



Pecuária Sudeste Uva e Vinho

Ambiental é uma temática bastante estudada e discutida, desde a sua aplicação ao âmbito urbano, até incluída a área rural. Entretanto, é na gestão ambiental rural que se encontram os recursos básicos necessários à gestão ambiental. Por isso a necessidade, captada pela Embrapa, de direcionar trabalhos de pesquisa para essa área, adotando ações voltadas ao desenvolvimento sustentável do ambiente produtivo para a agropecuária.

Por uma didática prática, baseada em muitos exemplos, esta obra permite ao leitor resolver uma série de problemas relacionados à gestão ambiental na agropecuária. Endereçada a uma vasta clientela, incluindo estudantes e governantes, seu interesse é promover a tomada de decisão por parte de produtores rurais, profissionais agropecuários, líderes comunitários e demais envolvidos em decisões sobre gestão ambiental no meio rural.

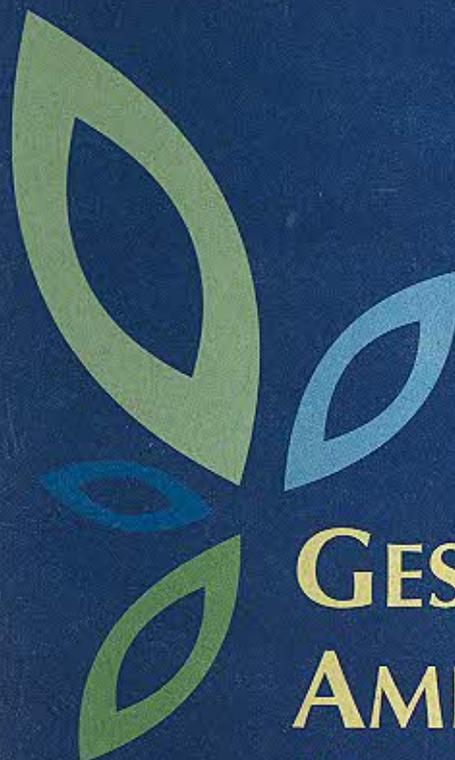
Continuando a linha editorial do primeiro volume, este livro apresenta os recentes avanços da pesquisa sobre gestão ambiental na agropecuária, por meio de uma linguagem acessível ao usuário final, mesmo àquele que não possui experiência nessa área.



CGPE 10195

Volume 2

GESTÃO AMBIENTAL NA AGROPECUÁRIA



GESTÃO AMBIENTAL NA AGROPECUÁRIA

Volume 2

*Julio Cesar Pascale Palhares
Luciano Gebler*

Editores Técnicos



Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pecuária Sudeste
Rodovia Washington Luiz, km 234,
Fazenda Canchim
CEP 13560-970 São Carlos, SP
Fone: (16) 3411-5600
Fax: (16) 3361-5754
www.cppse.embrapa.br
cppse.sac@embrapa.br

Embrapa Uva e Vinho
Rua Livramento, 515
CEP 95700-000 Bento Gonçalves, RS
Fone: (54) 3435-8000
Fax: (54) 3451-2792
www.cnpuv.embrapa.br
cnpuv.sac@embrapa.br

Unidades responsáveis pelo conteúdo
Embrapa Pecuária Sudeste
Embrapa Uva e Vinho

Comitê Local de Publicações

Presidente
Ana Rita de Araujo Nogueira

Secretário-executivo
Simone Cristina Méo Nicuira

Membros
Ane Lisye Fiala Garcia Silvestre
Maria Cristina Campanelli Brito
Milena Ambrosio Telles
Sônia Borges de Alencar

1ª edição
1ª impressão (2014): 1.000 exemplares

Embrapa Informação Tecnológica
Parque Estação Biológica (PqEB)
Av. W3 Norte (Final)
CEP 70770-901 Brasília, DF
Fone: (61) 3448-4236
Fax: (61) 3448-2494
www.embrapa.br/livraria
livraria@embrapa.br

Unidade responsável pela edição
Embrapa Informação Tecnológica

Coordenação editorial
Selma Lúcia Lira Beltrão
Lucilene Maria de Andrade
Nilda Maria da Cunha Sette

Supervisão editorial
Josmária Madalena Lopes

Revisão de texto
Rafael de Sá Cavalcanti

Normalização bibliográfica
Márcia Maria Pereira de Souza

Projeto gráfico e editoração eletrônica
Júlio César da Silva Dellino

Capa
Júlio César da Silva Dellino

Fotos da quarta capa
Marco Antonio Bragaia, Airtun Kunz, Caroline
Alves Galharte, Martha Mayumi Higarashi, Julio
Cesar Pascale Palhares

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação,
no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Informação Tecnológica

Gestão ambiental na agropecuária / Julio Cesar Pascale Palhares, Luciano Gebler, editores
técnicos. - Brasília, DF : Embrapa, 2014.

v. 2 (490 p.) : il. color. ; 16 cm x 22 cm.

ISBN 978-85-7035-302-3

1. Produção animal. 2. Impacto ambiental. 3. Meio ambiente. 4. Solo. I. Palhares,
Julio Cesar Pascale. II. Gebler, Luciano. III. Embrapa Pecuária Sudeste. IV. Embrapa Uva
e Vinho.

CDD 574.5248

© Embrapa 2014

AUTORES

Airtun Kunz

Químico, doutor em Química Ambiental, pesquisador da Embrapa
Suínos e Aves, Concórdia, SC
airton.kunz@embrapa.br

Alexandre Berndt

Biólogo, doutor em Ecologia de Agroecossistemas, pesquisador da
Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP
alexandre.berndt@embrapa.br

André Rodrigo Farias

Geógrafo, mestre em Geografia, analista de geoprocessamento da
Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS
andre.farias@embrapa.br

Bruna Moreira Schrammel

Engenheira-agrônoma, mestranda em Produção Vegetal, Universidade
do Estado de Santa Catarina, Lages, SC
brunaschrammel@hotmail.com

Bruno José Rodrigues Alves

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa
Agrobiologia, Seropédica, RJ
bruno.alves@embrapa.br

Caroline Alves Galharte

Bacharel em Letras, doutora em Ciências da Engenharia Ambiental,
consultora do Instituto Mato-Grossense do Algodão, Cuiabá, MT
carol.galharte@gmail.com

Celso Aita

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor associado
da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS
celsoaita@gmail.com

Cláudia Ana Reczko

Acadêmica de Geografia, bolsista da Universidade de Caxias do Sul,
Bento Gonçalves, RS
anareczko@yahoo.com.br

pasture system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 136, p. 236-246, 2010.

ZHU, J. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, 78, p. 93-106, 2000.



Capítulo 6

TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS

BIODIGESTÃO E COMPOSTAGEM

*Airton Kunz
Martha Mayumi Higarashi
Paulo Armando Victoria de Oliveira*

INTRODUÇÃO

A escolha da tecnologia de tratamento de resíduos de animais é uma análise que deverá ser feita sob a ótica sistêmica e não de ponta de tubo (*end-of-pipe*). Essa visão, já ultrapassada dentro do setor industrial, deve ser também abandonada pela agropecuária para que se adapte e se escolha a tecnologia de tratamento em função da necessidade. A aplicabilidade da tecnologia não deve ser vista sob a tônica de sua universalização porque todas, sem exceção, apresentam vantagens e desvantagens que devem ser de conhecimento do usuário para facilitar a tomada da decisão.

O resíduo oriundo da produção animal é inerente ao processo e precisa ser gerenciado em conjunto com a produção e não de maneira fragmentada. Isso seguramente racionalizará tempo e custos pela adoção de estratégias muitas vezes simples que repercutirão na qualidade e no volume do resíduo gerado.

Neste capítulo serão discutidas duas tecnologias muito difundidas e já aplicadas na agropecuária brasileira, a biodigestão anaeróbia e a compostagem. A discussão a seguir não visa enaltecer essas tecnologias em detrimento das demais e sim, em função de sua utilização, discutir aspectos técnico-científicos que podem contribuir para a redução dos erros e problemas operacionais dentro da propriedade rural.

BIODIGESTÃO ANAERÓBIA E GERAÇÃO DE BIOGÁS

A biodigestão anaeróbia é um processo conhecido há muito tempo e seu emprego para a produção de biogás na conversão em energia de cozimento, iluminação e como biofertilizante é muito popular nos países asiáticos, como China e Índia.

O interesse pelo biogás, no Brasil, intensificou-se nas décadas de 1970 e 1980, especialmente entre os suinocultores. Programas oficiais estimularam a implantação de muitos biodigestores focados, principalmente, na geração de energia e na produção de biofertilizante e diminuição do impacto ambiental. Os objetivos dos programas governamentais eram de reduzir a dependência das pequenas propriedades rurais na aquisição de adubos químicos e de energia térmica para os diversos usos (cozimento, aquecimento, iluminação e refrigeração) e, ainda, reduzir a poluição causada pelos dejetos de animais agregando renda aos produtores. Infelizmente, os

resultados não foram os esperados e a maioria dos sistemas implantados acabou sendo desativada em função do uso de materiais e equipamentos inadequados e falta de conhecimento e acompanhamento técnico.

No final da década de 1990, um novo movimento envolvendo o interesse no biogás começou a surgir motivado pela possibilidade da inserção dos processos de anaerobiose no mercado de carbono via Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Em 2005, com a ratificação da Rússia no protocolo de Quioto, grande euforia foi gerada, principalmente para a agropecuária, na esperança de que os projetos e as Reduções Certificadas de Emissão (RCEs) por si só viabilizariam os empreendimentos.

A flutuação dos preços recebidos na comercialização das RCEs, dificuldades operacionais e a recente crise mundial transformaram a expectativa inicial em grande frustração. O biogás, dentro do MDL, é muito importante e apresenta a tendência de crescimento e valorização sob a ótica do aquecimento global. No entanto, não pode ser visto apenas como única alternativa e sim como parte das várias possibilidades para utilização dentro do leque das energias renováveis.

No final da década passada, a geração de energia elétrica, que até pouco tempo não era considerada nos projetos, passou a ter importância no Brasil, dando um novo impulso ao uso do biogás. Atualmente esse mercado está relativamente aquecido em função da publicação pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), em dezembro de 2009, da Instrução Normativa nº 390/2009, regulamentando a geração distribuída de energia elétrica com biogás e saneamento ambiental.

O PROCESSO DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

A degradação anaeróbia de substratos orgânicos é um processo fermentativo e oxidativo que acontece sob condições anaeróbias, ou seja, na ausência de oxigênio. A Tabela 1 apresenta algumas características da digestão anaeróbia.

O entendimento do processo de obtenção do biogás é de grande importância para o sucesso da tecnologia de aproveitamento do biogás, haja vista que são complementares e, caso não se tenha os devidos cuidados na geração, os processos de utilização poderão estar seriamente prejudicados ou até inviabilizados.

Tabela 1. Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios.

Vantagens	Desvantagens
Baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes comparado aos processos aeróbios	As bactérias anaeróbias são suscetíveis à inibição por um grande número de compostos
Baixo consumo de energia	A partida do processo pode ser lenta na ausência do lodo de boa qualidade
Baixa demanda de área	Alguma forma de pré-tratamento é usualmente necessária
Produção de metano, um gás combustível de elevado poder calorífico	Possibilidade de geração de maus odores
Tolerância a elevadas cargas orgânicas	Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória
Aplicabilidade a pequena e grande escala	

Fonte: adaptado de Chernicharo (2007).

