

I-327 - DESEMPENHO DE REATORES ANAERÓBIOS HORIZONTAIS DE LEITO FIXO, EM SÉRIE, TRATANDO ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA

Stuart C. Bueno Da Silva⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

Fernanda Ferreira da S. Santos⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade de Cuiabá. Bacharel em Geografia pela Universidade Federal de Mato Grosso. Mestranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Luan Gonsalves Guimarães⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso.

Aldecy de Almeida Santos⁽⁴⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso. Mestre em Física e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Mato Grosso. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco. Professor doutor na Universidade Federal de Mato Grosso.

Ivan Araújo Paiva⁽⁵⁾

Engenheiro Ambiental pelo Centro Universitário de Várzea Grande.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Fernando Corrêa da Costa, No. 2367 – Bairro Boa Esperança – Cuiabá – MT – CEP 78060-900 – Brasil – Tel: (65) 3615-8723 - e-mail: stuartbueno@gmail.com

RESUMO

A criação animal para produção de alimentos podem trazer impactos negativos pontuais e difusos. A suinocultura por exemplo, é uma atividade expressiva quando se fala em produção de carne no território brasileiro. Contudo, existe um grande repto quando se fala em produzir com qualidade, ambientalmente sustentável e ser economicamente viável. Assim o objetivo deste estudo foi desenvolver um Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo de baixo custo para realizar o tratamento de águas residuárias advindo de suinocultura de uma fazenda experimental. A partir do monitoramento de alguns parâmetros (pH, temperatura, cor, turbidez, sólidos totais, sólidos voláteis, acidez e alcalinidade) durante o período experimental, observou-se que o reator apresenta uma ótima alternativa para se tratar efluentes de suinocultura, sem necessitar de outro tratamento prévio. O emprego dos sistemas de tratamento anaeróbios no tratamento de águas residuárias de suinocultura se mostra vantajoso em relação aos métodos aeróbios, em vista do baixo consumo energético, bem como a produção de biogás, que tem se apresentado como insumo energético de grande importância na maioria das propriedades rurais. Para fins de pesquisas futuras, são plausíveis pesquisas sobre tratamentos que se mostre eficientes para realizar o pós-tratamento do efluente dos reatores, para possibilitar a utilização desta água para fins mais específicos, além da fertirrigação.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de efluentes, Economicamente viável, Suínos.

INTRODUÇÃO

A projeção do rebanho suíno no Brasil foi de aproximadamente 38 milhões de cabeças (IBGE, 2013), é o quarto plantel do mundo e também o maior produtor regional da América Latina, sendo que os sistemas confinados constituem a base da expansão suinícola (ANUALPEC, 2008). Grande parte da produção se concentra nos estados do Sul do país, mas destaque é dado ao Centro-Oeste, devido este abrigar a maior parte da produção de grãos, alimentos primordiais (milho e soja) para alimentação de suínos, além do grande salto na produção suinícola ocorrida nessa região nos últimos anos.

Além disso, devido a maior parte das suinoculturas no Brasil se concentrar em pequenas propriedades rurais, segundo Schmidt *et al.* (2007), aproximadamente 80% da produção de suínos encontra-se em unidades de até 100 hectares, muitas vezes os resíduos gerados não recebem o tratamento e destinação adequados, até mesmo pelo fato dos sistemas convencionais de tratamento se caracterizarem por altos preços de implantação e manutenção.

A digestão anaeróbia tem se apresentado como uma alternativa viável para o tratamento das águas residuárias de suinocultura, desta forma vem sendo estudada por diversos grupos no Brasil, devido as inúmeras vantagens que tem apresentado, como a remoção de altas concentrações de matéria orgânica, da produção de metano, da baixa produção de lodo e da pequena demanda de área (SÁNCHEZ *et al.*, 2005 *apud* SANTOS, 2009).

Atualmente um método usual de tratamento anaeróbio de efluentes tem sido o RAFA ou UASB, no entanto este tipo de reator está sujeito a limitações, principalmente tratando-se de resíduos com alta concentração de sólidos. Portanto, objetivou-se neste trabalho a realização de um projeto que, de maneira sustentável e com um baixo custo de implantação, realize adequadamente o tratamento das águas residuárias do setor de suinocultura da fazenda experimental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), possibilitando ao final deste tratamento, a minimização dos problemas ambientais decorrentes das suinoculturas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada foi dividida em quatro etapas: (a) caracterização do efluente da suinocultura da Fazenda Experimental da UFMT; (b) projeto e construção do experimento, compreendendo: quatro RAHLF em série; (c) monitoramento do funcionamento do sistema de tratamento, com análises periódicas; (d) análise estatística dos dados.

LOCAL DO EXPERIMENTO

O efluente tratado foi proveniente da suinocultura da Fazenda Experimental da UFMT, localizado no município de Santo Antônio do Leverger, Mato Grosso, sob as coordenadas geográficas 15°51'04.9"S 56°04'13.3"W (Figura 1).

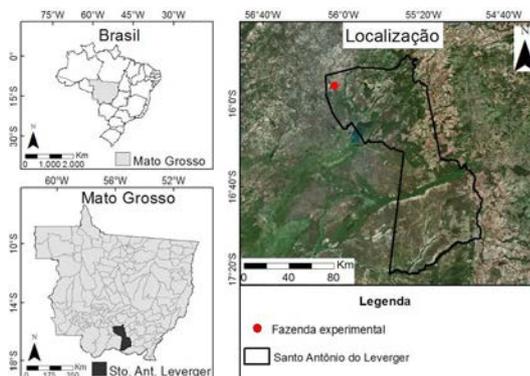


Figura 1: Mapa de localização da Fazenda Experimental da UFMT.

