

Artigo

Avaliação do Potencial de Uso de Biofertilizante de Esterco Bovino Resultante do Sistema de Manejo Orgânico e Convencional da Produção de Leite

Matos, C. F.; Pinheiro, E. F. M.; Paes, J. L.; Lima, E.; Campos, D. V. B.*

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (5), 1957-1969. Data de publicação na Web: 6 de setembro de 2017

<http://rvq.sbq.org.br>

Evaluation of the Potential of Use of Bovine Manure Biofertilizer Resulting from the Management System of Organic and Conventional Milk Production

Abstract: The objective of this study was to evaluate the agronomic potential of the biofertilizer resulting from the anaerobic biodigestion of milk cattle, under organic system (DBSO) and conventional (DBSC) of production. Eight prototypes of biodigesters supplied with bovine waste were used. The experimental design was completely randomized, with 4 replicates for each treatment. After the process of anaerobic biodigestion of wastes, chemical, physical and biological analyzes were performed, in accordance with CONAMA Legislation 375/06. DBSO and DBSC biofertilizers presented a minimum carbon content to be considered as organic fertilizer, with values of 392.4 and 411.9 g kg⁻¹, respectively. The Mg, K and Fe contents were higher in DBSO biofertilizer and Ca, Mn, Cu, Zn and Ba contents were higher in DBSC biofertilizer. DBSC biofertilizer had Cd content above that allowed by law for organic fertilizers. Therefore, milk production systems influence the biofertilizer chemical and physical characteristics. The manure produced by cattle under organic system of milk production showed greater potential of use as organic fertilizer when compared to the manure from conventional management.

Keywords: Bovine manure; organic fertilizer; biodigester; agricultural waste; animal waste treatment.

Resumo

Objetivou-se avaliar o potencial de utilização como adubo orgânico do biofertilizante, resultante da biodigestão anaeróbica de dejetos de bovinos de leite, sob sistema orgânico (DBSO) e convencional (DBSC) de produção. Utilizaram-se oito protótipos de biodigestores abastecidos com os dejetos de bovinos. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições para cada tratamento. Após o processo de biodigestão anaeróbica foram realizadas análises químicas, físico-químicas e biológicas, de acordo com a Resolução CONAMA 375/06. Os biofertilizantes oriundos de DBSO e DBSC apresentaram um teor de carbono mínimo para serem considerados fertilizantes orgânicos, com valores de 392,4 e 411,9 g kg⁻¹, respectivamente. A biodigestão anaeróbica elevou o pH e reduziu a condutividade elétrica (CE) no material efluente, apresentando diferença estatística entre os dois tratamentos. Os teores de Mg, K e Fe foram superiores nos biofertilizantes de DBSO e os de Mn, Cu, Zn e Ba foram maiores nos biofertilizantes de DBSC. No biofertilizante oriundo de DBSC o teor de Cd ficou acima do permitido por lei para fertilizantes orgânicos. Portanto, os sistemas de produção de leite influenciam nas características químicas e físico-químicas do biofertilizante produzido. O esterco produzido por bovinos sob sistema orgânico de produção de leite demonstrou maior potencial de uso como adubo orgânico quando comparado ao esterco oriundo do manejo convencional.

Palavras-chave: Adubação orgânica; biodigestor; resíduos agrícolas; tratamento de dejetos animais.

* Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, CEP 22460-000, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

 david.campos@embrapa.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20170115](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170115)

Avaliação do Potencial de Uso de Biofertilizante de Esterco Bovino Resultante do Sistema de Manejo Orgânico e Convencional da Produção de Leite

Camila F. Matos,^a Érika Flávia M. Pinheiro,^a Juliana L. Paes,^b Eduardo Lima,^a David V. B. de Campos^{c,*}

^a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Campus Seropédica, CEP 23890-000, Seropédica-RJ, Brazil.

^b Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Campus Seropédica, CEP 23890-000, Seropédica-RJ, Brazil.

^c Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, CEP 22460-000, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

* david.campos@embrapa.br

Recebido em 30 de agosto de 2017. Aceito para publicação em 30 de agosto de 2017

1. Introdução
2. Material e métodos
3. Resultados e discussão
4. Conclusão

1. Introdução

O Brasil destaca-se no setor agropecuário como um dos maiores produtores de leite do mundo, apresentando um rebanho leiteiro de 40.770.339 cabeças e cerca de 1,35 milhões de produtores de leite.^{1,2} A crescente demanda da produção agropecuária trouxe, por conseguinte, a adoção de um sistema de criação intensiva que caracteriza-se pela elevada deposição de resíduos.^{3,4} A geração desses resíduos durante a produção de leite pode tornar-se um grave problema econômico e ambiental se não for corretamente gerenciada.⁵ O confinamento de 1.000 cabeças de bovinos, por exemplo,

resulta na produção de 4.200 t de resíduos sólidos e 75 m³ de resíduos líquidos por dia.^{6,7} Esse montante, quando mal manejado, pode contribuir intensamente na poluição do ar (emissões de metano), do solo e dos recursos hídricos.

