção de compactados poderia ser utilizada como substituto ou simplesmente como uma maior diversificação na biomassa. Em menores propriedades produtoras de café, os materiais compactados poderiam ser utilizados em fornalhas, em substituição à lenha.

No entanto, deve-se observar a possibilidade de funcionamento da caldeira, desde a alimentação até a produção de vapor, as possíveis emissões de poluentes gerados na combustão e as características e composição das cinzas resultantes. Isto ocorre pelo fato da composição da cama de frango possuir nitrogênio, enxofre e minerais alcalinos em maior quantidade (LYNCH et al., 2013). Esses materiais podem provocar corrosão dos materiais e emissões de CO, NOx e SOx acima dos limites preconizados. Farage et al. (2013) identificaram possíveis emissões de clorofórmio e de formaldeído na combustão do resíduo moveleiro quando este é composto por tintas seladoras e adesivas.

O aquecimento de galpões avícolas seria outra alternativa. No processo de aquecimento dos pintinhos na fase inicial de vida, adota-se quase que totalmente a lenha como combustível nos 780 galpões dos integrados pertencentes à empresa Pif-Paf. O fornecimento de calor se dá através de fornalhas com insuflação do ar quente para o interior do galpão. Do ponto de vista energético, os materiais compactados podem substituir a lenha utilizada em fornalhas para aquecimento de animais. Além do que, já existem fornalhas projetadas para serem alimentadas com materiais compactados, como briquetes e pellets, com aumento de até 35% de eficiência em relação à utilização de fornalha comum à lenha.

Pode-se utilizar ainda gaseificadores para fornecimento de calor para pintinhos. Zanatta et al. (2008) avaliaram o conforto térmico de um aviário aquecido a partir de um gaseificador de biomassa de fluxo concorrente, desenvolvido por Martin et al. (2006), e observaram consumo de 25% a menos de lenha em comparação com uma fornalha tradicional e desempenho dos animais de forma satisfatória. No entanto, deve-se avaliar a eficiência de cada tipo de combustível utilizado bem como a qualidade do ar no interior dos galpões com a queima de cama de frango misturado ao resíduo moveleiro. Pois, caso ocorra prejuízo na qualidade do ar, o desempenho das aves ficará prejudicado com redução de bonificação do produtor integrado.

O próprio Polo de Ubá poderia absorver os

materiais compactados produzidos com cama de frango e resíduos de base florestal, com a instalação de uma usina para gerar energia mecânica e elétrica para ser empregada nos processos de fabricação de móveis e de utensílios madeireiros. Afinal, a quantidade de resíduos gerados é em torno de 500 ton/ano, de acordo com o Itersind. Farage *et al.* (2013) observaram viabilidade econômica da implantação de uma indústria produtora de briquetes de resíduo moveleiro, acoplada a uma usina para produção de energia.

Além do Polo Moveleiro de Ubá existem outras atividades industriais na região. A cidade de Ponte Nova, situada a 49 km da cidade de Viçosa, possui uma fábrica de papel reciclado que utiliza lenha como combustível energético para produção de calor, vapor e energia para máquinas e processos de transformação do resíduo em papel reciclado. Nesse sentido, os briquetes mistos produzidos de cama de frango e resíduo moveleiro, poderiam substituir parcialmente a lenha desde que exista viabilidade ambiental na sua utilização, que não haja necessidade de readequação dos equipamentos e que sejam avaliados os gastos inerentes ao transporte dessa nova biomassa.

A utilização da cama de frango com adubo apresenta-se como alternativa viável. Desde que seu uso não seja na forma in natura e sem o tratamento prévio. Afinal, o fertilizante orgânico de

cama de frango pode trazer resultados semelhantes ou até mesmo superiores aos adubos minerais, proporcionando melhorias na qualidade ambiental da produção e nos atributos físicos e químicos do solo. De acordo com Silva *et al.* (2010) e Carvalho *et al.* (2011), a utilização de cama de frango como fertilizante tem surtido efeito positivo em culturas como milho e soja.