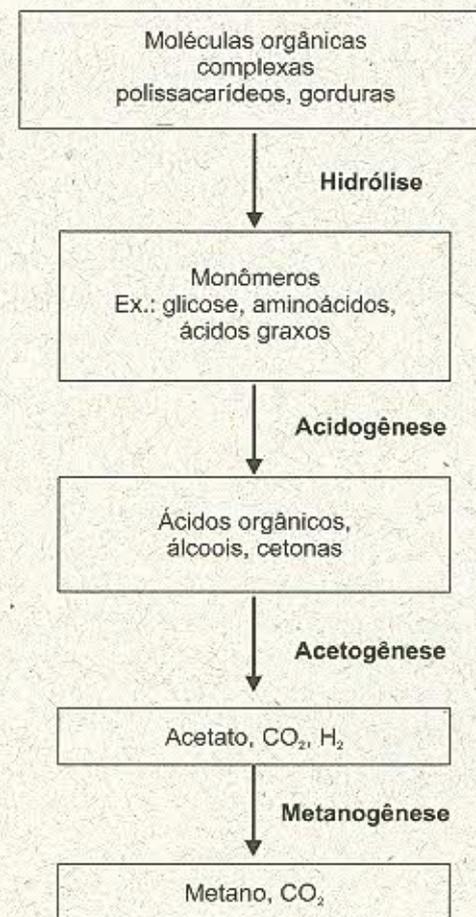
O mecanismo de decomposição anaeróbia se desenvolve pela ação de um consórcio de microrganismos que acontecem de maneira imbricada, ou seja, são interdependentes, em que um dos produtos finais da degradação, e no qual recai maior interesse, é o metano (Figura 1).

Esses microrganismos têm velocidade de crescimento e inibição diferentes e a inoperância de um determinado grupo pode inativar todo o processo. Destes, os mais sensíveis são as arqueas metanogênicas, justamente as de maior interesse, pois são as principais responsáveis pela produção do metano via duas rotas, descarboxilação do acetato ou redução do CO_2 , sendo a primeira responsável por cerca de 70% do metano produzido.

FATORES QUE AFETAM A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Vários fatores podem afetar a eficiência da produção de biogás. Abaixo são citados e discutidos os de maior relevância:

- Composição química do resíduo: substâncias orgânicas facilmente biodegradáveis, como os carboidratos, proteínas e lipídeos, proporcionam uma maior produção de metano quando comparadas às substâncias de difícil degradabilidade, como celulose e lignina.

**Figura 1.** Etapas da degradação anaeróbia.

Fonte: Bitton (2011).

- Oxigênio: os microrganismos produtores de metano são anaeróbios estritos. A decomposição da matéria orgânica na presença de oxigênio irá privilegiar os microrganismos aeróbios, de rápido crescimento, gerando apenas dióxido de carbono (CO_2).
- Temperatura: as velocidades das reações bioquímicas são diretamente afetadas pela temperatura e contribuindo para selecionar grupos de microrganismos com atividades nessas temperaturas.

Os microrganismos, especialmente as bactérias, podem ser classificados de acordo com a temperatura, em três grandes grupos:

- Termófilas: maior atividade biológica em torno de 60 °C.
- Mesófilas: maior atividade biológica em torno de 37 °C.
- Psicrófilas: maior atividade biológica em torno de 15 °C.

À medida que aumentamos a temperatura, também temos um incremento na produção de biogás (Figura 2). Em regiões geográficas com grande amplitude térmica, a produção de biogás pode ser comprometida ou até mesmo cessar pela mudança rápida de condições mesofílicas e termofílicas. Daí a importância de se estudar a pertinência do controle da temperatura da biomassa para garantir a uniformidade da geração de biogás.

- pH: os microrganismos que produzem o metano têm um crescimento ótimo numa faixa de pH entre 6,6 a 7,4. Contudo, a estabilidade da produção de metano pode ser mantida com um pH entre 6,0 e 8,0. A faixa de pH ótima é o resultado das diversas reações que ocorrem. Caso o processo se mantenha dentro das condições de normalidade, o pH se manterá próximo à neutralidade, não afetando a eficiência da geração de biogás.
- Alcalinidade: a alcalinidade é importante, pois, conforme as bactérias produzem ácidos e dióxido de carbono, implicando a diminuição do pH, o carbonato/bicarbonato consome esses ácidos, impedindo grandes flutuações de pH (efeito tampão).

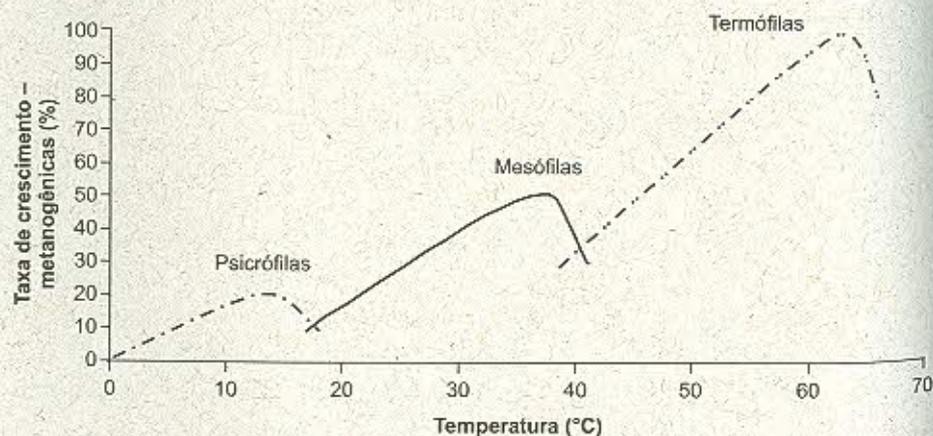


Figura 2. Influência da temperatura sobre as taxas relativas de crescimento das arqueas metanogênicas.

Fonte: Chernicharo (2007).

Quando a quantidade de ácidos voláteis presentes é pequena, a alcalinidade total é praticamente igual à alcalinidade em bicarbonato. Quando os ácidos voláteis aumentam, eles são neutralizados pela alcalinidade em bicarbonato. A redução significativa da alcalinidade pode implicar a inibição do processo pela redução do pH e funciona como um indicador de que o processo não está andando bem.

- Acidez: a acidez do meio está diretamente relacionada com o pH e com a alcalinidade. Uma alta produção e um acúmulo de ácidos voláteis pode consumir rapidamente a alcalinidade do meio e causar a redução do pH. Um exemplo disso é a biodigestão de soro de leite, que causa a acidificação do meio, consumindo a alcalinidade.
- Produção e consumo de ácidos orgânicos: o pH durante a biodigestão anaeróbia está ligado à produção de ácidos graxos e a degradação de seus compostos em metano. Quando as condições ótimas de digestão anaeróbia são prejudicadas, ocorre um aumento na concentração de ácidos voláteis, consequência de um desequilíbrio do processo.
- Nutrientes: os principais nutrientes para as populações microbianas, em ordem decrescente de importância, são nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B12. Via de regra, para resíduos de animais não é necessário fazer suplementação de nutrientes para a biodigestão anaeróbia.
- Outros interferentes: a entrada de antibióticos, inseticidas e desinfetantes no biodigestor pode inibir a atividade biológica, diminuindo a capacidade do sistema em produzir biogás; portanto, quando utilizados, devem ser manejados corretamente para que sua entrada no biodigestor não iniba a atividade biológica. Como regra geral deve-se evitar cargas de choque nos biodigestores.

CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS

Em termos gerais, o biogás é composto majoritariamente por metano e gás carbônico, sendo outros gases como o gás sulfídrico (H_2S), hidrogênio (H_2) e nitrogênio (N_2) presentes a baixas concentrações (Tabela 2).

Tabela 2. Principais gases que compõem o biogás.

Gás	Fórmula química	Concentração no biogás (%)
Metano	CH ₄	50–80
Dióxido de carbono	CO ₂	20–40
Hidrogênio	H ₂	1–3
Nitrogênio	N ₂	0,5–3
Gás sulfídrico e outros	H ₂ S, CO, NH ₃	1–5

Fonte: Coldebella (2006).

O metano (CH₄) é um gás que tem um efeito estufa 21 vezes maior que o do dióxido de carbono (CO₂), contribuindo para o aquecimento global. Assim, há a necessidade da adoção de medidas mitigatórias para se evitar sua liberação na atmosfera.

O CH₄ é um gás incolor, inodoro e altamente combustível. Sua combustão apresenta uma chama azul-lilás e, em função das impurezas ou deficiência de oxigênio, coloração avermelhada. Não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférico é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha.

No sentido de se reduzir os custos, facilitar a medida de biogás a campo e melhorar as ferramentas para tomada de decisão envolvendo a qualidade do biogás, a Embrapa Suínos e Aves desenvolveu um kit para amostragem e análise de biogás (Figura 3).

Esse kit, bastante simples e robusto, se propõe a ser uma ferramenta de apoio ao usuário de biogás para que este possa conhecer sua qualidade e, quando necessário, lançar mão de dados coletados para contribuir na tomada de decisão e na melhora do processo de biodigestão.

Os gases presentes no biogás também apresentam solubilidades em água bastante diferenciadas (Tabela 3). Essa informação pode ser útil para escolha do sistema de purificação do gás adaptado à necessidade do usuário, haja vista que os sistemas envolvendo lavagem do biogás podem aumentar significativamente seu poder calorífico pela remoção do CO₂ (Tabela 4).

O potencial energético do biogás é de grande interesse quando comparado a outros combustíveis (Tabela 5). A concentração de metano também é algo que varia em função da concentração de metano em sua

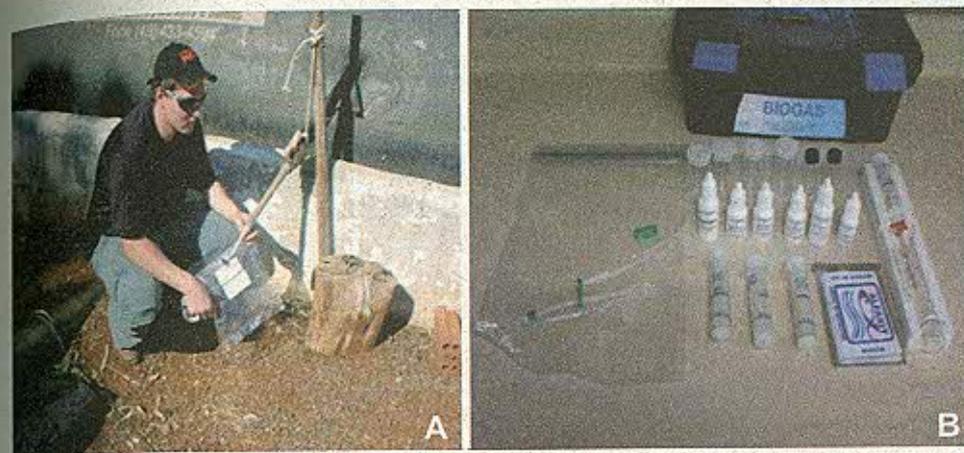


Figura 3. Detalhe da amostragem de biogás em biodigestores (A) e do kit para análise de biogás (B).

Fotos: Airton Kunz

Tabela 3. Solubilidade de alguns gases em água.

Componente	(g L ⁻¹ a 20 °C)
Metano	0,02
Gás carbônico	1,60
Amônia	500
Gás sulfídrico	3,90

Fonte: adaptado de The engineering toolbox (2013).

Tabela 4. Poder calorífico do biogás e do metano.

Combustível	Biogás	Metano
Quantidade (m ³)	1	1
Calor liberado (kJ)	23.400	36.000
Peso específico (kg m ⁻³)	1,2	0,72
Poder calorífico inferior (kJ kg ⁻¹)	19.500	50.000

Fonte: Silva e Lucas Júnior (1992).

Tabela 5. Comparação entre biogás e outros combustíveis.

Combustível	Biogás (1 m ³) equivalente a
Gasolina (L)	0,613
Querosene (L)	0,579
Óleo diesel (L)	0,553
Gás de cozinha (GLP) (L)	0,454
Lenha (kg)	1,536
Álcool hidratado (L)	0,790
Eletricidade (kW)	1,428

Fonte: Gaspar (2003).

composição. Quando originário de aterros sanitários, a proporção de metano é de cerca de 50%. Em reatores anaeróbios e em função do tipo de resíduo, a concentração média pode ser de cerca de 70%. No entanto, comparado com o gás natural (até 95% de metano), apresenta menor poder calorífico, em função da menor concentração de metano.