Sendo assim, a gestão sustentável dos resíduos agropecuários tem sido recomendada como forma a mitigar os problemas causados pelo seu acúmulo.⁸ A sua utilização como insumo na produção agrícola é uma alternativa para reduzir a poluição, além de melhorar a qualidade do solo.⁹ Estes dejetos são frequentemente utilizados como fontes de adubação de forragens, porém, quando aplicados sem tratamento devido podem aumentar o

potencial de poluição. Uma alternativa de tratamento de dejetos animais, recomendada pelo Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono), é o sistema de biodigestão anaeróbica, que pode ser empregado com intuito de reduzir o potencial poluidor, produzir biogás e permitir o uso do efluente como biofertilizante.¹⁰

A biodigestão anaeróbia é um processo bioquímico que ocorre na ausência de oxigênio molecular livre, utilizada no tratamento e reciclagem de resíduos orgânicos, responsáveis pela produção de biogás (constituído, em maior proporção, por gases CH₄ e CO₂), bem como a produção de biofertilizante.¹¹⁻¹³

Destaca-se ao final do processo de biodigestão a estabilização do material orgânico, que pode proporcionar a adição de matéria orgânica no solo na forma de húmus, importante para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Santos & Nogueira enfatizam que o biofertilizante permite reciclar nutrientes e manter a produtividade do solo em níveis adequados pela presença de macro e micronutrientes disponíveis.¹⁴

Para utilização adequada do biofertilizante é necessário conhecer a composição física, química e biológica do material, para que o mesmo possa ser utilizado de forma segura sem contaminar o ambiente e para que seja melhor aproveitado para as culturas. Tais fatores foram alicerces para a resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2006).¹⁵ Essa resolução também indica a observação do disposto no Decreto no 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.¹⁶

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial de utilização como adubo orgânico do biofertilizante resultante da biodigestão anaeróbica de dejetos de bovinos

de leite, manejados sob sistema orgânico (DBSO) e convencional (DBSC) de produção.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Campus Seropédica. O clima da região é classificado como Aw, segundo a classificação de Köppen, com chuvas concentradas no período novembro a março, precipitação anual média de 1213 mm e temperatura média anual de 24,5 °C.^{17,18}

Para a realização do experimento foram construídos oito protótipos de biodigestores de bancada, sendo o sistema de abastecimento em batelada. Os biodigestores foram constituídos de câmara de fermentação ou biodigestão, campânula ou gasômetro e um manômetro de coluna d'água. O sistema, câmara de biodigestão e gasômetro, foram inseridos no interior de um recipiente preenchido com água, para servir de suporte para o gasômetro flutuar, proporcionar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido. Assim, para o funcionamento do gasômetro foi adotado o sistema flutuante. O volume total da câmara de biodigestão foi de 2,35 L e o tempo de biodigestão anaeróbia foi de 30 semanas, pois ainda se observava a produção de biogás.

Os tratamentos avaliados foram: a) DBSO - dejetos de bovinos sob sistema orgânico de produção. Esses dejetos eram provenientes do Setor Experimental de Produção Animal da 'Fazendinha Agroecológica do km 47', localizada no município de Seropédica (RJ). No momento da coleta, o rebanho bovino leiteiro contava com 50 cabeças da raça Girolando Leiteiro (*Bostaurus* L.). Esses animais são alimentados à base de pasto de capim-marandu (*Urochloa brizantha*), manejado organicamente, sem a adubação mineral e, durante a seca, recebem no cocho, quando há disponibilidade, capim, cana e leguminosa, também oriunda da produção orgânica. A limpeza das instalações é

realizada somente com água, e a retirada do esterco do curral foi feito por raspagem e; b) DBSC - dejetos de bovinos sob sistema convencional de produção. Os dejetos eram provenientes do setor de bovinocultura leiteira da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro – PESAGRO-RJ, também localizada no município de Seropédica (RJ). O rebanho da propriedade contava com o número de 180 cabeças da raça Girolando (*Bostaurus* L.). Esses animais são alimentados em sistema à base de pasto de capim-marandu (*Urochloa brizantha*), mas também consumiam ração comercial com 20% de proteína bruta, além de farelo de algodão, milho, soja e complementação com macronutrientes e micronutrientes. Os bezerros são alimentados com ração à base de milho, soja e sal mineral. A limpeza das instalações e do equipamento de ordenha é realizada com sabão, detergente alcalino e ácido. A retirada do esterco do curral foi feito por raspagem.

Após a coleta, para a preparação do substrato, inicialmente foi realizada a determinação de sólidos totais (ST), com base na metodologia descrita pela Apha,¹⁹ conforme recomendação da Resolução CONAMA 375/06.¹⁵ Foi utilizada a Resolução CONAMA 375/06 que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário (ETE) e seus produtos derivados, e dá outras providências. Essa Resolução foi utilizada, pois orienta valores de referência, parâmetros e metodologia para lodos de esgoto e por ainda não haver legislação direcionada para o uso de dejetos animais e seus produtos de forma adequada à proteção do meio ambiente e da saúde da população. Dessa forma pesou-se, aproximadamente, 30 g de dejetos de bovinos em cadinhos de alumínio para a determinação do peso úmido (PU). Em seguida, os cadinhos foram levados para a estufa à 105°C, até atingirem peso constante, de forma a determinar o peso seco (PS). Foram realizadas seis repetições, em cada dejetos de bovino (sob o sistema orgânico e convencional de produção). O teor de sólidos

totais foi quantificado por meio da Equação 1:

$$U = \frac{P \cdot U - PS}{PU} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

$$ST = 100 - U$$

Em que:

U = teor de umidade, em %;

ST = teor de sólidos totais, em %;

PU = peso úmido da amostra, em g; e

PS = peso seco da amostra, em g.