Com o objetivo de melhorar a disponibilidade de nutrientes, evitar a volatilização rápida do nitrogênio e reduzir as perdas por percolação de nutrientes no solo, pode-se adotar a pelletização da cama de frango para ser utilizada como adubo. Outro benefício seria o transporte e o armazenamento desse material em maior volume e a possibilidade de mistura ótima com outros tipos de adubos minerais, para melhorar e fixar a concentração de nutrientes no adubo. O custo da tonelada de cama de frango gira em torno de, R\$ 70 a 90,00, enquanto o valor da tonelada de adubo organo-mineral pode chegar a R\$ 900,00.

A partir dos dados apresentados, pode-se fazer um prognóstico de alguns meios de utilização em diversos setores da Zona da Mata Mineira, conforme apresentado na Tabela 1.

A partir das propostas apresentadas, acredita-se que as medidas de mais fácil implantação são aquelas ligadas diretamente aos processos produtivos geradores dos próprios resíduos. Pois,

Tabela 1. Possibilidades de utilização de briquetes e pellets mistos de cama de frango e resíduo moveleiro, em alguns setores produtivos da Zona da Mata Mineira.

| Processos | Mecanismos | Produtos |
|---|---|--|
| Geração de energia elétrica | Pirólise, gaseificação e caldeiras a vapor | Energia elétrica, calor, biochar e cinzas estáveis |
| Substituição parcial da lenha em abatedouros e na secagem de café | Caldeiras a vapor | Calor, água quente, vapor d'água |
| Aquecimento de galpões avícolas | Fornalha de aquecimento direto e indireto, gaseificação | Calor e gás combustível |
| Polo moveleiro de Ubá-MG | Co-geração | Energia elétrica e mecânica |
| Fábrica de papel reciclado em Ponte Nova-MG | Co-geração | Energia elétrica, mecânica, vapor d'água |
| Pellets de cama de frango para adubação orgânica | Pelletização da cama de frango | Adubo orgânico ou organo-mineral |
| Venda do excedente produzido | Comercialização | Co-produtos energéticos para fins diversos |

como mencionado anteriormente, a distância e os respectivos custos com transporte são os principais entraves da utilização de biomassa para fins energéticos. Assim, o uso para aquecimento das instalações avícolas na fase inicial de vida das aves, para a alimentação de caldeiras a vapor na indústria de processamento de carnes e o uso direto pela indústria moveleira através da combustão, gaseificação ou co-geração de energia pelo excedente produzido, seriam as principais medidas a curto e médio prazo. No longo prazo, seriam as medidas de aproveitamento em outras etapas industriais como a fabricação de papel reciclado, secagem de grãos em propriedades agrícolas, bem como a venda do excedente produzido como adubo ou combustível sustentável de materiais compactados. Afinal, acredita-se que exista resistência na aceitação dos compactados de cama e resíduo moveleiro. Para tal, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas *in loco* para avaliar o potencial energético e poluente dos materiais e de estudos de análise do ciclo de vida (LCA) desses resíduos em relação a sua destinação adequada e contribuição sócio-ambiental para a região da Zona da Mata Mineira como um todo.

CONCLUSÕES

- Devido ao elevado volume de resíduos gerados a partir da avicultura de corte e da fabricação de móveis pelo polo moveleiro de Ubá, na região da Zona da Mata Mineira, e por estes serem dispostos, na maioria das vezes, como passivos ambientais, dar o destino correto e utilizar a energia potencial contida em sua composição é imprescindível. Nesse sentido, a compactação desses resíduos através da produção de briquetes e pellets mistos pode ser uma alternativa energética para alguns setores produtivos da região.
- O que determinará a finalidade de utilização dos materiais compactados será a relação custo benefício de uma implantação de fábrica produtora, bem como das possibilidades de comercialização e uso destes co-produtos nos processos mais significativos como a produção de frangos de corte, a cafeicultura e a indústria

moveleira. Devido ao caráter heterogêneo desses produtos, faz-se necessário uma análise minuciosa de sua composição e dos poluentes atmosféricos nocivos que possam vir a ser gerados durante seu aproveitamento energético.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, a FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio a presente pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELHA, P.; GULYURTLU, I.; BOAVIDA, D.; BARROS, J.S.; CABRITA, I.; LEAHY, J.; KELLEHER, B.; LEAHVY, M. Combustion of poultry litter in a fluidised bed combustor. **Fuel**, Amsterdã, v.82, n.6, p.687-692, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). Relatório Anual, 2015. 136p. Disponível em <http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf> Acesso em: 16 jun. 2016.