Sob o ponto de vista de utilização e composição do biogás, especial atenção deve ser dispensada à presença de H₂S, um gás corrosivo e que pode danificar ou destruir tubulações e peças metálicas utilizadas, podendo comprometer a segurança do sistema (Figura 4).

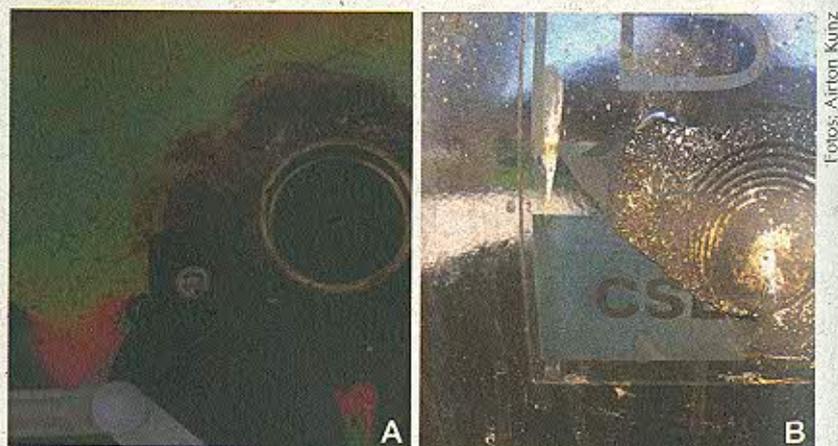


Figura 4. Detalhe de sistema de medida (A) e compressão (B) afetados pela oxidação causada por H₂S em linha de biogás.

A necessidade de remoção de H₂S em muitos casos deverá ser uma estratégia usada para segurança do sistema e aumento de vida útil dos equipamentos. Caso não forem realizados investimentos em sistemas de purificação de biogás, deve-se pensar na utilização de materiais resistentes à oxidação, como, por exemplo, aço inox e PVC.

COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS

A composição do resíduo irá influenciar a escolha do biodigestor, manejo a ser adotado e também a eficiência do biodigestor na geração de biogás. A Tabela 6 mostra a geração de efluentes animais e suas características.

Tabela 6. Produção de dejetos e características por 1.000 kg de animal vivo por dia.

Parâmetro ⁽¹⁾	Unidade	Valor ⁽²⁾	Tipo de animal ⁽³⁾			
			Gado de leite	Suíno	Frango de corte	Poedeira
Dejeto total	kg	Média	86	84	85	64
		D.P.	17	24	13	19
Sólidos totais	kg	Média	12	11	22	16
		D.P.	2,7	6,3	1,4	4,3
Sólidos voláteis	kg	Média	10	8,5	12	12
		D.P.	0,79	0,66	0,84	0,84
DBO	kg	Média	1,6	3,1	**	3,3
		D.P.	0,48	0,72	**	0,91
DQO	kg	Média	11	8,4	16	11
		D.P.	2,4	3,7	1,8	2,7
pH		Média	7,0	7,5	**	6,9
		D.P.	0,45	0,57	**	0,56
N-TKN	kg	Média	0,45	0,52	1,1	0,84
		D.P.	0,096	0,21	0,24	0,22
N-NH ₃	kg	Média	0,079	0,29	**	0,21
		D.P.	0,083	0,10	**	0,18

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Parâmetro ⁽¹⁾	Unidade	Valor ⁽²⁾	Tipo de animal ⁽³⁾			
			Gado de leite	Suíno	Frango de corte	Poedeira
P-Total	kg	Média	0,094	0,18	0,30	0,30
		D.P.	0,024	0,10	0,053	0,081
Zinco	g	Média	1,8	5,0	3,6	19
		D.P.	0,65	2,5	**	33
Cobre	g	Média	0,45	1,2	0,98	0,83
		D.P.	0,14	0,84	**	0,84
Coliformes totais	Colônias	Média	1.100	45	**	110
		D.P.	2.800	33	**	100
Coliformes termotolerantes	Colônias	Média	16	18	**	7,5
		D.P.	28	12	**	2,0

** Não determinado. ⁽¹⁾ DBO = Demanda biológica de oxigênio; DQO = Demanda química de oxigênio. ⁽²⁾ D.P.: desvio padrão. ⁽³⁾ Todos os valores em peso úmido.

Fonte: Kunz e Encarnação (2007).

CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE BIOGÁS EM FUNÇÃO DE DIFERENTES RESÍDUOS

A geração de biogás a partir de resíduos animais é dependente, além da temperatura, pH, alcalinidade e do manejo adotado no sistema de produção de animais confinados (SPAC), também da própria característica do resíduo, que é o substrato para o crescimento dos microrganismos no biodigestor (Tabelas 6 e 7).

Essa diferença na capacidade de geração de biogás está associada a vários fatores, como dieta dos animais e sistema digestivo, que fazem com que sejam produzidos resíduos de características distintas com diferentes potencialidades na produção de biogás. Os dados da tabela acima servem apenas como referência, podendo sofrer alterações em função do que foi discutido anteriormente.

Na digestão anaeróbia, o parâmetro sólidos voláteis (SV) é muito utilizado para avaliação das capacidades de geração de biogás, pois está associado à fração biodegradável do efluente (Figura 5). Os SVs são utilizados inclusive como parâmetros nos projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) (Tabela 8).

Tabela 7. Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos animais.

Animal (peso vivo)	Quantidade ⁽¹⁾			
	kg esterco animal ⁻¹ d ⁻¹	m ³ biogás kg esterco ⁻¹	m ³ biogás kg SV ⁻¹	m ³ biogás animal ⁻¹ d ⁻¹
Bovino (500 kg)	10-15	0,038	0,094-0,31	0,36
Suíno (90 kg)	2,3-2,8	0,079	0,37-0,50	0,24
Aves (2,5 kg)	0,12-0,18	0,050	0,31-0,62	0,014

⁽¹⁾ SV = Sólidos voláteis.

Fonte: Oliveira (1993).

Balço de massa em SV no processo

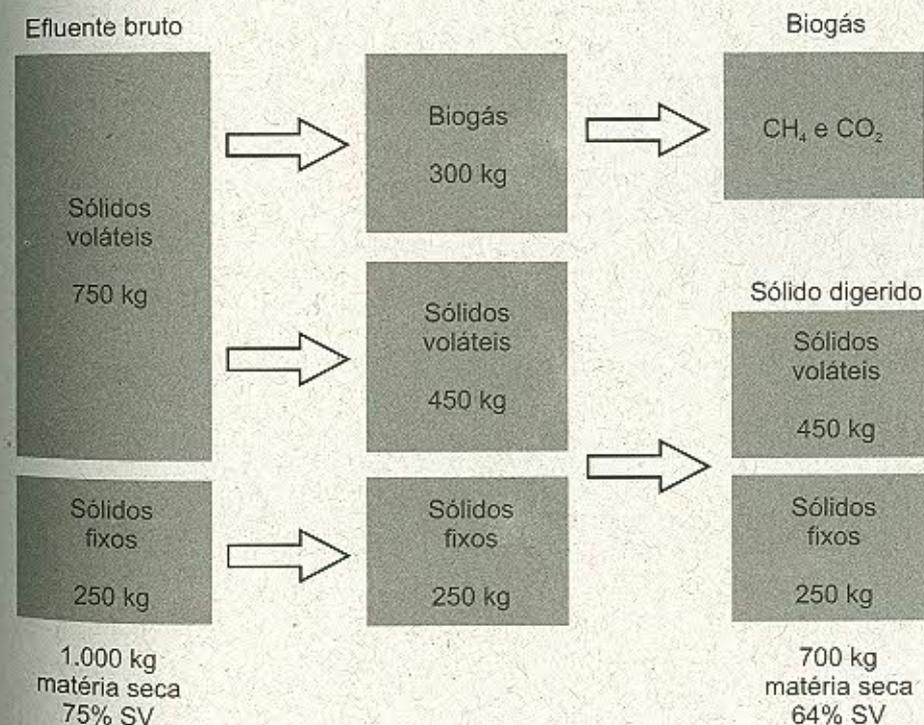


Figura 5. Transformação de sólidos voláteis em um biodigestor. A eficiência é variável em função do biodigestor.

Fonte: Duarte e Ferreira (2007).

Tabela 8. Capacidade máxima de geração de metano (B_0) para diferentes regiões para dejetos de suínos.

Região	B_0 ($m^3 CH_4 kg SV^{-1}$)
América do Norte	0,48
Europa Ocidental	0,45
Leste Europeu	0,45
Oceania	0,45
América Latina	0,29
África	0,29
Oriente Médio	0,29
Ásia	0,29
Subcontinente Indiano	0,29

Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (2006).

A capacidade de geração de biogás também dependerá do nível tecnológico do biodigestor, podendo variar de acordo com o tipo do digestor e condição operacional a qual ele é submetido. Na Tabela 9, temos o exemplo de um reator *Upstream Anaerobic Sludge Blanket* (UASB).

Tabela 9. Capacidade de geração de biogás de reatores UASB e biodigestores para dejetos de suínos.

Tipo de reator	Geração de biogás ($m^3 d^{-1} m^{-3}$)	Qualidade do biogás			CMGB ⁽¹⁾ ($m^3 kg SV^{-1}$)	B_0 ⁽²⁾ ($m^3 kg SV^{-1}$)
		H ₂ S (ppm)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)		
UASB escala piloto (COSTA, 2007)	0,69	189	25	74	1,56	1,15
UASB (KUNZ e ENCARNAÇÃO, 2007)	0,83	124	21	76	1,43	1,09
BLC (KUNZ et al., 2005) ⁽³⁾	0,32	322	29	67	0,31	0,21
BLC (VIVAN e KUNZ, 2008)	0,21	536	34	62	0,33	0,20

⁽¹⁾ Capacidade máxima de geração de biogás. ⁽²⁾ Capacidade máxima de produção de metano.

⁽³⁾ Biodigestor do tipo lagoa coberta.

BIODIGESTOR

O biodigestor é o reator biológico onde acontecem, sob condições controladas, os processos de conversão da matéria orgânica em biogás. Quanto maior o nível de controle e tecnologia utilizada, tanto maior será a probabilidade de aumento da eficiência do sistema.

MODELOS DE BIODIGESTORES

- Biodigestor modelo indiano: possui uma campânula como gasômetro e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras, como mostra a Figura 6. Nesse biodigestor a fermentação é mais rápida, pois aproveita a temperatura do solo, que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias. Pelo fato de permanecer enterrado, é imprescindível a atenção com a possibilidade de vazamento e infiltrações no lençol freático.

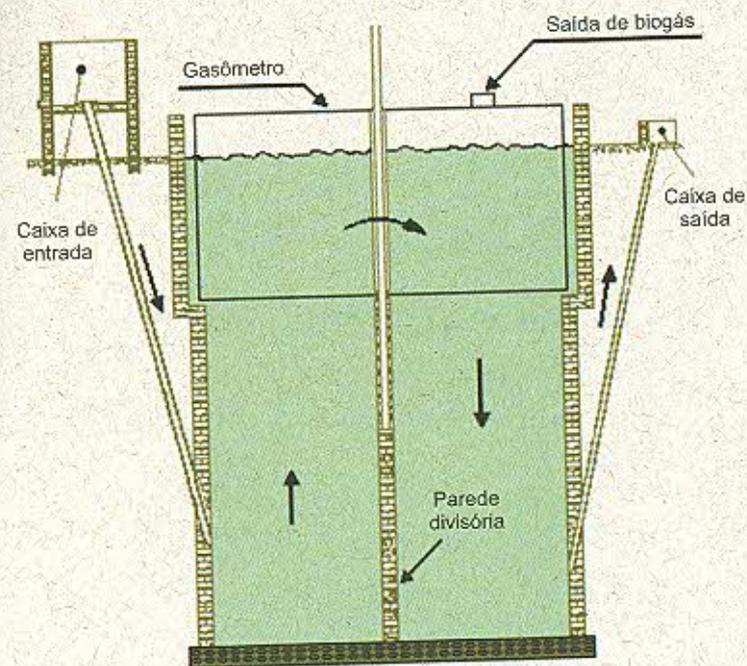


Figura 6. Biodigestor modelo indiano, vista frontal.