A partir dos resultados observados na análise de sólidos totais (ST), que são todas as substâncias sólidas que permaneçam no cadinho após a total secagem de um determinado volume de amostra, a 103-105°C, determinou-se a quantidade de água a ser adicionada à matéria-prima, a fim de se obter uma concentração de 8% de sólidos totais em todos os oito protótipos de biodigestores.

As amostras de dejetos bovinos foram coletadas sempre no período da manhã e acondicionadas em potes plásticos fechados hermeticamente. As análises físicas e químicas foram realizadas imediatamente após a coleta. A caracterização do material de entrada e saída do biodigestor (afluente e efluente) foi realizada segundo a Resolução CONAMA 375/06,¹⁵ quanto ao pH, condutividade elétrica, sólidos totais e umidade. As medidas de condutividade elétrica foram realizadas através da leitura direta em condutímetro digital de bancada marca MS Tecnopon®, modelo mPA-210, utilizando a solução padrão 146,9 µS/cm para a calibração do equipamento. As medidas de pH foram realizadas através de leitura direta em medidor digital de pH de bancada marca MS Tecnopon®, utilizando as soluções tampão pH 4,0 e pH 7,0 para a calibração do equipamento.

No material efluente foram feitas análises de macronutrientes (cálcio, magnésio, fósforo, potássio), micronutrientes (cobre, níquel, ferro, manganês, zinco) e outros metais (alumínio, bário, cádmio, chumbo, sódio). Para a caracterização desses metais foi realizado o preparo do material por meio da secagem em estufa à 60 °C, durante uma semana. Após a secagem, o material orgânico foi macerado e peneirado (em peneira com abertura de 100 mesh) para a realização das análises químicas. Para a determinação dos elementos químicos, 1g das amostras finamente moídas foram digeridas, por via úmida, em sistema fechado, num Digestor MARS Xpress®, segundo o método SW-846 3051A (USEPA, 2007), que é o recomendado pela Resolução Conama 375/2006.²⁰ Utilizou-se 10 ml de HNO₃ (VETEC 65%), em tubo de teflon até atingir a temperatura de 130 °C. Após o resfriamento, os extratos foram filtrados e diluídos até o volume de 50 ml com água milliQ. Os brancos tiveram o mesmo tratamento. Visando uma padronização da obtenção das concentrações

desses elementos, a Resolução Conama 375/2006 recomenda utilizar as metodologias determinadas pela USEPA: 3050, 3051 ou suas atualizações.²⁰⁻²¹

Os elementos sódio e potássio observados nos extratos foram determinados em um fotômetro de chama da marca Digimed, modelo Dm-22, utilizando chama ar-acetileno e fenda de 0,2 nm, segundo metodologia Embrapa.²² As concentrações dos demais macronutrientes, micronutrientes e metais nos extratos foram determinadas por Espectrometria de Absorção Atômica (equipamento da marca Agilent Technologies, modelo Variam SpectrAA 55B) e armazenados em tubos tipo Falcon de polietileno. A digestão de todas as amostras foi realizada em triplicata, em cada repetição. A validação de métodos analíticos foi realizada de acordo documento INMETRO DOQ-CGCRE-008, de março/2003, através dos parâmetros de limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ) para cada elemento, conforme demonstra a Tabela 1.²³

Tabela 1. Limites mínimos de detecção e quantificação para análise de macronutrientes, micronutrientes e metais

Limites	Mg	Ba	Cd	Pb	Cu	Ni	Fe	Mn	Zn	Cr
	-----g kg ⁻¹ -----									
LD	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
LQ	0,08	0,00	0,00	0,04	0,00	0,07	0,04	0,00	0,01	0,03

Para realização da análise dos teores de carbono e nitrogênio no afluente e efluente foram pesados, aproximadamente, 5 mg de material macerado e passado em peneira de 100 mesh. As amostras foram colocadas em cápsulas de estanho e a digestão do material foi feita via combustão seca em câmara de combustão em temperatura de, aproximadamente, 980 °C, pelo uso de um analisador CHNS modelo 2400 Perkin Elmer, padrão acetanilida 71,09 % C e 10,36 % N. As faixas de detecção desse equipamento são de 0.001-3.6 mg para C e 0.001-6.0 mg para N. A digestão de todas as amostras foi realizada em triplicata, em cada repetição.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições para cada tratamento. Os procedimentos estatísticos foram realizados com o auxílio do programa estatístico "R-Project" versão 3.2.3.²⁴ As análises constaram do teste da normalidade (Shapiro Wilk) e da homocedasticidade (Bartlett). Após a verificação da normalidade e da homogeneidade dos dados, foi realizada a análise da variância, baseando-se nos valores do "F", para testar a significância (P=0,05).

3. Resultados e discussão

Os valores médios das análises de pH, condutividade elétrica (CE) e umidade (U) do

material de entrada de abastecimento do biodigestor (afluente) e do material de saída (efluente ou biofertilizante) de cada tratamento avaliado estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de pH, condutividade elétrica (CE) e umidade (U) no material afluente (A) e efluente (E)

Tratamentos	pH	CE (dS m ⁻¹)	U (%)	pH	CE (dS m ⁻¹)	U (%)
	----- Afluente -----			----- Efluente -----		
DBSO	6,9 Ba	0,7 Aa	91,8 Ba	7,5 Aa	0,6 Ba	93,3 Aa
DBSC	6,7 Bb	0,6 Ab	91,7 Ba	7,3 Ab	0,5 Bb	93,5 Aa

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si na comparação do afluente e efluente (P=0,05).

*Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si na comparação dos tratamentos(P=0,05).

