

## II-334 - TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS AGROPASTORIS GERADOS NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA E SEU IMPACTO ECONÔMICO E AMBIENTAL

### **Jackeline de Siqueira Castro**

Engenheira Ambiental e Sanitária pelo Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutoranda em Engenharia Civil na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

### **Mônica de Abreu Azevedo<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professora do departamento de Engenharia Civil da UFV.

### **Ulisses Bifano Comini**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Engenheiro Ambiental da Universidade Federal de Viçosa nas áreas de gestão de resíduos sólidos, licenciamento ambiental, gestão de recursos hídricos, entre outras atividades referentes à gestão ambiental da instituição.

### **Luis Gustavo Abdo Gante**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campus Universitário - Viçosa - MG - CEP: 36570-000 - Brasil – Tel.: +55 (31) 3899 1738; 3899 2747 - FAX: +55 (31) 3899 1482 - e-mail: [monica.azevedo@ufv.br](mailto:monica.azevedo@ufv.br)

## **RESUMO**

Muitas universidades podem ser entendidas como pequenas cidades, devido à sua grande extensão territorial. As mesmas trazem inúmeros benefícios para a sociedade, porém são potenciais geradoras de resíduos, fazendo com que seja necessário deslocamento de pessoal e recursos para gerenciamento, tratamento e destinação final desses resíduos. Diante disso, o objetivo deste estudo foi analisar a viabilidade ambiental e econômica do aproveitamento de resíduos agropastoris em uma universidade brasileira de grande porte com vistas ao tratamento de efluentes em diferentes metodologias e avaliar o potencial de geração de energia elétrica dos mesmos. Analisando-se a quantidade e característica química do efluente gerado, foram propostos três tipos de tratamento principais: digestão anaeróbia, lagoas de alta taxa e compostagem. Das possibilidades de tratamento avaliadas, acredita-se que a digestão anaeróbia seja por ora a mais indicada a ser implantada num curto prazo e as demais a longo prazo, visto que a digestão anaeróbia pode ser aplicada a todos os resíduos gerados sem a necessidade de mudança no manejo realizado nas atividades geradoras e tem potencial para geração de energia elétrica que é de extrema importância para o campus.

**PALAVRAS-CHAVE:** Universidades sustentáveis, gestão de resíduos, aproveitamento econômico de resíduos.

## **INTRODUÇÃO**

As universidades podem desempenhar um importante papel na capacitação das comunidades, contribuindo para que a mesma tenha formas mais sustentáveis de viver e trabalhar. No entanto, as comunidades sustentáveis só podem surgir com a facilitação, o aprendizado da comunidade e os esforços contínuos para construir as suas habilidades (Shiel et al., 2016).

Algumas universidades, tanto no Brasil como fora dele podem ser entendidas como pequenas cidades, devido à sua grande extensão territorial. As mesmas contribuem grandemente para o crescimento da economia local, são geradoras de ciência e tecnologia, são um meio de ligação do país com o exterior e por isso quando bem concebidas e geridas tem muito a contribuir com o cenário nacional e internacional.

Entretanto, em virtude do número de pessoas, das atividades laboratoriais, administrativas, dos serviços de poda e jardinagem, alimentação, as universidades são potenciais geradoras de resíduos, fazendo com que seja necessário deslocamento de pessoal e recursos para gerenciamento, tratamento e destinação final desses resíduos.

Diversos resíduos gerados pelas universidades, a exemplo dos resíduos agropastoris, são alvo frequente de estudos relacionados com o possível aproveitamento para geração de energia, ou mesmo como biofertilizante. Porém, no âmbito das instituições de ensino (IES), principalmente quando há demanda de recursos públicos, o aproveitamento desses resíduos torna-se comprometido pela falta de recursos financeiros, o que impede a instalação de unidades de tratamento e aproveitamento, bem como a capacitação de pessoal.