Fonte: adaptado de Pecora (2006).

- Biodigestor modelo chinês: formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, com teto impermeável, servindo para o armazenamento do biogás (Figura 7). Funciona com base no princípio de prensa hidráulica, ou seja, se houver aumento de pressão em seu interior, por causa do acúmulo de biogás, ocorrerão deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário se houver descompressão.
- Biodigestor modelo lagoa coberta: também conhecido como modelo canadense ou da marinha, aproveita a geometria das lagoas anaeróbias de tratamento com a sua cobertura visando à captura do biogás gerado (Figura 8). Esses biodigestores tiveram um grande interesse pela sua utilização nos últimos anos motivado pela evolução na tecnologia de geomembranas. O mercado de créditos de carbono também contribuiu para a popularização de sua utilização, uma vez que captura o biogás que seria emitido pelas lagoas anaeróbias.
- Reatores do tipo UASB: apresentam um alto desempenho na produção de biogás, caracterizam-se pelo fluxo ascendente dos efluentes (Figura 9). Uma limitação desses reatores baseia-se no

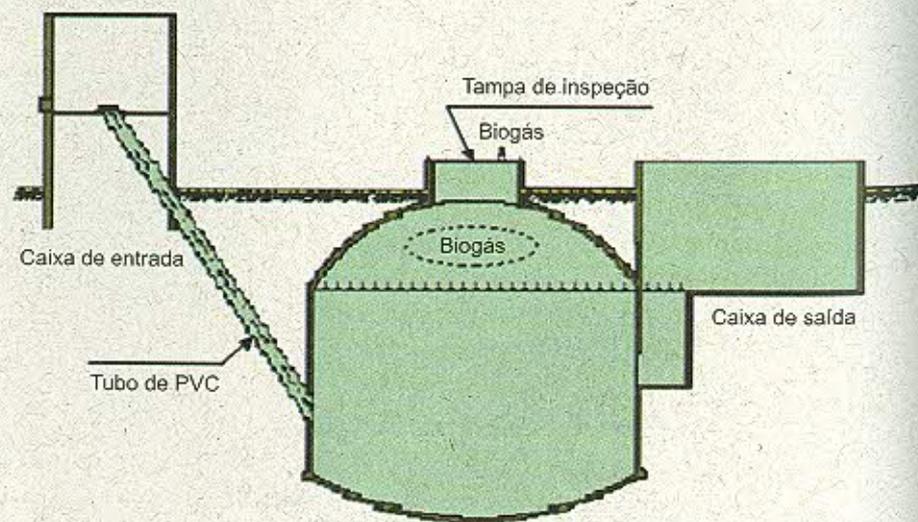


Figura 7. Biodigestor modelo chinês, vista frontal.

Fonte: adaptado de Peçora (2006).



Foto: Airton Kunz

Figura 8. Biodigestor modelo lagoa coberta.

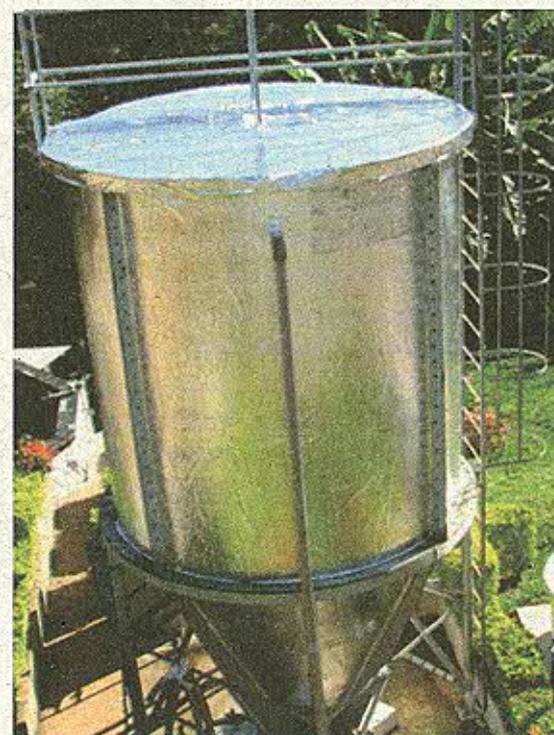


Foto: Airton Kunz

Figura 9. Reator *Upstream Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) utilizado no tratamento de efluentes da suinocultura.

fato de não tolerarem altas concentrações de sólidos na alimentação do sistema necessitando uma boa separação sólido-líquida prévia.

Algumas variações desses reatores têm sido desenvolvidas (Figura 10) e utilizadas para tratamento de resíduo animal como, por exemplo, a experiência no condomínio de agroenergia na cidade de Marechal Cândido Rondon, PR.

- Biodigestores de alto rendimento: utilizam um alto nível tecnológico para geração de biogás (Figura 11), controlando de maneira bastante confiável todo o processo de geração de biogás (temperatura, agitação, etc.). São bastante utilizados na Europa (Alemanha, Áustria, Dinamarca, etc.) para geração de biogás para coprocessamento de resíduos animais e vegetais (Figura 12).

Foto: Ailton Kunz



Figura 10. Variação de modelo *Upstream Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) utilizado em Marechal Cândido Rondon, PR. O tanque à direita da foto representa o biodigestor para tratamento de efluentes da bovinocultura. A lagoa à esquerda representa o tanque para armazenamento de biofertilizante.

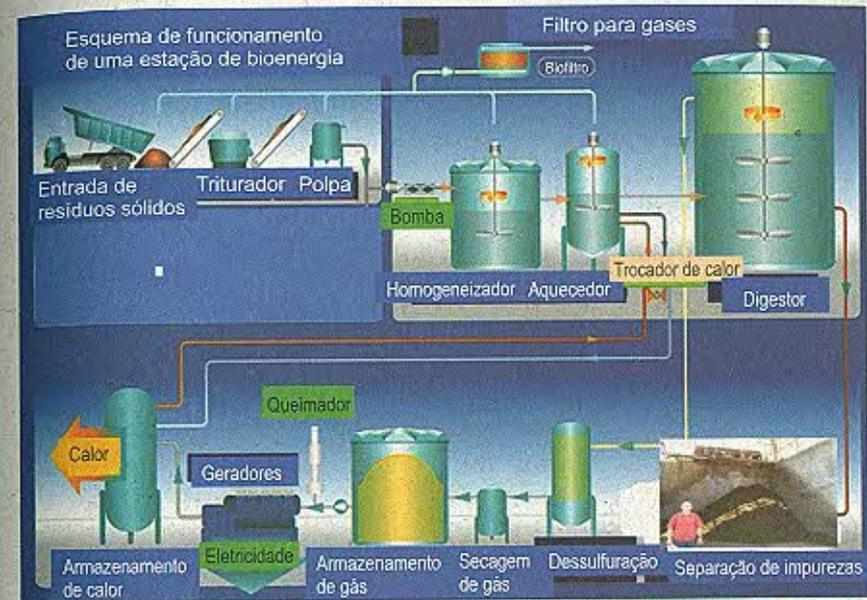


Figura 11. Diagrama de uma usina para geração e purificação de biogás.

Fonte: adaptado de Duarte e Ferreira (2007).



Figura 12. Biodigestor de mistura completa para processamento de resíduos animais e vegetais.

Foto: Ailton Kunz

O nível tecnológico a ser escolhido para geração de biogás é uma decisão do usuário, contudo é importante que se tenha ciência dos limites de cada processo, no que diz respeito à geração de biogás (Figura 13). Os biodigestores de lagoa coberta, por exemplo, têm como vantagem o seu baixo custo. No entanto, não se pode esperar que esses reatores operem a mesma eficiência de biodigestores de mistura completa em faixas mesofílicas com controle de temperatura.

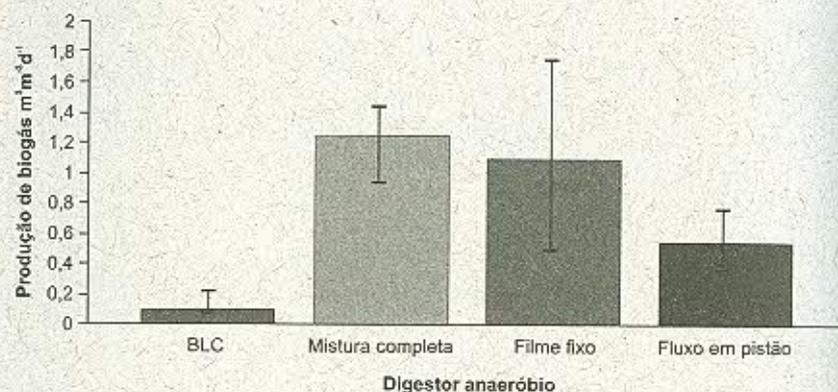


Figura 13. Produção de biogás comparando-se quatro diferentes tipos de digestores anaeróbios. Barra de erros representa os intervalos dos valores reportados. BLC = Biodigestor de lagoa coberta.

Fonte: Cantrell et al. (2008).

NOÇÕES SOBRE DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES

Conforme já discutido anteriormente, existem muitas variáveis que influenciam o bom funcionamento de um biodigestor e afetam diretamente a capacidade do sistema de gerar biogás. Abaixo serão discutidas brevemente apenas duas:

Carga Orgânica Volumétrica (COV) – Representa a quantidade de matéria orgânica que pode ser aplicada ao biodigestor por unidade de tempo e por volume do reator, ou seja, é a concentração multiplicada pela vazão e dividido pelo volume do reator.

$$COV = \frac{C \times Q}{V} \quad (1)$$

em que

COV = carga orgânica volumétrica (kg SV m⁻³ d⁻¹).

C = concentração (kg SV m⁻³).

Q = vazão de efluente (m³ d⁻¹).

V = volume do reator (m³).

Os sólidos voláteis são escolhidos como principal parâmetro, pois conforme discutido estão associados à fração biodegradável com potencial de produção de biogás. A COV em SV, para resíduos de animais, flutua de 0,5 kg SV m⁻³ d⁻¹ a 1,5 kg SV m⁻³ d⁻¹ para biodigestores de baixa carga e de 1,5 kg SV m⁻³ d⁻¹ a 3,5 kg SV m⁻³ d⁻¹ para biodigestores de alta carga.

Tempo de retenção hidráulica (TRH) – Representa o tempo que o efluente permanece no interior do reator, será função do volume e da vazão de alimentação do biodigestor.

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

em que

TRH = tempo de retenção hidráulica (d).

V = volume do reator (m³).

Q = vazão de efluente (m³ d⁻¹).

O dimensionamento do biodigestor, considerando-se apenas o parâmetro TRH, muitas vezes pode ser perigoso, pois pode levar a erros de sub ou superdimensionamento, pelo fato de não considerar a concentração do efluente. No entanto, o TRH é bastante utilizado em função de sua praticidade haja vista que não requer análises de laboratório para dimensionamento do volume do biodigestor. De maneira geral flutuam de 20 a 40 dias para biodigestores de baixa carga e de 10 a 20 dias para biodigestores de alta carga.

MANEJO DOS RESÍDUOS PRÉ-BIODIGESTOR

A condição de alimentação do biodigestor e a qualidade dos resíduos são de extrema importância para garantir uma contínua e uniforme geração de biogás, pois, caso isso não seja corretamente executado, poderá prejudicar todo o processo.

Condições e manejo nas instalações – a entrada de água de chuva (Figura 14) e a excessiva diluição dos dejetos com água para lavagem e vazamentos na rede hidráulica podem comprometer a geração do biogás pela diluição dos dejetos.

A qualidade do sistema de coleta e transporte dos dejetos (Figura 15), além de garantir um efluente de boa qualidade, também melhora as características estéticas da granja, reduz odor e a proliferação de moscas.