A biodigestão anaeróbica proporcionou um aumento estatisticamente significativo ($p=0,05$) nos valores de pH na ordem de 8,7% e 9,0% para DBSO e DBSC, respectivamente. Por outro lado, foi observada uma redução estatisticamente significativa ($P=0,05$) nos valores da CE de 14,3% para DBSO e 16,7% para DBSC, de acordo com a Tabela 2. Na comparação dos sistemas de manejo de produção de leite, o pH obtido a partir da biodigestão DBSO apresentou valor estatisticamente superior em comparação ao biofertilizante oriundo DBSC, porém, ambos se estabeleceram dentro da faixa favorável aos microrganismos responsáveis pelo processo de digestão anaeróbica (pH entre 6-8).²⁵ Observou-se um aumento nos valores de pH, ao final do processo de biodigestão anaeróbica, para ambos os tratamentos avaliados. O aumento de pH observado no processo de biodigestão anaeróbica é esperado, visto que, há transformação dos ácidos contidos nos afluentes em produtos gasosos. Além disso, a degradação de proteínas e ureia em meio anaeróbico produz amônia (NH₃) que, em meio aquoso e alcalino, passa para a forma de hidróxido de amônio.^{26,27}

Dotto & Wolff observaram valores de pH de 6,47 em experimento de biodigestão anaeróbica utilizando dejetos bovinos em biodigestores anaeróbicos em escala experimental em Santa Maria, Rio Grande do Sul, onde a temperatura média anual é de 19,2 °C e o clima é subtropical úmido.²⁸ Campos *et al.*, utilizando biofertilizante de bovino em fermentação anaeróbica observaram pH com valor de 6,8, em experimento implantado no município de Remígio, Paraíba, com clima quente e úmido.²⁹ Segundo Moura, em biodigestores operados com esterco de bovino, os valores ótimos de operação oscilam entre 6,6 e 7,6 com limites de 6,5 a 8,0, corroborando com os resultados do presente estudo.³⁰

O processo de biodigestão anaeróbica foi importante na redução da condutividade elétrica (aproximadamente 14,3% para DBSO e 16,7% para DBSC), evidenciado na Tabela 2 indicando que pode ter havido uma diminuição na quantidade de sais dissolvidos durante o processo de digestão anaeróbica. A Resolução CONAMA 375/06 não apresenta valores de referência para a CE no lodo de esgoto. Por outro lado, a FAO (Food and Agriculture Organization) estabelece

diretrizes para qualidade da água para irrigação e recomenda que a água a ser utilizada seja $< 0,7$ dS/m.³¹ Para Almeida, o intervalo usual na água de irrigação tratando-se de condutividade elétrica varia de 0 a 3 dS/m.³² Os valores observados no presente trabalho para os efluentes se encontram abaixo do permitido para água de irrigação pela FAO, não apresentando assim, risco ao solo e a planta quanto à salinidade.

Em estudo realizado por Medeiros e colaboradores ao produzirem biofertilizante bovino para adubação de tomateiro-cereja, obtiveram como resultado uma condutividade de $3,41$ dS m^{-1} ,³³ superior ao observado no presente estudo e ao limite estabelecido por Almeida.³² O mesmo foi observado no estudo realizado por Nunes *et al.* que, ao produzirem biofertilizante bovino líquido para irrigação de mudas de noni, obtiveram uma CE de $3,11$ dS m^{-1} .³⁴ Ao avaliarem o desempenho de mudas de nim submetidas sobre diferentes níveis de salinidade da água de irrigação no solo com biofertilizante bovino, Mesquita *et al.* observaram uma CE de $3,33$ dS m^{-1} no biofertilizante produzido.³⁵ Já Quadros *et al.*, ao avaliarem o aproveitamento de dejetos de caprinos e ovinos em um biodigestor

contínuo de PVC flexível, observaram que a condutividade elétrica não variou expressivamente com o estágio, antes ou após o tratamento anaeróbico.²⁵ Os presentes trabalhos apresentam valores de CE muito acima do observado neste estudo, evidenciando assim, a qualidade do biofertilizante bovino produzido no que diz respeito à segurança quanto a sua aplicação no solo relacionado à salinidade.

A Tabela 3 apresenta os teores de carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N do material afluente e efluente. Foi observado um decréscimo nos valores de C durante o processo de biodigestão anaeróbia de 5,09% para DBSO e de 18,36% para DBSC. Essa redução é esperada devido ao consumo da matéria orgânica através da degradação microbológica. Tratando-se do N, nenhuma mudança foi observada para o DBSO. No entanto, DBSC apresentou redução de 5% ao final do processo de biodigestão. Os teores de C para DBSO e DBSC foram de $392,4$ e $411,9$ g kg^{-1} , respectivamente, obedecendo assim o Decreto 4.954 que define usos, legislação e métodos de análises para fertilizantes orgânicos, que estabelece o teor total mínimo de 8% para carbono orgânico nos fertilizantes orgânicos.¹⁶

Tabela 3. Teores de carbono (C) e nitrogênio (N) e relação C/N nos biofertilizantes oriundos de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção

Tratamentos	Afluente		Efluente		Afluente	Efluente
	C	N	C	N	Relação C/N	
	-----g kg^{-1} -----					
DBSO	413,2 Ab	15,0 Ab	392,4 Aa	15,8 Aa	28	25
DBSC	505,0 Aa	20,8 Aa	411,9 Ba	19,2 Aa	24	21

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si na comparação do afluente e efluente, (P=0,05).

*Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si na comparação dos tratamentos, (P=0,05).