No caso específico da Universidade Federal de Viçosa, vale ainda ressaltar a sua tradição nos estudos relacionados à agricultura sendo que os mesmos vêm crescendo e se consolidando desde a origem da instituição. Hipoteticamente, a utilização dos resíduos agropastoris gerados na universidade, oriundos tanto da criação de animais para o abastecimento próprio quanto para as atividades de pesquisa, tem potencial aproveitamento econômico e, conseqüentemente, a disposição ambiental de uma maneira correta pode ser estudada de maneira que contribua não só com a melhoria dos serviços de gestão de resíduos praticados, como também para o seu aproveitamento econômico.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi analisar a viabilidade ambiental e econômica do aproveitamento de resíduos agropastoris em uma universidade brasileira de grande porte com vistas ao manejo de resíduos em diferentes metodologias de tratamento e determinar o potencial de geração de energia elétrica dos mesmos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O campus da Universidade Federal de Viçosa, está inserido no município de Viçosa, na Zona da Mata Mineira, entre as coordenadas geográficas 42° 52' O e 42° 50' O de longitude e 20° 44' S e 20° 47' S de latitude e uma elevação de 686 m em relação ao nível do mar. O tipo de solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. O clima da região é do tipo Cwa, mesotérmico úmido com verões chuvosos e invernos secos, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), considerando-se dados de 1991 a 2015, a precipitação média anual é de 1286 mm e a umidade relativa do ar é de 81 %. A temperatura média do período seco, entre os meses de abril e setembro, é de 18,1 °C enquanto no período chuvoso, entre outubro e março, a temperatura média é de 22,1 °C.

A UFV possui aproximadamente 2072 alunos matriculados no ensino médio e técnico, 11663 alunos de graduação, 2720 pós-graduandos *Stricto Sensu* e 2429 pós-graduandos *Lato Sensu*. São ao todo 1037 docentes e 2203 técnicos-administrativos que exercem suas funções na reitoria, pró-reitorias, centros de ciência e ensino médio e técnico. O campus de Viçosa conta com uma área física total de 2390,33 ha e área total construída de 38,51 ha (UFV, 2016).

Foram realizadas pesquisas de campo para conhecimento do processo de geração dos resíduos agropastoris da universidade. Além disso, foram realizadas pesquisas em monografias cujos estudos enfocaram o monitoramento e a caracterização dos resíduos agropastoris gerados na Universidade e o funcionamento das atividades relacionadas a produção desses.

Foram realizados levantamentos, por meio de revisão bibliográfica, de alternativas de tratamento de resíduos agropastoris que podem ser implantados na Universidade de forma a gerar inovação tecnológica e ao mesmo tempo contribuir para o tratamento adequado dos resíduos agropastoris gerados na Universidade, bem como sua valorização energética, por meio da quantificação do potencial de aproveitamento energético gerado a partir dos mesmos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para determinação do potencial da biomassa no que diz respeito à geração de energia elétrica, as análises mais importantes são as físico-químicas. Usualmente seus resultados são expressos em base seca e, por isso, a primeira análise a ser determinada é o conteúdo de umidade. Com o conteúdo elementar da biomassa, pode-se determinar a concentração de compostos simples que podem ser fonte de energia nos processos, entre eles:

enxofre, carbono, hidrogênio e nitrogênio. Além dessas, o conteúdo de cinzas, sólidos voláteis, sólidos fixos, proteínas, conteúdo de graxas, densidade, análise estrutural (celulose, lignina e hemicelulose) também são importantes na tomada de decisão (Nuñez Camargo, 2012).

Outro fator a ser observado com relação a constituição da biomassa é a relação carbono/nitrogênio (C:N) da mesma. Essa relação expressa a digestibilidade de determinado material orgânico e representa as unidades de carbono por unidade de nitrogênio que contém o material. Sabe-se que o nitrogênio é um material essencial para a síntese proteica e o carbono é a fonte de energia para os microrganismos (Nuñez Camargo, 2012).

Cada tipo de resíduo possui uma composição diferente e mesmo dentro da mesma atividade a composição do resíduo pode variar, visto que isso vai depender do manejo empregado com os animais, a composição e quantidade de ração administrada, a duração do ciclo de vida e o estágio em que se encontra os animais, entre outros.

No caso da UFV, sendo uma instituição federal e que nem sempre dispõe de recursos para tal investimento, o tratamento da biomassa deve se dar não só pelo fato de ser ambientalmente correto, mas também ser uma alternativa para gerar recursos ou diminuir os custos empregados em determinada atividade dentro do campus.

Atualmente, o tratamento que é dado aos resíduos no *campus* da UFV é feito de forma setorial e muitas vezes sem o devido controle de tratamento e destinação. Sendo em alguns casos dispostos no solo, tratados em lagoas com baixa remoção de seus poluentes e até mesmo dispostos em corpo hídrico sem o devido tratamento.

## DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é uma tecnologia amplamente utilizada, sendo muito adequada para obtenção de energia a partir de biomassa úmida em comparação com técnicas tais como a incineração ou gaseificação (Adelard et al., 2015). O material orgânico digerido tem potencial para ser utilizado como fertilizante ou condicionantes de solo pois é mais estável que a matéria original, tendo níveis elevados de nitrogênio e fósforo biodisponíveis (Frigon; Guiot, 2010).

Estima-se que o valor médio do pH deve estar entre 6,5 a 7,2, pois para o desenvolvimento das atividades dos microrganismos se faz necessário um pH neutro ou ligeiramente alcalino. Além disso, aconselha-se que o teor de água deve estar em torno de 90% do peso do conteúdo total. Tanto o excesso, quanto a falta de água podem prejudicar o processo de biodigestão (Ruiz, 1992).

Como pode ser observado na Tabela 1, há elevada geração de resíduos orgânicos provenientes de atividades agropastoris, sendo que esses valores foram registrados em maio de 2015 por Rodrigues (2015). Apesar da variação sazonal de geração de resíduos, a partir dos dados ora apresentados podem ser realizadas inferências com relação ao potencial energético do resíduo em questão.

**Tabela 1. Caracterização dos resíduos da UFV, realizada em maio de 2015.**

Atividade geradora*	Animais	Sólidos totais	Umidade	Relação C:N
	unidades	kg/d	(%)	-----
Avicultura	700	1190	99,69	7,27
Bovinocultura	130	1622	98,74	15,54
Caprinocultura	400	18	99,90	45,75
Ranicultura	500	60	99,86	33,94
Suinocultura	392	503	98,88	2,12

**Fonte:** Rodrigues (2015).

A mistura de resíduos orgânicos ricos em carbono, melhora o equilíbrio de nutrientes e a relação C:N, a qual deve estar no intervalo de 20-30 (Speece, 1996), tal como recomendado para um funcionamento estável de digestão anaeróbica.

Utilizando a Equação 1 (Colatto; Langer, 2011) e a Tabela 2 abaixo calcula-se a quantidade por mês de metano em m<sup>3</sup>:

$$CH_4 = 30 \text{ dias} \times \text{cabeças} \times \text{Et} \times \text{Pb} \times \text{Conc. CH}_4 \times \text{VE}^{-1} \quad \text{equação (1)}$$

Em que: Et = Dejeito total [kg de dejetos t (dia.unidade geradora)<sup>-1</sup>];

Pb = Produção de biogás (kg biogás kg esterco<sup>-1</sup>);

Conc. CH<sub>4</sub> = Concentração de metano no biogás (%);

VE<sup>-1</sup> = Volume específico do metano (kg CH<sub>4</sub> m<sup>-3</sup> CH<sub>4</sub><sup>-1</sup>), sendo este igual a 0,670kg CH<sub>4</sub> m<sup>-3</sup> CH<sub>4</sub><sup>-1</sup>.

Após a realização dos cálculos citados anteriormente, o resultado encontrado para o potencial de geração do CH<sub>4</sub> na UFV é de 2893,04 m<sup>3</sup>/mês de CH<sub>4</sub>, como apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2. Estimativa do potencial da biomassa produzida na UFV quanto a produção de biogás.**

Atividade	kg de biogás/kg de esterco	Concentração de CH <sub>4</sub>	m <sup>3</sup> /mês
Avicultura	0,055 <sup>1</sup>	60 <sup>1</sup>	1178,10
Bovinocultura	0,037 <sup>1</sup>	60 <sup>1</sup>	1080,25
Caprinocultura	0,030 <sup>2</sup>	50 <sup>1</sup>	8,10
Ranário	18,34 cm <sup>3</sup> /L <sup>3</sup>	40 <sup>4</sup>	9,11
Suinocultura	0,062 <sup>1</sup>	66 <sup>1</sup>	617,48

<sup>1</sup> Dados obtidos em Colatto; Langer (2011);

<sup>2</sup> Jain et al. (1981) atribuíram valores de m<sup>3</sup>/kg, as transformações foram realizadas levando em consideração que 1 kg de metano ocupa 0,0452 m<sup>3</sup>;

<sup>3</sup> Relacionado a aquicultura Martins (2015);

<sup>4</sup> Valor estimado.