Figura 14. Detalhe de entrada de água de chuva na linha de dejetos de bovinos.

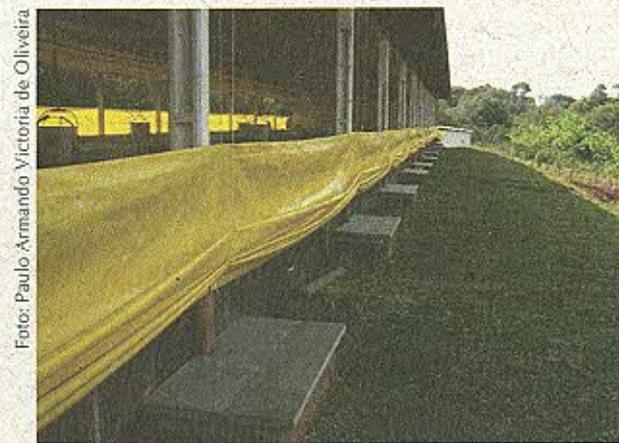


Figura 15. Detalhe de uma instalação de produção de suínos com sistema de coleta de dejetos fechado e com caixas de inspeção.

Longos tempos de armazenagem dos dejetos nas calhas também comprometem sua qualidade pela degradação e aumento de gases, como amônia, no interior das instalações (Figura 16). Assim, recomenda-se que as redes coletoras de dejetos sejam identificadas (Figura 17) e que não permaneçam armazenados nas instalações por um período superior a 7 dias.

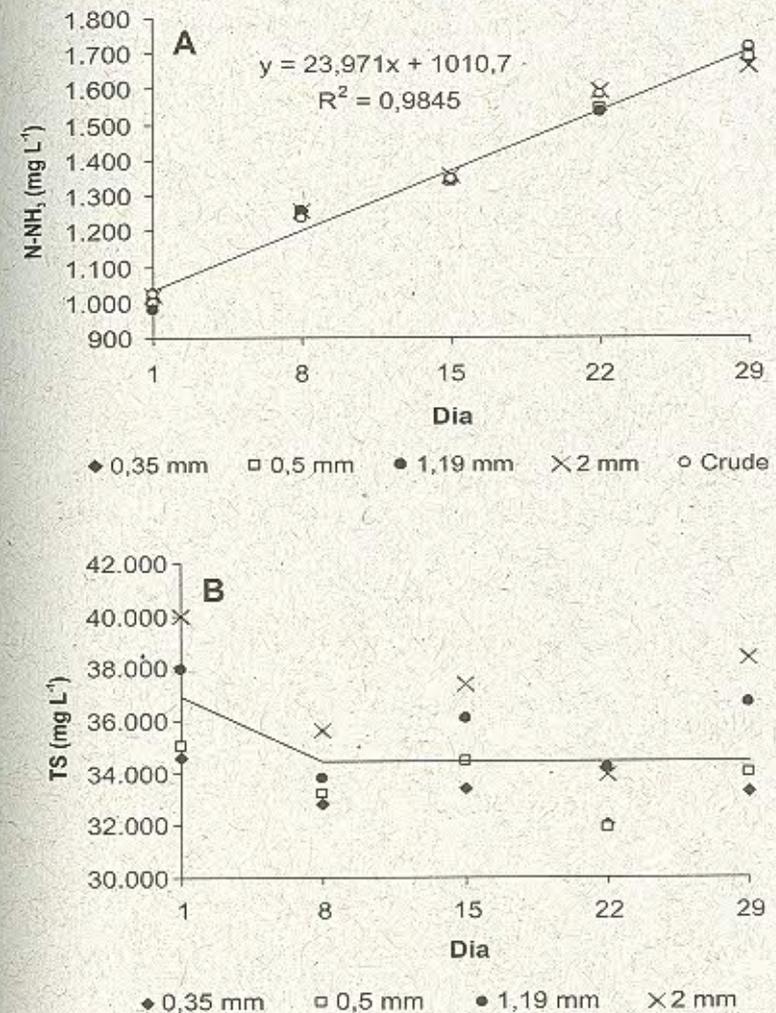


Figura 16. Produção de amônia pela armazenagem dos dejetos a diferentes tempos e condições de filtração (A) e variação na concentração de sólidos totais (B).

Foto: Airton Kunz



Figura 18. Conjunto de telas utilizadas para separação de sólidos grosseiros em uma unidade de produção de suínos.

Foto: Airton Kunz



Figura 19. Caixa de areia com deposição de sólidos fixos para tratamento de dejetos de suínos.

sólidos e produzir um condicionador de solos seguro, estável e rico, viabilizando a ciclagem de nutrientes e matéria orgânica nos sistemas agrícolas. A Tabela 10 apresenta as vantagens e desvantagens do processo de compostagem.

Tabela 10. Vantagens e desvantagens da compostagem.

Vantagens	Desvantagens
Eliminação de patógenos e sementes invasoras	Custo de instalação e mão de obra
Estabilização microbiana	Necessidade de substrato (no caso de dejetos de animais)
Redução de volume e umidade	Necessidade de áreas para operação e armazenagem
Remoção e controle de odor	
Facilidade de armazenagem, transporte e uso	
Produção de fertilizante de boa qualidade (uniformidade)	

Fonte: Kunz e Encarnação (2007).

Compostagem é um processo biológico no qual a degradação dos resíduos ocorre pela via aeróbia, mediada por microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetos) que, em condições controladas, desdobram a matéria orgânica biodegradável em um material estável semelhante ao húmus. Os microrganismos utilizam a matéria orgânica em seus processos metabólicos convertendo-a em biomassa microbiana. Tal processo destrói agentes patogênicos, converte o nitrogênio da forma amoniacal, instável, para formas orgânicas mais estáveis e reduz o volume do resíduo (ZHU, 2006).

Na forma tradicional de condução da compostagem, os materiais são misturados e preparados de forma consistente e controlada, a fim de se obter uma massa homogênea onde as bactérias e outros microrganismos termofílicos trabalharão em sinergia, sob condições aeróbias, de modo a promover a quebra/desdobramento dos resíduos em um processo que ocorre, fundamentalmente, em duas fases, conforme descrito abaixo.

Etapas em uma operação de compostagem tradicional:

Primeira Etapa

- Alta taxa de atividade biológica.
- Decomposição rápida.
- Alta temperatura.
- Principais quebras das moléculas orgânicas.

Segunda Etapa

- Baixa taxa de atividade biológica.
- Decomposição mais lenta.
- Temperaturas mais baixas.
- Conclusão das quebras das moléculas orgânicas.
- Estabilização de material composto.

Nesse sistema, o projeto adequado das instalações e os frequentes revolvimentos mecânicos permitem que o processo seja concluído de forma relativamente rápida; o desenvolvimento da temperatura é um parâmetro de grande importância na sanitização do composto (Figura 20).

Nos últimos anos, a conversão do manejo dos resíduos animais da forma líquida para a sólida vem crescendo, principalmente na Europa (PAILLAT et al., 2005), em virtude das suas inúmeras vantagens, dentre

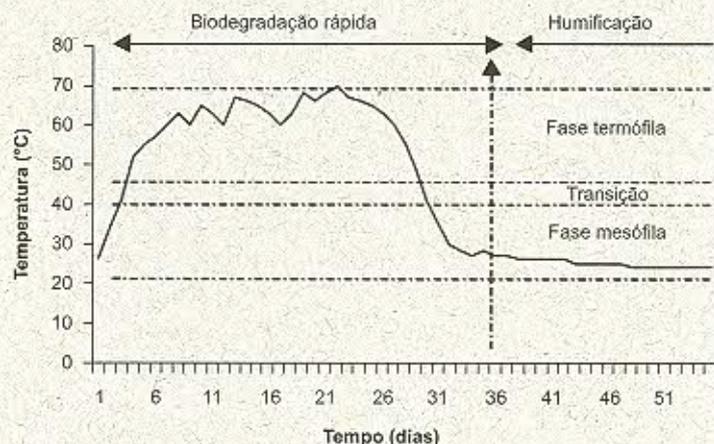


Figura 20. Perfil genérico de temperatura desenvolvida em um processo de compostagem.

Fonte: Fernandes e Silva (1999).

as quais podem ser destacadas a redução do risco de contaminação por causa da maior facilidade de contenção dos nutrientes, minimizando o aporte destes nos cursos d'água; e a agregação de valor e concentração dos nutrientes pela produção de fertilizante orgânico, viabilizando a exportação destes para regiões com maior área agrícola disponível para sua aplicação agrônômica. Assim, a adoção da compostagem tem ganhado espaço entre as alternativas de tratamento de resíduos animais, sobretudo em regiões que necessitam exportar o excedente de nutrientes.

Tradicionalmente, os resíduos da avicultura, parcialmente estabilizados, são utilizados no Brasil como uma fonte de nutrientes e matéria orgânica para o solo. O valor fertilizante desses materiais e dos dejetos de suínos é conhecido há décadas e a sua aplicação é bem estabelecida no País (Tabela 11).

Tabela 11. Concentrações médias de nutrientes e matéria orgânica de alguns resíduos da produção de suínos e aves.

Resíduo	C-org.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Matéria seca
% (m m ⁻¹)							
Cama de frango (3-4 lotes)	30	3,2	3,5	2,5	4,0	0,8	75
Cama de frango (5-6 lotes)	28	3,5	3,8	3,0	4,2	0,9	75
Cama de frango (7-8 lotes)	25	3,8	4,0	3,5	4,5	1,0	75
Cama de peru (2 lotes)	23	5,0	4,0	4,0	3,7	0,8	75
Cama de poedeiras	30	1,6	4,9	1,9	14,4	0,9	72
Esterco sólido de suínos	20	2,1	2,8	2,9	2,8	0,8	25
kg m ⁻³							
Esterco líquido de suínos	9	2,8	2,4	1,5	2,0	0,8	3,0

Fonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004).

Entretanto, o grande crescimento do mercado de produção orgânica no Brasil nos últimos anos levou o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) a estabelecer, por intermédio da Instrução Normativa nº 25 (BRASIL, 2009), as normas e padrões mínimos para assegurar a maior qualidade fertilizante e sanitária desses produtos, conforme a Tabela 12.

Tabela 12. Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

Garantia	Misto/Composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A, B, C e D
Umidade (máx.)	50	50	50	70	50
N total (mín.)			0,5		
Carbono orgânico (mín.) ⁽¹⁾			15		10
CTC ^(1,2)			Conforme declarado		
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C:N (máx.)			20		14
Relação CTC:C ^(1,2)			Conforme declarado		
Outros nutrientes			Conforme declarado		

⁽¹⁾ Valores expressos em base seca, umidade determinada a 65 °C. ⁽²⁾ É obrigatória a declaração no processo de registro de produto.

Fonte: adaptado de Higarashi et al. (2009).

Dessa forma, somente os compostos produzidos por processos comprovadamente controlados e bem conduzidos, que atinjam as garantias mínimas de qualidade que constam da Tabela 12 para fertilizantes orgânicos simples, mistos e compostos, poderão obter a certificação e o registro junto ao Mapa, viabilizando a exportação de nutrientes das regiões de produção animal com baixa aptidão agrícola e fomentar a produção orgânica.

OTIMIZAÇÃO DA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ANIMAIS

O tratamento baseado no processo de compostagem consiste em se propiciar as condições que favoreçam e acelerem as atividades dos microrganismos em direção às rotas metabólicas que promovam os processos de degradação aeróbia.

O crescimento e a diversidade da população microbiana na compostagem, por exemplo, relacionam-se diretamente à concentração dos nutrientes, que fornecem a matéria-prima para a síntese protoplasmática e a energia para o crescimento celular. A relação C/N satisfatória para a obtenção de uma alta eficiência deve se situar em torno de 30:1. Vários trabalhos científicos demonstraram que essa taxa tem influência positiva sobre a atividade biológica, diminuindo o período de compostagem.