Os valores da relação C/N apresentaram um decréscimo ao longo do processo de biodigestão anaeróbia, sendo esta redução mais acentuada (12,1%) no tratamento DBSC.

Isto ocorre devido à maior diminuição que se observou na percentagem de N para esse tratamento, indicando uma maior aceleração no processo de humificação.³⁶ As relações

C/N para o material orgânico afluyente dos DBSO e DBSC foram de 28 e 24, respectivamente. Para Cotta *et al.*, relação C/N baixa no material orgânico de entrada causam perdas de nitrogênio na forma de amônia, enquanto que material com alta relação C/N prolongam mais o processo.³⁷ De acordo com Yadivika *et al.* durante a biodigestão anaeróbica, os microrganismos utilizam carbono 25-30 vezes mais rápido do que o nitrogênio, sendo necessária uma relação C/N de 20-30 para o material de entrada, corroborando com o presente estudo.³⁸

Em estudo avaliando a relação C/N obtidas no tratamento anaeróbio de resíduos fruti-hortícolas inoculados com 20% de lodo de esgoto em biodigestor de aço inox, Sgorlon *et al.* encontraram uma relação C/N de 18 nos 100 dias de biodigestão e de 37 ao final dos 300 dias de experimento.³⁹ Os autores justificam esse aumento da relação C/N ao aumento do carbono no meio por algum fator que favoreceu a inibição microbiana, sendo que, para que esse resíduo se encontrasse estabilizado, seria necessário uma relação 10.⁴⁰ Os autores enfatizam que a biomassa morta pode ter aumentado o teor de carbono e minimizado a capacidade de degradação da matéria orgânica, bem como o aspecto físico apresentado em uma forma consistente que pode ter dificultado a atuação dos

microrganismos anaeróbios. Tal fato pode ser observado no presente estudo, onde ocorreu uma baixa redução da relação C/N, indicando, portanto, não haver uma completa estabilização química desse material.

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises de alguns macronutrientes (Ca, Mg, K, P) e metais realizadas a partir de espectrofotometria de absorção atômica. Os teores dos macronutrientes Mg e K foram 38,4 e 29,1% superiores nos biofertilizantes de DBSO, respectivamente enquanto que, os teores de Ca, Na e P foram 49,4, 462 e 5,6% maiores no DBSC. Observa-se que o DBSC possui quase seis vezes maior teor de Na se comparado ao DBSO. Esses valores podem estar associados à qualidade da ração na qual esses animais eram alimentados, bem como a quantidade de sal mineral presente em suas dietas. Não houve diferenças marcantes nas concentrações de Al e P entre os tratamentos. Para os teores de Ca, observaram-se valores de 1,14 e de 1,70% para os DBSO e DBSC, respectivamente, obedecendo assim o mínimo necessário estabelecido pelo Decreto nº 4.954, que é de 1%.¹⁶ Com relação ao teor de Mg, os valores observados se apresentam abaixo do estabelecido pelo referido decreto, que também é de 1%, sendo observado teores de 0,80 e 0,60% para os DBSO e DBSC, respectivamente.

Tabela 4. Concentração de macro e micronutrientes nos biofertilizantes oriundos de dejetos de bovinos sob sistema orgânico e convencional de produção

Tratamentos	Ca	Mg	Na	K	Al	P
	----- g kg ⁻¹ -----					
DBSO	11,42 B	8,77 A	0,10B	0,77 A	<LD*	15,62 A
DBSC	17,06 A	6,22 B	0,61 A	0,47 B	<LD	16,50 A

*Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si (P= 0,05).

* Valor menor que o limite de detecção (LD) do aparelho.

De modo geral, observa-se na literatura um teor de 1 à 5% de fósforo no biofertilizante. O DBSO apresentou teores de 1,5%, não sendo diferente estatisticamente do DBSC, que apresentou valores de 1,6%. Na literatura, o nível de K no biofertilizante varia de 0,5 a 3%. O DBSO apresentou teor de K de 0,07% e o DBSC de 0,04%. Orrico Júnior analisando biofertilizante composto por dejetos de suínos observou concentrações maiores, com médias de 2,05% de P e 2,32% de K, evidenciando assim que a natureza do material orgânico interfere de forma direta nos resultados desses metais no biofertilizante.⁴¹

Sousa *et al.* ao produzirem biofertilizante bovino para adubação de milho em diferentes concentrações, obtiveram na concentração 50% biofertilizante + 50% água teores de Ca, Mg, P e K de 3200, 300, 1100 e 2300 mg kg⁻¹, respectivamente.⁴² Os teores observados pelos autores se encontram abaixo do que recomenda o Decreto nº 4.954 no que diz respeito ao Ca e Mg, sendo inferiores aos observados no presente trabalho. Diniz Neto *et al.* analisando o efeito do biofertilizante bovino e potássico em mudas de oiticica irrigadas com águas salinas, observaram valores de Ca, Mg, Na, K, e P de 310, 730, 339, 490 e 430 mg/kg, inferiores ao presente estudo.⁴³