Considerando-se que 1 MWh (=1000kWh) equivalem a 94,962 metros cúbicos de CH<sub>4</sub>, assim cada kWh vale 94,962/1000 = 0,094962 metros cúbicos de CH<sub>4</sub>. Ou seja, 1 metro cúbico de CH<sub>4</sub> é igual 1000/94,962 = 10,53 kWh (Macedo, 2008). Dessa forma, aplicando os valores padrões anteriormente estabelecidos, obtêm-se um total de 30 465,16 kWh mês<sup>-1</sup> de energia.

Admitindo que a potência do chuveiro pode variar de 4.500 a 6.000 watts no modo Inverno (quente) ou de 2.100 a 3.500 watts no modo Verão (morno). O consumo por hora (60 minutos) de uso é de 4,50 a 6,0 kWh (quilowatts-hora) na posição Inverno e de 2,10 a 3,50 kWh no Verão. Para exemplificar um tipo de destinação da energia na própria UFV, pode-se traçar um paralelo com a energia necessária no banho nos alojamentos universitários. De acordo com a divisão de assistência estudantil, os alojamentos da UFV possuem 1390 vagas. Se cada estudante leva 8 minutos no banho e toma um banho por dia temos ao final de um mês que o consumo de energia somente para o banho seria de 36720 kWh por mês, ou seja, a digestão anaeróbia geraria 83% da energia necessária para aquecer o banho dos estudantes.

## LAGOAS DE ALTA TAXA

As LATs, também conhecidas como *raceways*, possuem profundidade entre 0,2 a 1,0 m. A mistura do efluente no interior da lagoa se dá por uma estrutura de pás, que conferem velocidade horizontal que deve estar na faixa de 0,15 a 0,3 m.s<sup>-1</sup> (Craggs, 2005). Em LATs, é comum a adição de CO<sub>2</sub> para suprir a demanda das algas e esta deve ser realizada no sentido contrário ao fluxo do efluente, facilitando a dissolução do gás (Park et al., 2011). Durante seu desenvolvimento nas LATs, as microalgas assimilam os nutrientes existentes no meio, e quando são coletadas, consequentemente, ocorre a remoção/recuperação desses nutrientes do efluente.

Existem empresas que trabalham com a produção de biomassa algal em escala comercial com LATs que atingem dimensões em nível de hectare, o que seria o caso da UFV, caso optasse por esse tipo de tratamento. Estima-se que o custo de operação de um sistema de LAT para produção de microalgas pode ser menor diante da inclusão da digestão anaeróbia da biomassa, após a extração de lipídeos. Esse processo pode gerar biogás

rico em gás metano, que pode ser utilizado na geração da energia necessária à operação do próprio sistema (Sialve et al., 2009).

## **COMPOSTAGEM**

Os microrganismos que participam efetivamente do processo são os aeróbios e os facultativos (PROSAB, 2001), sendo que os principais responsáveis pelo processo de compostagem são as bactérias, os fungos e os actinomicetos (Pereira Neto, 2011).

Uma das principais limitações com relação a compostagem dos resíduos agroindustriais produzidos na UFV seria a elevada umidade dos mesmos, que devido a lavagem dos locais onde ocorre produção fazem com que haja diluição do efluente e os efluentes tenham um teor de umidade muito elevado como apresentado na Tabela 2. Sendo assim, para realização da compostagem dos resíduos gerados nessas atividades, é necessário que a coleta dos resíduos ocorra antes da lavagem das áreas de criação de animais como no caso da bovinocultura, avicultura, caprinocultura e suinocultura. Usualmente, a umidade ideal para favorecer o processo de compostagem está em torno de 55 a 60%. Umidades abaixo de 40% podem prejudicar diretamente na atividade das bactérias responsáveis pela degradação dos resíduos e por sua vez, umidades muito altas, (acima de 60%), tornam o ambiente anaeróbio reduzindo consequentemente a eficiência do processo (Lima, 2004).

Deve-se destacar o papel do carbono e do nitrogênio, entre os nutrientes utilizados pelos microrganismos considerados como fatores limitantes para o processo. O nitrogênio está diretamente ligado à reprodução celular dos microrganismos envolvidos. Já o carbono tem como uma de suas funções fornecer energia para as atividades básicas dos microrganismos. Considera-se como satisfatória, para o bom desenvolvimento do processo uma relação carbono/nitrogênio da ordem de 30 a 40:1 (Pereira Neto, 2011).