Esse tipo de intervenção é usualmente necessário quando se trabalha com os resíduos animais, os quais apresentam tipicamente relações C/N muito abaixo do ideal. Portanto, para que esse tipo de resíduo possa ser estabilizado pela compostagem, normalmente é necessário que o processo seja induzido pela adição de um substrato ou agente de volume rico em carbono.

Além dessa relação de nutrientes, existem outros fatores que afetam a compostagem e que podem ser utilizados como ferramentas para controlar os processos, tais como proporção dejetos:substrato, tipo de substrato, porcentagem de composto reciclado, tamanho de partícula, umidade inicial, porosidade, pH, temperaturas da biomassa e/ou do ambiente, programa de aeração, frequência de revolvimento, controle de umidade, tempo de retenção e maturação, inoculação e formato, volume e profundidade da pilha.

A seguir serão descritos os requisitos máximos, mínimos e ideais dos principais parâmetros que asseguram que a compostagem seja desencadeada e se desenvolva a contento.

Balanco de nutrientes – A mistura apropriada para a compostagem requer carbono e nitrogênio na proporção apropriada (relação C:N). Os microrganismos envolvidos no processo se desenvolvem mais eficazmente quando a relação C:N situa-se entre 20:1 e 35:1. Se a relação C:N é muito alta (> 40:1), a decomposição ocorrerá de forma muito lenta, prolongando o tempo necessário para a completa degradação. Se a relação C:N é muito baixa (< 20:1), o nitrogênio é convertido em amônia em níveis superiores àqueles que as bactérias aeróbias podem suportar, resultando na geração de odores. Para evitar esse inconveniente, faz-se necessário adicionar uma fonte de carbono ou agente de volume ao dejetos de suínos, alcançando assim a desejada relação C:N.

A maravalha ou serragem e a palha são as fontes de carbono comumente empregadas na compostagem dos dejetos. No entanto, existem muitas investigações no mundo que têm demonstrado que diferentes materiais (por exemplo, casca de amendoim, feno picado e aparas de grama, entre outros), sozinhos ou em misturas com serragem/maravalha e palha, podem ser efetivamente usados na compostagem (Tabela 13).

No caso dessa relação ser muito baixa [C:N (< 20:1)], pode haver excesso de produção de amônia e outros odores gerados; por outro lado, uma relação muito alta [C:N (> 40:1)] pode resultar em baixas temperaturas na pilha e taxa de decomposição baixa.

Tabela 13. Características originais das matérias-primas residuais e meta para desencadear o processo de compostagem.

Matéria-prima	Relação C:N
Resíduos animais (camas aves/dejetos suínos)	5-8:1
Serragem	200-750:1
Palha	100-150:1
Meta	30:1

Temperatura – O calor é gerado conforme os microrganismos iniciam a degradação do resíduo; esse aquecimento desempenha um papel importante na velocidade da degradação da matéria orgânica, no tipo e na quantidade de bactérias que atuam na pilha e na capacidade de destruir patógenos causadores de doenças. A temperatura também é um bom indicador da eficácia operacional da compostagem.

Em condições ideais, a temperatura interna da pilha irá variar de 45 °C–65 °C e as mudanças da temperatura ocorrerão à medida que o processo de compostagem avança e a pilha é perturbada por revolvimento e adição de novo material.

A temperatura da pilha pode atingir até 70 °C, um ponto onde o calor gerado começará a destruir as bactérias, fazendo com que a pilha esfrie e permitindo que as bactérias cresçam e se multipliquem novamente. Em climas mais extremos e quando se iniciam novas pilhas de compostagem nos meses de inverno, uma cobertura adicional de substrato sobre a pilha pode ser necessária para proporcionar um isolamento que permita a elevação adequada da temperatura.

Como consequência, tem-se que temperaturas muito baixas resultam em taxa de decomposição lenta e riscos de que vetores de doenças e patógenos sobrevivam no composto; já temperaturas muito altas podem ocasionar a morte dos agentes promotores da compostagem e combustão espontânea nas pilhas.

É recomendada a realização de monitoramento e registro diário da temperatura interna da pilha com um termômetro de haste com comprimento de 60 cm–90 cm para atingir a profundidade adequada na pilha. Essa prática é útil tanto para avaliar o andamento do processo como para assegurar a sanitização do produto, evitando que ele seja fonte de disseminação de patógenos e parasitas, conforme mostrado a seguir (Tabela 14).

Tabela 14. Tempo e temperatura necessários para destruição de patógenos no composto.

Organismo	Tempo de exposição a diversas temperaturas para destruição do patógeno (minutos)				
	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
<i>Entamoeba histolytica</i>	5	-	-	-	-
<i>Ascaris lumbricoides</i> (ovos)	60	7	-	-	-
<i>Brucella abortus</i>	-	60	-	3	-
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	-	45	-	-	4
<i>Salmonella typhi</i>	-	-	30	-	4
<i>Escherichia coli</i>	-	-	60	-	5
<i>Micrococcus pyogenes</i> var. <i>aureus</i>	-	-	-	-	20
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	-	-	-	-	20
<i>Shigella</i> sp.	60	-	-	-	-
<i>Mycobacterium diphtheria</i>	45	-	-	-	-
<i>Necator americanus</i>	50	-	-	-	-
<i>Taenia saginata</i>	-	-	-	-	5
Vírus	-	-	-	-	25

Fonte: Fernandes e Silva (2000).

Embora no Brasil ainda não haja exigência com relação à temperatura mínima atingida durante a compostagem, na Tabela 15 são colocados os requisitos existentes em algumas legislações internacionais, os quais poderão balizar o controle do processo da compostagem, com vistas a assegurar um produto isento da maioria dos patógenos, sementes de ervas daninhas e insetos indesejados.

Umidade – A água é necessária para a sobrevivência das bactérias e outros microrganismos. Na compostagem de dejetos, isso não é exceção, e o teor de umidade da biomassa nas pilhas é muito importante para o bom andamento do processo.

A faixa alvo para a compostagem situa-se entre 45% a 60%, e a umidade excessiva inibe o fluxo de ar através da pilha, causando condições anaeróbicas que podem levar à emissão de odores pútridos, temperaturas baixas na pilha e problemas com moscas; por outro lado, a falta de umidade leva a taxas de decomposição lentas e também a baixas temperaturas (Tabela 16).

Tabela 15. Requisitos térmicos mínimos exigidos para fins de sanitização de compostos.

País	Temperatura (°C)	Tempo (dias)
Dinamarca	55	14
França e Bélgica	60	4
Holanda	55	4
Itália e Estados Unidos	55	3
Alemanha	55/65	14/7

Fonte: adaptado de Reinhard (2006).

Tabela 16. Teor de umidade típica das matérias-primas usuais e meta.

Matéria-prima	Umidade (%)
Dejeto suíno	90–99
Serragem	16–65
Palha	5–20
Meta	55

Fonte: Rynk (1992).

Uma forma prática para verificar o teor de umidade ideal da mistura é segurar uma porção do composto e apertá-la. O material composto deve estar bem úmido, mas sem escorrimento de água.

A falta de umidade pode ocasionar baixa temperatura na pilha e taxa de decomposição lenta; já o seu excesso pode ter os mesmos efeitos acrescidos pela emissão de odores pútridos e proliferação de moscas.

Porosidade e aeração – Para operar eficientemente um sistema para compostagem de efluentes líquidos, a fonte de carbono/substrato utilizada deve ter estrutura, densidade e tamanho de partículas adequados, de tal forma que permita as trocas gasosas (o fluxo do O_2 para dentro e o fluxo de CO_2 para fora da biomassa de compostagem) em taxas que sustentem a viabilidade das bactérias, pois:

- Materiais com elevada densidade tendem a se “empacotar”, inibindo os fluxos gasosos, diminuindo e até interrompendo o processo de compostagem.

- Materiais volumosos com tamanhos de partículas grandes e de baixa área de superfície permitem que o ar circule em demasia no sistema, fazendo com que a temperatura caia para valores abaixo do nível ideal, retardando ou interrompendo o processo.
- Além disso, quando a compostagem de dejeto é realizada em ambiente exposto aos elementos naturais, a fonte de carbono/substrato utilizado deve ser suficientemente pesada para evitar ser levada pelo vento.

A fonte de carbono ideal é aquela que apresenta um tamanho de partícula pequeno e uma grande área de superfície para a fixação das bactérias e microrganismos. Muitos dos materiais alternativos de alto teor de carbono são disponíveis a baixo custo em uma base local para os produtores. Os principais substratos empregados na mistura com os dejetos de animais são: palha de milho, casca de amendoim, serragem, resíduos de poda de jardins, casca de arroz, palha, restos de cultura de soja triturados, maravalha/cavaco, papel/papelão, folhas, silagem e resíduos de processamento de alimentos (Tabela 17). Entretanto, antes do uso

Tabela 17. Relação C:N típica de matérias-primas comuns para compostagem.

Matéria-prima	Relação C:N	Matéria-prima	Relação C:N
Alfafa	20	Palha de arroz	48–115
Feno de alfafa	12–18	Palha de azevém	60–350
Casca de árvores	100–130	Serragem	300–723
Papelão	200–500	Algas	19
Esterco bovino (com palha)	25–30	Matéria orgânica do solo	10–24
Esterco bovino (líquido)	8–13	Resíduos de soja	20–40
Palha de milho e sorgo	60–100	Palha	40–80
Efluente de gado de leite	10–18	Bagaço de cana	50
Resíduos de jardinagem	20–60	Mato – roçado	19
Arroz em grão	36	Palha de trigo	60–373
Poda de grama	12–25	Madeira (pinus)	723
Folhas verdes	30–60	Cavaco de madeira	100–441
Azevém verde	36	Dejeto de suínos	5–8
Jornal	400–500	Espícula de pinheiro	225–1.000
Palha de aveia	48–83	Dejeto de aves (fresco)	6–10
Papel	173	Cama de aves	12–18

Fonte: Higarashi et al. (2008).

dessas fontes alternativas, os usuários são incentivados a entrar em contato com as autoridades locais para determinar se os regulamentos nacionais, estaduais ou municipais apresentam restrições jurídicas ao uso desses agentes em suas localidades em particular.

As temperaturas baixas, indicando taxas de decomposição lenta, são causadas tanto pela porosidade excessivamente alta como baixa; entretanto, a emissão de odores pútridos é característico apenas deste último.

ESTUDO DE CASO

COMPOSTAGEM DE DEJETOS DE SUÍNOS NO BRASIL

As tecnologias de produção de suínos em sistemas de cama sobreposta e uso da compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos foram introduzidos no Brasil pela Embrapa Suínos e Aves.

Os dejetos de suínos são ricos em nitrogênio e apresentam alto teor de água. O esterco de suíno típico contém, quando excretado, 6,6% de nitrogênio (base seca, 0,66% de nitrogênio em base natural) e 10% de sólidos. A relação entre carbono e nitrogênio de dejetos de suínos é normalmente de 7:1.

Quando águas residuárias (lavagem das instalações, vazamento de bebedouros, chuva, etc.) são incorporados ao esterco armazenado por um período considerável, rapidamente a decomposição anaeróbia se inicia e, como a água é um dos subprodutos da decomposição, o teor de umidade geralmente ultrapassa a 95% (sólidos < 5%) e odores fortes são gerados. Além disso, poucas instalações suínas modernas utilizam quantidades apreciáveis de substratos de cama (materiais absorventes) que tendem a aumentar de carbono e produzir uma mistura sólida.

Os dejetos suínos que já passaram por sistema anaeróbio (lagoas, esterqueiras e biodigestores, entre outros) têm pouca chance de serem utilizados na compostagem, a menos que a fração sólida possa ser separada do efluente antes da descarga no sistema anaeróbio.

O alto teor de umidade, a ausência de material de cama acrescido e o alto potencial de emissão de odor fazem com que a viabilização da compostagem de dejetos de suínos seja considerada como um desafio maior que os demais dejetos/resíduos animais. No entanto, por meio da

adição de grande quantidade de agente de volume seco (substrato), limitando a quantidade de águas que são incorporados ao dejetos, separação de sólidos e medidas intensivas de controle de odor, os dejetos de suínos passam a ter potencial para se tornar uma matéria-prima promissora para compostagem.