A Tabela 5 apresenta os teores de alguns micronutrientes e metais nos biofertilizantes e os valores máximos permitidos na Legislação do CONAMA 375/06 e pelo Decreto nº 4.954 para fertilizantes orgânicos. A partir da tabela 5 observa-se que todos os elementos apresentaram diferença estatística entre os tratamentos. O biofertilizante oriundo de DBSO apresentou menores teores dos metais Pb e Cd, o que confere a esse biofertilizante maiores vantagens por contaminar menos o solo quando aplicado em relação ao DBSC (Tabela 5). Os maiores níveis de metais apresentados no DBSC, especialmente o Cd (206 vezes maior que no DBSO), podem ser justificados pelo uso de ração comercial na alimentação dos animais, além da presença de vacinação (prevenção de raiva, carbúnculo

assintomático e aftosa) e uso de antibióticos quando necessário no manejo. Muitas vezes, a utilização de ração e suplementos minerais de baixa qualidade na alimentação bovina podem ter como consequência a concentração residual de metais como Cd e Pb, podendo contaminar além do leite, os dejetos desses animais.⁴⁴⁻⁴⁵ Marçal *et al.* ao estudarem os níveis de Cd e Pb em diferentes formulações minerais para bovinos através da espectrofotometria de absorção atômica, concluiu que, das 10 marcas de formulações analisadas, 6 apresentavam níveis de Pb superior ao limite máximo.⁴⁶⁻⁴⁷

Apesar de também receberem as vacinas necessárias na criação animal devido à obrigatoriedade das leis, os animais pertencentes ao sistema orgânico de produção de leite não recebem antibiótico, sendo tratados por homeopatia.⁴⁸ Esse tipo de tratamento não elimina resíduos presentes em medicamentos utilizados em sistemas convencionais, favorecendo assim, como observado nos resultados, uma melhor qualidade nos dejetos de bovinos sob sistema orgânico. Além disso, a alimentação é feita com o uso de pasto orgânico, sem a utilização de rações comerciais, que apresentam elevados teores de metais.

Com relação aos micronutrientes, os DBSC apresentaram o triplo do teor de Cu (50,03 mg kg⁻¹) sendo estatisticamente diferente dos DBSO (13,83 mg kg⁻¹). Em experimento avaliando qualidade do biofertilizante produzido a partir de dejetos de suínos, Miranda *et al.* observaram níveis de Cu de 157 mg kg⁻¹ e 572 mg kg⁻¹ de Zn no biofertilizante proveniente de dejetos dos animais que recebiam dieta a base de sorgo.⁴⁹ Já em estudo com a finalidade de avaliar o crescimento inicial no milho fertirrigado com biofertilizante em quatro diferentes diluições de esterco:água (1:1, 2:1, 4:1 e 8:1), Lima *et al.* observaram valores mais altos para micronutrientes no biofertilizante com diluição 8:1, com teores de Fe, Cu, Zn e Mn de 43,6; 0,1; 7,3 e 6,6 mg kg⁻¹, valores menores que os apresentados no presente estudo.⁵⁰ Esses valores se encontram muito acima dos apresentados no

presente trabalho e podem ser justificados pela origem diferenciada do biofertilizante (suíno), além da dieta apresentada. Os teores

do micronutriente ferro foram duas vezes maiores no tratamento DBSO (1,4 %) quando comparados ao DBSC (0,6%).

Tabela 5. Valores médios de micronutrientes (Cu, Ni, Fe, Mn e Zn) e metais nos biofertilizantes oriundos de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção. E, a concentração máxima permitida pela Resolução CONAMA 375/06 e os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos pelo Decreto Nº 4.954

Metais	DBSO	DBSC	CONAMA 375/06	DECRETO 4.954
	-----(mg kg^{-1})-----			
Bário	138, 81 A	83,56 B	1300	-
Cádmio	0,04 B	8,22 A	39	3
Chumbo	22,06 B	28,40 A	300	150
Cobre	13,83 B	50,03 A	1500	-
Níquel	4,96 B	8,22 A	420	70
Ferro	1.423,73 A	617,34 B	-	-
Manganês	626,38 B	636,16 A	-	-
Zinco	110, 86 B	240, 23 A	2800	-

*Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si (P= 0,05).

4. Conclusão

Os sistemas de manejo de produção de leite (orgânico e convencional) influenciam nas características químicas e físico-químicas dos dejetos animais e, conseqüentemente, nos biofertilizantes produzidos. Os biofertilizantes oriundos dos DBSO e DBSC apresentam um teor de carbono mínimo para serem considerados como fertilizantes orgânicos.

Os teores dos macronutrientes Mg e K são superiores nos biofertilizantes de DBSO, porém, os teores dos micronutrientes Mn, Cu e Zn são maiores nos biofertilizantes de DBSC. Por sua vez, o DBSC apresenta teores de Cd acima do permitido pela "Legislação de Fertilizantes Orgânicos". Adicionalmente, o biofertilizante de DBSC apresenta cinco vezes mais sódio do que o DBSO.

Conclui-se que o biofertilizante de DBSO apresenta maior potencial de uso como adubo orgânico das culturas, visto que, possui menor condutividade elétrica, menor teor de sódio e todos os demais elementos químicos avaliados se encontram dentro dos níveis permitidos pela legislação.