## **CONCLUSÃO**

É de fundamental importância que a universidade atue como um agente colaborador do ensino para a educação ambiental e sustentabilidade. Nesse sentido, o aproveitamento dos resíduos agropastoris, além de gerar benefícios científicos com a realização de pesquisas em torno dos mesmos, pode culminar em economia de recursos, além de servir como um exemplo para a sociedade.

No caso específico da UFV, as três possibilidades citadas além de promoverem o tratamento do resíduo, tem potencial de geração de subprodutos que beneficiem economicamente a Universidade. Das possibilidades de tratamento avaliadas, acredita-se que a digestão anaeróbia seja por ora a mais indicada a ser implantada num curto prazo e as demais a longo prazo. A digestão anaeróbia pode ser aplicada a todos os resíduos gerados sem a necessidade de mudança no manejo realizado nas atividades geradoras.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ADELARD, L., POULSEN, T.G., RAKOTONIAINA, V. Biogas and methane yield in response to co-and separate digestion of biomass wastes. *Waste Management & Research*, v. 33, p. 55-62, 2015.
2. COLLATO, L., LANGER, M. Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia. *Unoesc & Ciência – ACET*, v. 2, p. 119-128, 2011.
3. CRAGGS R.J. Advanced integrated wastewater ponds. In: Shilton A. (ed) *Pond treatment technology. IWA scientific and technical report series*. IWA, London, p. 282–310, 2005.
4. FRIGON, J.C., GUIOT, S.R. Biomethane production from starch and lignocellulosic crops: a comparative review. *Biofuels. Bioproducts and Biorefining*, v. 4, p. 447-458, 2010.
5. JAIN, M.K., SINGH, R., TAURO, P. Anaerobic digestion of cattle and sheep wastes. *Agricultural Wastes*, v. 3, p. 91-98, 1981.
6. LIMA, L.M.Q. *Lixo: Tratamento e Biorremediação*. 3. ed. Brasil: Hemus, 2004. 265 p.
7. MACEDO M. J. M. À volta dos números (2008), Disponível em: <<http://avoltadosnumeros.blogspot.com.br/2008/07/os-metros-cubicos-de-gas-expressos-em.html>>. Acesso em: 24 jan. 2017.

8. MARTINS, V.P., JORDAN, R.A., ALMEIDA, A.C., SOARES, V.A., RIBEIRO, E.F., SILVA, L.P.P. Utilização de resíduos da piscicultura intensiva com recirculação para produção de biogas. In: 9º ENEPEX – Encontro de Ensino Pesquisa e Extensão. 1p., 2015.
9. NUÑES CAMARGO, D.W. Uso de resíduos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. *Tecnura*, v. 14, p. 142-156, 2012.
10. PARK, J.B.K., CRAGGS, R.J., SHILTON, A.N. Wastewater treatment high rate algal Ponds for biofuel production. *Bioresource Technology*, v. 102, p. 35-42, 2011.
11. PEREIRA NETO, J.T. *Manual de Compostagem: Processo de Baixo Custo*. 1. ed. 3ª Reimpressão, Viçosa: Ed. UFV, 2011. 81 p.
12. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB. *Resíduos Sólidos Urbanos Provenientes de Coletas Especiais: Eliminação e Valorização*. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 240 p. 2001.
13. RODRIGUES, F. B. Diagnóstico do lançamento de águas residuárias na sub bacia do córrego dos Araújos, Campus UFV Viçosa. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
14. RUIZ, R.L. Microbiologia do rúmen e do biodigestor. In: RUIZ, R. L. *Microbiologia zootécnica*. São Paulo: Roca, p. 124-167, 1992.
15. SHIEL, C., LEAL, W.F., PAÇO, A., BRANDLI, L. Evaluating the engagement of universities in capacity building for sustainable development in local communities. *Evaluation and Program Planning*, v. 54, p. 123–134, 2016.
16. SIALVE, B., BERNET, N., BERNARD, O. Anaerobic digestion of microalgae as a necessary step to make microalgal biodiesel sustainable. *Biotechnology Advances*, v. 27, p. 409 – 416, 2009.
17. SPEECE, R.E. *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*. Nashville: Archae press, 1996.
18. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. Disponível em: <[http://www.portal.ufv.br/crp/?page\\_id=88](http://www.portal.ufv.br/crp/?page_id=88)>.