MÉTODOS ATUALMENTE EMPREGADOS NA COMPOSTAGEM DE DEJETOS DE SUÍNOS

a) Compostagem de dejetos com suínos alojados (cama sobreposta)

O sistema de cama sobreposta consiste na criação dos animais diretamente sobre um leito profundo composto de material absorvente como maravalha ou palha (Figura 21). Para instalações que utilizam um sistema de cama como parte da sua gestão dos dejetos, alguns dos componentes para a realização de uma compostagem adequada já foram postas em prática. O teor de umidade foi reduzido pela adição de materiais de cama secas e a mistura resultante tem material carbonáceo que cria uma relação de carbono para nitrogênio próximo da faixa desejada para a compostagem.



Foto: Martha Mayumi Higashishi

Figura 21. Animais alojados em um sistema de criação em cama sobreposta.

Esse material também estará em uma forma na qual poderá ser tratado como um sólido, facilitando ainda mais a mistura e estabelecimento da pilha de compostagem. As misturas de dejetos e substratos (camas) devem ser analisadas quanto à relação de carbono com nitrogênio e os ajustes apropriados devem ser feitos pela adição dos valores calculados de material carbonáceo ou dejetos, antes de a pilha ser montada.

Dentro de certos limites, outra estratégia pode ser ir adicionando mais camas às baias de suínos durante o alojamento. Isso passa a ser viável se o desempenho dos suínos pode ser melhorado e se o aumento de trabalho pela adição e retirada de cama não for excessivo.

Estudos desenvolvidos no Brasil demonstraram que as camas de maravalha, após um ano de utilização, apresentam teores significativos de nutrientes, conforme mostrado na Tabela 18, e se constituem em um fertilizante de boa qualidade e desempenho.

Tabela 18. Valor estimado de concentração de NPK de composto obtido em um sistema de cama sobreposta após 1 ano de uso (base seca).

Nutriente	Concentração média (g kg ⁻¹)
NTK	11,6
P _{Total}	11,5
K	21

Fonte: Higarashi et al. (2009).

b) Compostagem dos sólidos separados de dejetos suínos

As instalações com sistemas de *flushing* líquido ou *pull-plug* permitem a realização da separação dos sólidos dos dejetos antes da sua descarga nas estruturas de armazenamento (esterqueiras) e de tratamento.

O sólido pode ser separado por decantação, peneiramento ou centrifugação, mas, em geral, essa fração corresponde a 1%–2% do efluente em peso, e ele pode ser desviado e tratado como um material sólido com 80%–90% de umidade (Figura 22). Esses sólidos são os componentes mais grosseiros do efluente e têm uma menor densidade do que o solo. São compostos principalmente da porção fibrosa dos alimentos não digeridos (casca do grão) e cerdas.



Foto: Paulo Armando Victoria de Oliveira

Figura 22. Fração sólida separada dos dejetos de suínos por meio de equipamento de peneira com prensa.

O teor de nitrogênio é significativamente menor do que na fração líquida e a maior parte deste (> 90%) se encontra na forma orgânica, visto que o nitrogênio amoniacal mais volátil e altamente solúvel permanece na maior parte na fração líquida. Em vista do menor teor de umidade e nitrogênio e maior quantidade de carbono dessa fração de sólidos grosseiros separados do dejetos, uma menor quantidade de substrato (fonte de carbono) é requerida para atingir a relação de carbono e nitrogênio desejável para a compostagem, comparado com o dejetos integral.

Embora uma grande parte dos nutrientes e dos sólidos (mais finos) contidos nos dejetos não seja aproveitada no processo, esse método apresenta uma condição mais gerenciável de produção de composto de dejetos de suínos, com uma demanda mínima de mão de obra e equipamentos especializados, excetuando-se o separador de sólidos. Depois da separação, os sólidos podem ser processados por meio de qualquer dos métodos de compostagem comumente empregados.

A técnica de separação de sólidos tem a vantagem adicional de reduzir o tamanho das instalações destinadas ao tratamento da fração líquida (ou seja, lagoas anaeróbicas e estações de tratamento, entre outros), pois a separação remove materiais prejudiciais ao bom funcionamento

desses sistemas (assoreamento, obstrução e formação de estruvita). A fração sólida também deve ter um menor potencial de emissão de odor do que a fração líquida.

Alguns trabalhos recentes demonstraram que, com manejo adequado (redução da diluição e do tempo antes de realizar a separação), uso de equipamentos de maior eficiência de separação (*decanter/centrífugas*) e agentes coagulantes/floculantes, é possível segregar uma grande parte dos sólidos finos e alcançar eficiências bem maiores na remoção, tanto da matéria orgânica como na carga de nutrientes.

- Matéria seca – remoção > 60%.
- Fósforo total – remoção > 60%.
- Nitrogênio total – remoção 20% a 30%.

Tal eficiência aumenta a probabilidade de uma gestão mais eficiente tanto da fração sólida como líquida do dejetos. Nesse caso, a compostagem demandaria menor área de instalação e volume de substrato, resultando em um produto de maior valor em decorrência do maior teor de nutrientes. A fração líquida, por sua vez, demandaria um tratamento cujo custo de instalação e manutenção seria muito menor para se atingir os parâmetros exigidos pelas legislações vigentes, tanto para o reuso como para o lançamento no ambiente.

c) Aplicações de esterco líquido à leira de compostagem

Outra técnica que apresenta potencial de sucesso na gestão de dejetos líquidos é a construção de uma leira de substrato/ agente de volume sobre o qual se incorporaria o dejetos líquido integral (Figura 23).

Uma vez que a leira de substrato fosse estabelecida, o esterco líquido de suínos poderia ser aplicado diretamente de um tanque de distribuição conduzido ao lado da leira, seguido de revolvimento da mistura, de tal forma a obter, ao final, as leiras ou pilhas. Dependendo da quantidade, tipo e teor de umidade do substrato utilizado, bem como da quantidade de dejetos líquido adicionado e absorvido, esse processo de impregnação pode necessitar ser repetido várias vezes durante um período de dias ou semanas. Essas incorporações deverão ocorrer até que a relação ideal de carbono e nitrogênio e o nível de umidade desejado da pilha sejam alcançados, o que pode ser detectado pela elevação da temperatura da biomassa. Enquanto a quantidade de nitrogênio e umidade, adicionados por meio dos dejetos, não são suficientes, o processo de compostagem



Foto: Martha Miyarashi

Figura 23. Incorporação parcelada de dejetos de suínos ao substrato maravilha.

inicia e procede muito lentamente, mas, uma vez atingidas as condições adequadas, o processo prontamente se acelera.

OTIMIZAÇÃO DA COMPOSTAGEM PELA APLICAÇÃO DE DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS EM LEIRAS

Recentemente, a aplicação do dejetos integral a substratos é a tecnologia de compostagem que vem sendo mais empregada/estudada no Brasil.

Conforme já mencionado, os dejetos suínos líquidos não são compostáveis na sua forma in natura em decorrência tanto do alto teor de umidade como pela baixa relação C:N, os quais são inerentes ao resíduo e que fazem com que ele tenha a tendência de sofrer transformações anaeróbias. A umidade, que já apresenta normalmente valores de 90% conforme excretado, pode posteriormente elevar-se a 94%–98% pela introdução de grande quantidade de água oriunda de fontes diversas, tais como vazamentos e atividades de limpeza e pluviométricas, etc.

Nesse tipo de tratamento a incorporação dos dejetos é feita de forma fracionada a um substrato que permita, ao mesmo tempo, reduzir o teor de umidade aos níveis necessários para o estabelecimento das condições aeróbias e que também seja uma fonte de carbono para se obter uma relação C:N adequada ao desenvolvimento do processo.

A maravalha tem sido a principal matéria-prima utilizada para esse fim no País; no entanto, ela pode apresentar elevado valor de mercado, sobretudo nas regiões de intensa produção animal, onde existe grande demanda pela matéria-prima para camas de aves e leitões. Dessa forma, alguns estudos com materiais de menor valor de mercado, tais como palha e serragem, vêm sendo desenvolvidos com resultados promissores.

Na União Europeia e na Ásia, onde materiais de origem celulósica/florestal são escassos, diversos estudos vêm avaliando o uso de substratos alternativos, tais como palhas, restos de lavoura de milho triturados e jornais ou papelão picados, entre outros.

A absorção dos dejetos pelo substrato, aliada ao revolvimento controlado, promove a aeração da biomassa e, por se tratar de um processo exotérmico, contribui para a eliminação de patógenos e helmintos, além de inativar sementes de ervas daninhas.

Apesar de a compostagem ser considerada uma prática consolidada, para se obter um fertilizante de qualidade e que atenda às especificações legais estabelecidas para sua comercialização, uma série de fatores deve ser considerada. Revolver as pilhas de compostagem é essencial para o desenvolvimento da fermentação de forma rápida e uniforme, evitando a emissão dos maus odores, característicos dos processos anaeróbios que se estabelecem na presença de umidade excessiva. Se a umidade estiver entre 50% e 60%, a pilha deverá ser revolvida em intervalos de 3 dias; no caso desta ultrapassar 60%, recomenda-se essa prática com intervalos de 2 dias. O controle da umidade é muito importante, pois a água fornece o meio de transporte para os nutrientes dissolvidos necessários para a atividade metabólica e fisiológica dos microrganismos. Valores baixos de umidade podem causar a desidratação no interior das pilhas, inibindo o processo biológico; por outro lado, o seu excesso favorece a anaerobiose.

Durante o revolvimento, o calor é liberado para o meio ambiente na forma de calor latente (vapor de água) e a biomassa pode atingir temperaturas superiores a 55 °C. Ao final do processo, a temperatura tende a se equiparar à temperatura ambiente, estando as propriedades físico-químicas do composto estabilizadas.

No que diz respeito à eliminação de patógenos, os requisitos mínimos de tempo e temperatura necessários (Tabela 15) não são atingidos quando a matéria-prima é compostada em pequenos volumes, pois o calor desenvolvido se dissipa e a temperatura do material não se eleva muito.

Outro fator de suma importância para uma implantação bem sucedida da compostagem de dejetos é se assegurar que haja suficiente suprimento de matéria orgânica biodegradável para sustentar o crescimento da biomassa microbiana, sobretudo no início do processo (partida). Como os substratos usualmente empregados apresentam alto teor de moléculas orgânicas pouco biodegradáveis (celulose e lignina), o dejetos acaba por se constituir na principal fonte desse "alimento". Estudo recente demonstrou que dejetos com alta diluição ou que já sofreram degradação anaeróbia por permanecerem armazenados durante períodos muito prolongados (< 3% de sólidos totais) podem inviabilizar o tratamento pela via da compostagem, tanto pelo não atingimento das temperaturas necessárias para a adequada sanitização do produto (Figura 24), como pelo baixo teor de nutrientes dele (Tabela 19).

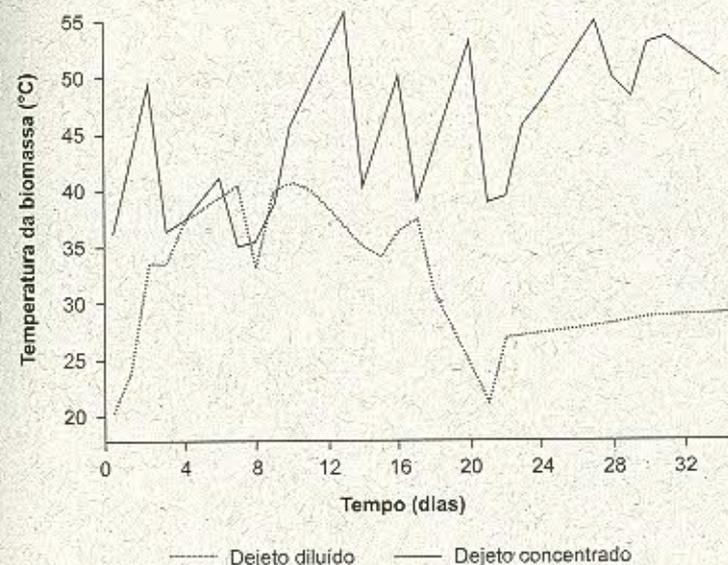


Figura 24. Temperatura no interior das pilhas na compostagem de maravalha com dejetos de suínos diluídos (2% ST) e concentrados (6% ST) durante a impregnação.