Agradecimentos

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela concessão da bolsa de estudo à primeira autora e a Agência de Bacias do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP) pelo financiamento da pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ¹ ANUALPEC. *Anuário da Pecuária Brasileira*. Agra FNP Pesquisas Ltda. São Paulo, 2016. [\[Link\]](#)
- ² Montoro, S. B. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2017. [\[Link\]](#)
- ³ Orrico Junior, Marco A. P.; Orrico, Ana C. A.; Lucas Junior, J. Influência da relação volumoso:concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos. *Revista Engenharia Agrícola* **2010**, *30*, 386. [\[CrossRef\]](#)
- ⁴ Ribeiro, G. M.; Sampaio, A. A. M.; Fernandes, A. R. M.; Henrique, W.; Sugohara, A.; Amorim, A. C. Efeito da fonte proteica e do processamento físico do concentrado sobre a terminação de bovinos jovens confinados e o impacto ambiental dos dejetos. *Revista Brasileira de Zootecnia* **2007**, *36*, 2.082. [\[CrossRef\]](#)
- ⁵ Lemes, R. L.; Soares Filho, C. V.; Neto, M. G.; Heinrichs, R. Atributos químicos no solo e produção de alfafa sob doses de biofertilizante. *Semina: Ciências Agrárias* **2013**, *34*, 2211. [\[CrossRef\]](#)
- ⁶ Matos, A. T; *Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos*, Viçosa, 2014.
- ⁷ Mendonça, H. V.; Ometto, J. P. H. B.; Rocha, W. S. D.; Martins, C. E.; Otenio, M. H.; Borges, C. A. V. Crescimento de cana-de-açúcar sob aplicação de biofertilizante da bovinocultura e ureia. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* **2016**, *9*, 973. [\[CrossRef\]](#)
- ⁸ Lemes, R. L.; Soares Filho, C. V.; Neto, M. G.; Heinrichs, R. Atributos químicos no solo e produção de alfafa sob doses de biofertilizante. *Semina: Ciências Agrárias* **2013**, *34*, 2211. [\[CrossRef\]](#)
- ⁹ Lemes, R. L.; Soares Filho, C. V.; Neto, M. G.; Heinrichs, R. Biofertilizer in thenutritionalqualityofalfalfa (Medicago sativa L.). *Semina: Ciências Agrárias* **2016**, *37*, 1441. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁰ Coldebella, A.; Souza, S. N. M.; Souza, J.; Koheler, A.C; *Resumos do 6º Encontro de Energia no Meio Rural*, Campinas, 2006. [\[Link\]](#)
- ¹¹ Leite, V. D.; Lopes, W. S.; Sousa, J. T.; Prasad, S.; Silva, S. A. Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos com alta e baixa concentração de sólidos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2009**, *13*, 190. [\[Link\]](#)
- ¹² Orrico, A. C. A.; Da Silva Sunada, N.; De Lucas Junior, J.; Junior, M. A. P. O.; Schwingel, A. W. Co-digestão anaeróbia de dejetos de suínos e níveis de inclusão de óleo de descarte. *Revista Engenharia Agrícola* **2015**, *35*. [\[CrossRef\]](#)
- ¹³ Xavier, C. A. N.; Junior, J. L. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. *Revista Engenharia Agrícola* **2010**, *30*, 212. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁴ Santos, I. A; Nogueira, L. G. H. Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia. *Revista Agroambiental* **2012**, *4*, 41. [\[CrossRef\]](#)
- ¹⁵ Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 375*. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2006. [\[Link\]](#)
- ¹⁶ Brasil. Decreto nº. 4.954, de 14 de Janeiro de 2004. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 15 de jan. 2004. Seção 1, p. 2. [\[Link\]](#)
- ¹⁷ Carvalho, D. F.; Silva, L. D. B.; Folegatti, M. V.; Costa, J. R.; Cruz, F. A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica, RJ, utilizando lisímetro de pesagem. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* **2006**, *14*, 108. [\[Link\]](#)
- ¹⁸ Silva, D. G.; Lopes, R. P.; Carvalho, D. F. Caracterização do potencial eólico em Seropédica (RJ). *Revista Energia na Agricultura* **2013**, *28*, 185. [\[Link\]](#)
- ¹⁹ Apha. American Public Health Association. *Standard methods for examination of water and wastewater*, 21th ed, Washington: American Water Works Association, 2005. [\[Link\]](#)