BAGGIO, J. Avaliação dos resíduos (casca e pó orgânico) de café (*Coffea arabica* L.) como provável fonte de substâncias bioativas. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

BARBOSA, R.C. Modelagem dinâmica e desenvolvimento de um controlador para automação de um gaseificador de biomassa. 2015. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

BERNHART, M.; FASINA, O.O.; FULTON, J.C.W. Compaction of poultry litter. **Bioresource Technology**, Amsterdã, v.101, n.1, p.234-238, 2010.

BOLAN, N.S.; SZOGI, A.A.; CHUASAVATHI, T.; SESHADRI, B.; ROTHROCK Jr. M.J.;

- PANNEERSELVAM, P. Uses and management of poultry litter. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v.66, n.4, p.673-698, 2010.
- CARVALHO, E.R.; REZENDE, P.M.; ANDRADE, M.J.B.; PASSOS, A.M.A.; OLIVEIRA, J.A. Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agronômicas da soja e nutrientes no solo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.4, p.930-939, 2011.
- CHEE-SANFORD, J.C.; MACKIE, R.I.; KOIKE, S.; KRAPAC, I.; MAXWELL, S.; LIN, Y.; AMINOV, R.I. Fate and transport of antibiotic residues and antibiotic resistance genetic determinants during manure storage, treatment, and land application. **Journal of Environmental Quality**, Rockville, v.38, n.3, p.1086-1108, 2009.
- EDWARDS, D.R., DANIELS, T.C. Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal – a review. **Bioresource Technology**, Amsterdã, v.41, n.1, p.9-33, 1992.
- DALÓLIO, F.S.; MOREIRA, J.; COELHO, D.J.R.; SOUZA, C.F. Caracterização bioclimática de um galpão experimental de criação de frangos de corte na região de Diamantina-MG. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.24, n.1, p.22-31, 2016.
- DALÓLIO, F.S.; SILVA, J.N.; OLIVEIRA, A.C.C.; TINÔCO, I.F.F.; BARBOSA, R.C.; RESENDE, M.O.; ALBINO, L.F.T., COELHO, S.T. Poultry litter as biomass energy: A review and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdã, v.76, n.11, p.941-949, 2017.
- FARAGE, R.M.P.; REZENDE, A.A.P.; SILVA, C.M.; NUNES, W.G.; CARNEIRO, A.C.O.; VIEIRA, D.B.; RODRIGUES, C.L.S. Avaliação do potencial de aproveitamento energético dos resíduos de madeira e derivados gerados em fábricas do polo moveleiro de Ubá – MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n.1, p.203-212, 2013.
- FELFLI, F.F.; MESA, J.M.; ROCHA, J.D.; FILIPPETTO, D.; LUENGO, C.A.; PIPPO, W.A. Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdã, v.35, n.1, p.236-242, 2011.
- GARCIA, R.G.; ALMEIDA PAZ, I.C.L.; CALDARA, F.R.; NÄÄS, I.A.; PEREIRA, D.F.; FERREIRA, V.M.O.S. Selecting the most adequate bedding material for broiler production in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.14, n.2, p.121-128, 2012.
- GRIMES, J.L.; SMITH, J.; WILLIAMS, C.M. Some alternative litter materials used for growing broilers and turkeys. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge, v.58, n.4, p.515-526, 2002.
- HAAPAPURO, E.R.; BARNARD, N.D.; SIMON, M. Review: Animal waste use as livestock feed: dangerous to human health. **Preventive Medicine**, Rockville, v.26, n.5, p.599-602, 1997.
- HAHN, L.; PADILHA, M.T.S.; PADILHA, J.C.F.; POLI, A.; RIEF, G.G. Persistence of pathogens and the salinomycin antibiotic in composting piles of poultry litter. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.61, n.234, p.279-285, 2012.
- JIA, L.; ANTHONY, E.J. Combustion of poultry-derived fuel in a coal-fired pilot-scale 641 circulating fluidized bed combustor. **Fuel Processing Technology**, Amsterdã, v.92, n.11, p.2138-2144, 2011.
- JUNQUEIRA, K.G.; GAMA, J.R.; MENDES, J.M.; GHESTI, G.F. Análise das biomassas: cama de aviário e esterco suíno para gaseificação. In: III Forum Brasileiro de Energia, 2012, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. Disponível em <https://fga.unb.br/articles/0000/7653/TCC2_KarinaJunqueira_1045989.pdf> Acesso em: 20/01/2016.
- LYNCH, D.; HENIHAN, A.M.; BOWEN, B.; LYNCH, D.; MCDONNELL, K.; KWAPINSKI, W.; LEAHY, J.J. Utilization of poultry litter as an energy feedstock. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdã, v.49, n.1, p.197-204, 2013.