Fonte: Higarashi et al. (2009).

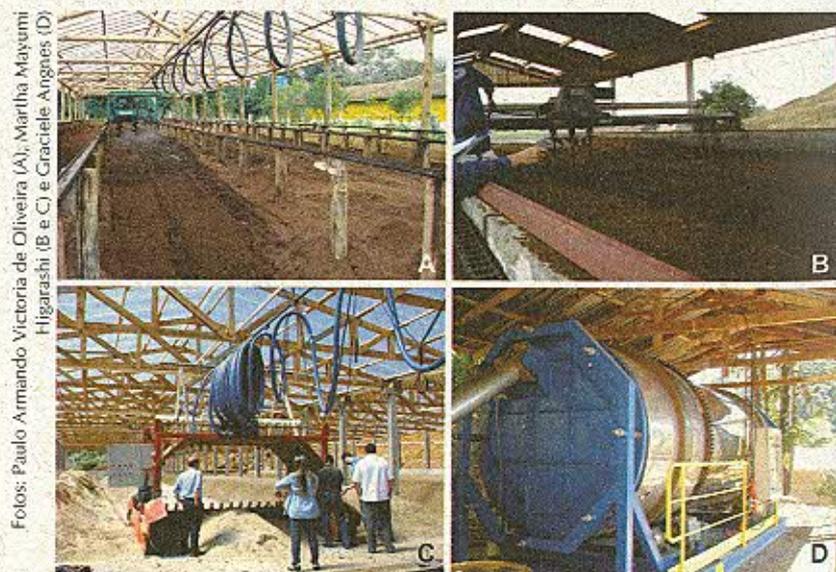
Tabela 19. Características médias dos compostos produzidos com dejetos suínos incorporados à maravalha em base seca.

Dejeto	K (mg kg ⁻¹)	N (%)	P _T (mg kg ⁻¹)	CO (%)	MS (%)	pH
Diluído	2.900	0,590	3.140	35,5	34,1	7,1
Concentrado	13.100	1,47	17.300	42,2	33,4	6,8

Fonte: Higarashi et al. (2009).

Em virtude das dificuldades em se estabelecer as condições ideais para a compostagem adequada dos dejetos de suínos, diversos trabalhos têm sido realizados visando à otimização e automatização do processo. Para tanto, têm se desenvolvido estruturas, equipamentos e metodologias que possibilitem reduzir a necessidade de mão de obra e agilizar a fermentação aeróbia.

Atualmente, já existem no mercado nacional diversas configurações de equipamentos destinados à automatização do processo de compostagem, tanto para a impregnação dos dejetos aos substratos como para o revolvimento e aeração da biomassa (Figura 25).



Fotos: Paulo Armando Victoria de Oliveira (A), Martha Mayumi Higarashi (B e C) e Graciele Angnes (D)

Figura 25. Exemplos de equipamentos nacionais para incorporação de resíduos animais a substratos e revolvimento da biomassa para a automatização da compostagem.

Além do desenvolvimento de equipamentos, têm sido realizados estudos sobre formas de aumentar o volume de dejetos incorporados a diferentes tipos de substratos com o objetivo de agregar maior qualidade ao fertilizante produzido e buscar o enquadramento deste às normas de qualidade estabelecidas pela legislação em vigor.

De acordo com avaliações preliminares, a viabilidade econômica de processos automatizados depende de uma série de fatores, tais como custo do substrato empregado, logística de transporte ou distância dos centros consumidores, mercado-alvo, escalas de produção, obtenção de registros e certificados, entre outros.

Os principais desafios para a maior difusão da compostagem para o tratamento de resíduos da produção animal são mostrados na Tabela 20.

Tabela 20. Questões a serem resolvidas para a difusão da tecnologia de compostagem de dejetos de suínos.

Tipo de questão	Descrição	Possível solução
Técnica	Diluição dos dejetos – como qualquer tecnologia de tratamento de dejetos, a compostagem requer a menor incorporação possível de água aos dejetos, visto que se deve incorporar junto ao dejetos, dentro dos limites de 50%–65% de umidade, a maior quantidade possível de matéria orgânica biodegradável (açúcares, carboidratos e aminoácidos) para estabelecimento dos microrganismos mesófilos e termófilos que irão dar a partida na compostagem	Manejo adequado da água nas granjas
	Falta de substratos – a concorrência pela maravalha, amplamente empregada em camas de aves, leitões e produção de energia, tem sido relatada como uma das dificuldades em se implantar a compostagem em larga escala	Separar fases, planejar reflorestamento e uso de substratos alternativos
	Falta de mão de obra – o processo requer observação contínua e, eventualmente, aplicação de intervenções corretivas (revolvimento, aplicação de dejetos ou adição de substratos, etc.); assim, é necessário prever o aumento da demanda de horas de trabalho a serem dedicadas ao manejo do sistema	Implantação de processos automatizados em unidades de maior escala

Continua...

Tabela 20. Continuação.

Tipo de questão	Descrição	Possível solução
Não técnica	Mercado regional e obtenção de selos e licenças – essas duas questões estão interligadas. Apesar do grande crescimento do mercado orgânico, é possível que um estudo criterioso demonstre não haver uma demanda local capaz de absorver a produção integral dos compostos. Nesse caso, a exportação desse produto só será viabilizada por meio da obtenção de selos certificadores e licenças que comprovem a qualidade do produto e possibilitem a sua comercialização para outras regiões ou estados. Atualmente, a obtenção desses selos concedidos pelo Mapa e entidades nacionais e internacionais de produção orgânica é um processo bastante complexo e moroso	Organização e profissionalização do setor para assegurar, por meio de laudos técnicos e laboratoriais, o padrão de qualidade e uniformidade do composto produzido

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os problemas ambientais associados aos dejetos de animais emergem somente a partir do momento em que se aumenta excessivamente o número de animais por área.

Considerando o inegável valor fertilizante dos dejetos, a lógica inicial remete à avaliação da disponibilidade de solo e da sua capacidade de suporte para receber os efluentes gerados, racionalizando-se os custos da produção. Caso a área agrícola não possa receber os efluentes gerados na íntegra, deve-se incrementar o nível do tratamento até seu enquadramento legal.

As estratégias de manejo ou tratamento a serem adotadas devem estar em consonância com a necessidade do sistema produtivo em se adequar a legislação ambiental pertinente, bem como com a preservação dos recursos naturais. O maior desafio atual, no entanto, é compatibilizar os custos das tecnologias desenvolvidas com a capacidade de assimilação destes pelo setor produtivo. Isso faz com que os esforços estejam focados em soluções mais simples, racionais e principalmente econômicas, tais como as duas tecnologias destacadas neste capítulo.

A escolha da melhor configuração a ser adotada dependerá da capacidade de investimento e limitações que cada tecnologia irá fornecer. Entretanto, é necessário se ressaltar que não existe uma tecnologia adaptável a todas as situações.

Outro componente importante para que uma tecnologia tenha eficiência, que muitas vezes é esquecido, refere-se à capacitação da mão de obra. À medida que as produções vão se tecnificando e a legislação ambiental tornando-se mais restritiva, o conhecimento técnico torna-se cada vez mais importante e, para isso, é necessária a participação de recursos humanos qualificados que tenham, sobretudo, uma visão sistêmica do processo e de seus desdobramentos.

REFERÊNCIAS

- BITTON, G. *Wastewater microbiology*. New York: Willey-Liss, 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009. Estabelece as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 142, 28 jul. 2009. Seção 1, p. 20. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=20542>>. Acesso em: 19 jul. 2011.
- CANTRELL, K. B.; DUCEY, T.; RO, K. S.; HUNT, P. G. Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, p. 7941-7953, 2008.
- CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2007.
- COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.
- COSTA, C. C. **Avaliação de sistema anaeróbio (RAC-UASB) no tratamento de água residuária de suinocultura e aplicação via fertirrigação, em feijão-vagem cultivado em ambiente protegido**. 2007. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

DUARTE, E.; FERREIRA, L. **Optimização da produção de biogás em explorações pecuárias/agrícolas: o desafio da auto-suficiência energética.** 2007. Disponível em: <www.isa.utl.pt/def/interreg/docs/2P.4.pdf>. Acesso em: 25 set. 2012.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para reciclagem de biossólidos.** Rio de Janeiro: Abes, 1999. 84 p.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase à agregação de valor: um estudo de caso da Região de Toledo – PR.** 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

HIGARASHI, M. M.; COLDEBELLA, A.; OLIVEIRA, P. A. V.; MATTEI, R. M.; SILVA, V. S.; AMARAL, A. L. Concentração de macronutrientes e metais pesados em maravalha de unidade de suínos em cama sobreposta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 311-317, 2008.

HIGARASHI, M. M.; SARDÁ, L. G.; OLIVEIRA, P. A. V. D.; COMIN, J. J.; CURIOLLETTI, F.; BRINGHENTI, M.; MATTEI, R. M. Influência da diluição no desenvolvimento da compostagem de dejetos de suínos com maravalha. In: CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL, 10.; CONGRESO DEL MERCOSUR, 2., 2009, Rosário, 2009. **Libro de Resúmenes...** Rosário: UNR Editora, 2009. p. 162.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. 2006. **Greenhouse Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: AGRICULTURE, Forestry and Other Land Use.** Hayama: Institute for Global Environmental Strategies. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2013.

KUNZ, A.; ENCARNAÇÃO, R. Tratamento de dejetos animais. In: GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P. (Ed.). **Gestão ambiental na agropecuária.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 169-191.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Biodigestor para o tratamento de dejetos de suínos: influência da temperatura ambiente.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005. 5 p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 416).

OLIVEIRA, P. A. V. de. (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1993. 188 p. (EMBRAPA-CNPISA. Documentos, n. 27).

PAILLAT, J. M.; ROBIN, P.; HASSOUNA, J.; LETTERME, P. **Effet du compostage défluent porcins sur les émissions gazeuses et les teneurs en éléments polluants.** Rennes: Inra Centre de Recherches de Rennes, 2005. 106 p.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: estudo de caso.** 2006. 152 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

REINHARD, B. **Valorisation concepts for biodigestor effluent.** 2006. 70 f. Thesis. (Branch of study biotechnology) - HSW University of Applied Science, Zurich.

RYNK, R. M. van de; KAMP, G. G.; WILLSON, M. E. SINGLEY, T. L.; RICHARD, J. J. KOLEGA, F. R.; GOUIN, L.; LALIBERTY JÚNIOR, D.; KAY, D.; MURPHY, H. A.; HOITINK, J.; BRINTON, W. F. In: RYNK, R. **On-farm composting handbook.** (Ed.). **Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service**, Ithaca, n. 54, 1992.

SILVA, F. M.; LUCAS JÚNIOR, J. **Biogás: produção e utilização.** Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 1992. 7 p. (Boletim Técnico).

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e de Fertilidade do Solo. Núcleo Regional Sul. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 10 ed. Porto Alegre: SBCS: NRS: CQFS, 2004. 400 p.

THE ENGINEERING TOOLBOX, 2013. Disponível em: <http://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d_1148.html>. Acesso em: 11 jun. 2011.

VIVAN, M.; KUNZ, A. Purificação de biogás em meio suporte sólido. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA, 12., 2008, Concórdia. **Anais...** Concórdia: SEDEPE, 2008.

ZHU, N. Composting of high moisture content swine manure with corncob in pilot-scale aerated static bin system. **Bioresource Technology**, Essex, v. 97, p. 1870-1875, 2006.