- ²⁰ United States Environmental Protection Agency – USEPA; *Microwave assisted acid digestion of sediments sludge, soils, and oils. EPA SW 846 3051ª*, 2007. [\[Link\]](#)
- ²¹ Mattos, A. G. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2014. [\[Link\]](#)
- ²² Silva, F. C.; *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*, 2ª ed, Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2009.
- ²³ INMETRO DOQ-CGCRE-008:2007, Revisão 2. *Orientação sobre validação de métodos de ensaios químicos*, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro, 2007. [\[Link\]](#)
- ²⁴ R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. Version 3.1.0. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. [\[Link\]](#)
- ²⁵ Quadros, D. G.; Oliver, A. P. M.; Regis, U.; Valladares, R.; Souza, P. H. F.; Ferreira, E, J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2010**, *14*, 326. [\[CrossRef\]](#)
- ²⁶ Silva, W. T. L.; Faustino, A. S.; Novaes, A. P. Eficiência do processo de biodigestão em fossa séptica biodigestora inoculada com esterco de ovino. *Documentos Embrapa Instrumentação Agropecuária* **2007**, *34*, 1. [\[Link\]](#)
- ²⁷ Soares, M. T. S.; Calheiros, D. F. F.; Galvani, F.; Feiden, A.; Campolin, A. I.; Da Silva, W. T. L. Parâmetros físico-químicos e eficiência de fossa séptica biodigestora na redução da carga orgânica de esgoto originado de água doce ou salobra, na Borda Oeste do Pantanal. *Cadernos de Agroecologia* **2017**, *11*. [\[Link\]](#)
- ²⁸ Dotto, R. B.; Wolff, D. B. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. *Disciplinarum Scientia* **2012**, *13*, 13. [\[Link\]](#)
- ²⁹ Campos, V. B.; Cavalcante, L. F.; Morais, T. A.; Menezes Junior, J. C.; Prazeres, S. S. Potássio, biofertilizante bovino e cobertura do solo: Efeito no crescimento do maracujazeiro-amarelo. *Revista Verde* **2008**, *1*, 78. [\[Link\]](#)
- ³⁰ Moura, J. P. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Pernambuco, 2012. [\[Link\]](#)
- ³¹ Ayers, R. S.; Westcot, D. W.; *A qualidade da água na agricultura*. Traduzido por H. R. Gheyl; J. F. de Medeiros; F. A. V. Damasceno. Campina Grande-PB, 1991. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29, rev. 1).
- ³² Almeida, O. A.; *Qualidade da água de irrigação*, Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. [\[Link\]](#)
- ³³ Medeiros, R. F.; Cavalcante, L. F.; Mesquita, F. O.; Rodrigues, R. M.; Sousa, G. G.; Diniz, A. A. Crescimento inicial do tomateiro-cereja sob irrigação com águas salinas em solo com biofertilizantes bovino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2011**, *15*, 505. [\[CrossRef\]](#)
- ³⁴ Nunes, J. C.; Cavalcante, L. F.; Rebequi, A. M.; Lima Neto, A. J. De; Diniz, A. A.; Silva, J. J. M.; Brehm, M. A. Da S. Formação de mudas de noni sob irrigação com águas salinas e biofertilizante bovino no solo. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia* **2009**, *6*, 451. [\[Link\]](#)
- ³⁵ Mesquita, F. O.; Nunes, J. C.; Lima Neto, J. De; Souto, A. G. L.; Batista, R. O.; Cavalcante, L. F. Formação de mudas de nim sob salinidade da água, biofertilizante e drenagem do solo. *Irriga* **2015**, *20*, 193. [\[CrossRef\]](#)
- ³⁶ Dores-Silva, P. R.; Landgraf, M. D.; Rezende, M. O. O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. *Química Nova* **2013**, *36*, 640. [\[CrossRef\]](#)
- ³⁷ Cotta, J. A. O.; Carvalho, N. L. C.; Brum, T. S. Rezende, M. O. O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental* **2015**, *20*, 65. [\[CrossRef\]](#)
- ³⁸ Yadavika, S.; Sreekrishnan, T. R.; Kohli, S.; Rana, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques - a review. *Bioresource Technology* **2004**, *95*, 1. [\[CrossRef\]](#)
- ³⁹ Sgorlon, J. G.; Rizk, M. C.; Bergamasco, R.; Tavares, C. R. G. Avaliação da DQO e da

relação C/N obtidas no tratamento anaeróbio de resíduos fruti-hortícolas. *Acta Scientiarum Technology* **2011**, 33, 421. [[CrossRef](#)]

⁴⁰ Kiehl, E. J.; *Fertilizantes orgânicos*, São Paulo, 1985.

⁴¹ Orrico Júnior, M. A. P.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual Paulista, 2008. [[Link](#)]

⁴² Sousa, G. G.; Marinho, A. B.; Albuquerque, A. H. P.; Viana, T. V. A.; Azevedo, B. M. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. *Revista Ciência Agronômica* **2012**, 43, 237. [[CrossRef](#)]

⁴³ Diniz Neto, M. A.; Silva, I. F.; Cavalcante, L. F.; Diniz, B. L. M. T.; Silva, J. C. A.; Silva, E. C. Mudanças de oiticica irrigadas com águas salinas no solo com biofertilizante bovino e potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2014**, 18, 10. [[CrossRef](#)]

⁴⁴ Gonçalves, J. R.; Mesquita, A. J.; Gonçalves, R. M. Determinação de metais pesados em leite integral bovino pasteurizado no estado de Goiás. *Ciência Animal Brasileira* **2008**, 9, 365. [[Link](#)]

⁴⁵ Marçal, W. S.; Campos Neto, O.; Nascimento, M. R. L. Valores sanguíneos de chumbo em bovinos nelore suplementados

com sal mineral naturalmente contaminado por chumbo. *Ciência Rural* **1998**, 28, 53. [[CrossRef](#)]

⁴⁶ Marçal, W. S.; Buture, I. O.; Carvalho, M. C.; Fortes, M. S.; Silva, R. A. Levels of Lead and Cadmium in Mineral Supplements for Cattle Commercialized in Londrina. *Semina: Ciências Agrárias* **2004**, 25, 359. [[CrossRef](#)]

⁴⁷ Oliveira, T. M.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2015. [[Link](#)]

⁴⁸ Florião, M. M. Boas práticas em bovinocultura leiteira com ênfase em sanidade preventiva. Niterói: Programa Rio Rural. *Manual Técnico* **2013**, 38. [[Link](#)]

⁴⁹ Miranda, A. P.; Lucas Junior, J. D.; Thomaz, M. C.; Pereira, G. T.; Fukayama, E. H. Anaerobic biodegradation of pig feces in the initial, growing and finishing stages fed with diets formulated with corn or sorghum. *Revista de Engenharia Agrícola* **2012**, 32, 47. [[CrossRef](#)]

⁵⁰ Lima, J. G. A.; Viana, T. V. A.; Sousa, G. G.; Wanderley, J. A. C.; Pinheiro Neto, L. G.; Azevedo, B. M. Crescimento inicial do milho fertirrigado com biofertilizante. *Revista Agropecuária Científica no Semiárido* **2012**, 8, 39. [[Link](#)]