- MANAGAKI, S.; MURATA, A.; TAKADA, H.; YUYEN, B.C.; CHIEM, N.H. Distribution of macrolides, sulfonamides, and trimethoprim in tropical waters: ubiquitous occurrence of veterinary antibiotics in the Mekong Delta. **Environmental Science & Technology**, Washington, v.41, n.23, p.8004-8010, 2007.
- MANI, S.; TABIL, L.G.; SOKHANSANJ, S. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdã, v.30, n.7, p.648-654, 2006.
- MARTIN, S.; SILVA, J.A.; TINÔCO, I.F.F.; VIEIRA, A.C.; ZANATTA, F.L.; MELO, L.D. Projeto e construção de um gaseificador de biomassa de fluxo concorrente. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.14, n.4, p.258-267, 2006.
- Ministério de Minas e Energia (MME), 2015. Balanço Energético Nacional 2015. 291p. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf> Acesso em: 29/11/2015.
- NEITZKE, G.; VERAS, C.A.G.; ALENCAR, D.R.C. Gaseificação de pellets de cama de aviário para geração de energia elétrica. In: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande, Paraíba, Brasil. Disponível em< <http://docplayer.com.br/15057681-Gaseificacao-de-peletes-de-cama-de-aviario-para-geracao-de-energia-eletrica.html>> Acesso em: 11/10/2015.
- QUIRINO, W.F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa e Energia**, Viçosa, v.1, n.2, p.173-182, 2004.
- RANATUNGA, T.D.; REDDY, S.S.; TAYLOR, R.W. Phosphorus distribution in soil aggregate size fractions in a poultry litter applied soil and potential environmental impacts. **Geoderma**, Amsterdã, v.192, n.1, p.446-452, 2013.
- RESENDE, M.O. Sistema automático de alimentação de biomassa em um gaseificador de fluxo concorrente. 2016. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- RESENDE, M.O.; SILVA, J.N.; DALÓLIO, F.S.; BARBOSA, R.C.; PEDRUZI, G.O.L. Desenvolvimento de sistema especialista para seleção de reatores de gaseificação de biomassa. **Engenharia na Agricultura**, v.25, n.1, p.83-91, 2017.
- SANTOS, T.M.B.; LUCAS JR., J.; SAKOMURA, N.K. Efeitos da densidade populacional e da reutilização da cama sobre o desempenho de frangos de corte e produção de cama. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa, v.100, n.553, p.45-52, 2005.
- SILVA, C.M. Relatório Final: Proposta de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos do Polo Moveleiro de Ubá-MG. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2005. Não publicado.
- SILVA, T.R.; MENEZES, J.F.S.; SIMON, G.A.; ASSIS, R.L.; SANTOS, C.J.L.; GOMES, G.V. Cultivo do milho e disponibilidade de P sob adubação com cama de frango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.9, p.903-910, 2011.
- SONG, W., GUO, M. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdã, v.94, n.2, p.138-145, 2012.
- SORDI, A.; SOUZA, S.N.M.; OLIVEIRA, F.H. Biomassa gerada a partir da produção avícola na região Oeste do Estado do Paraná: uma fonte de energia. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v.27, n.2, p.183-190, 2005.
- STAHL, M.; BERGHEL, J. Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust rapeseed cake. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdã, v.35, n.12, p.4849-4854, 2011.
- ZANATTA, F.L.; SILVA, J.N.; TINÔCO, I.F.F.; OLIVEIRA FILHO, D.; MARTIN, S. Avaliação do conforto térmico em aviário aquecido com gaseificador de biomassa. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.16, n.3, p.270-284, 2008.