Fonte: Acervo pessoal.

O Reator Anaeróbio Horizontal (RAHLF), em escala piloto, foi construído no *Campus* da Universidade Federal de Mato Grosso na área do Centro Experimental de Hidráulica e Saneamento Ambiental (CEHISA), localizado nas coordenadas geográficas 15°36'33.8"S 56°04'02.5"W .

DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES EXPERIMENTAIS

A presente pesquisa foi desenvolvida a partir do projeto, construção e monitoramento de um sistema composto por quatro RAHLF e quatro gasômetros para coleta do gás.

Os RAHLF foram construídos com tubos de PVC, todos com diâmetro interno de 0,10 m e 1,50 m de comprimento, obtendo-se uma relação comprimento/diâmetro (L/D) igual a 15, possuindo capacidade total 11,78 L e volume útil de 11,00 L. Na parte superior do reator foram instaladas mangueiras para a captação do biogás e, nestes mesmos pontos, porém na lateral foram instalados registros para coleta de amostras. No centro do reator (0,75 m da entrada) foi instalado um registro na parte inferior para coleta de lodo para análises de sólidos totais e sólidos voláteis (Figura 2).



Figura 2: Sistema composto pelos quatro RAHLF em escala piloto.
Fonte: Acervo pessoal.

PARTIDA DO REATOR

O RAHLF foi preenchido com lodo inoculado proveniente de um reator UASB, tratando esgotos domésticos da cidade de Várzea Grande-MT. O volume de lodo de inóculo adicionado para preencher o reator foi de aproximadamente 3 L, sendo suficiente para preencher cerca de 30% do seu volume (SANTOS, 2009).



Figura 3: Reator UASB na ETE de Várzea Grande-MT
Fonte: Acervo pessoal.

Para determinação da qualidade do lodo foram realizadas análises de sólidos totais, sólidos voláteis e pH de acordo com APHA/ AMMA/ WEF (2005).

Durante a partida do reator, utilizou-se o efluente da suinocultura, porém diluído com água, de forma que o lodo que estava aclimatado com um esgoto de carga bem inferior, pudesse se adaptar à carga proveniente da suinocultura, que se apresenta bem maior.

COLETA DO AFLUENTE

Os dejetos suínos utilizados como afluente no sistema de tratamento foram coletados quinzenalmente, na suinocultura da Fazenda Experimental da UFMT, que possuía suínos em fase de maternidade, berçário, crescimento e terminação, sendo estes alimentados com ração a base de milho e soja (Figuras 4 e 5).



Figura 4) Suínos em fase de maternidade; Figura 5) Instalações dos suínos em fase de crescimento.
Fonte: Acervo pessoal.

As coletas do esgoto bruto na suinocultura da fazenda experimental da UFMT, eram feitas durante o processo de lavagem dos setores da suinocultura, o qual ocorria a cada dois dias. O processo de lavagem era feito com água em grande quantidade, sendo que se estima o gasto de 15 m³ por lavagem.

A metodologia adotada coleta das amostras composta foi a seguinte, uma coleta de volume padrão, no caso, 0,2 L, a cada intervalo fixo (cinco minutos). A cada 5 minutos era coletada essa quantidade padrão duas vezes, uma em um recipiente individual (um para cada setor da suinocultura) e outro para um recipiente para todos os setores. Desta forma, ao final da coleta haviam 3 amostras dos setores e uma composta de todos os setores (amostra do berçário, terminação, reprodução e composta). O ponto de coleta era na caixa de passagem que havia no início da tubulação, a fim de se obter um efluente mais homogêneo.

CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE

Para caracterização do afluente, foram feitas duas coletas, uma no dia 31/08/2015 e outra no dia 04/09/2015. Foram verificados os seguintes parâmetros: pH, cor, turbidez, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, sólidos sedimentáveis, demanda química de oxigênio (DQO_{tot}), nitrogênio total (NTK) e fósforo total (P-total), sendo que as análises foram realizadas no laboratório de análises físico-químicas do Departamento de Engenharia Sanitária (DESA) da UFMT.

MEIO SUPORTE

Como meio-suporte para a imobilização da biomassa, foram utilizados anéis de mangueira de PVC corrugada flexível com bitola de 1" com tamanho médio de 3 cm. O ensaio de porosidade para os anéis foi realizado utilizando um dos RAHLF (Figuras 6).



Figuras 6: Preenchimento do RAHLF com os anéis para determinação da porosidade do leito. Fonte: Acervo pessoal.

A Porosidade do conduíte (P_c) é expressa em percentagem, e é definida como o Volume dos poros do conduíte (V_p) no RAHLF dividido pelo Volume total (V) do reator, de acordo a Equação (7):

$$P_c = \frac{V_p * 100}{V} \quad \text{Equação (7)}$$

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICOS NOS AFLUENTES, EFLUENTES, LODO E BIOGÁS

As amostras nos RAHLF 1, 2, 3 e 4 foram coletadas nos registros de entrada e saída de cada reator, com TDH pré-determinados. Para coleta de lodo haviam torneiras na parte inferior de cada reator. Na Tabela 1, estão representadas as análises físico-químicas que foram realizadas para os exames e determinações dos parâmetros e as fontes das metodologias utilizadas para os ensaios.

Tabela 1. Exames, determinações e fontes das metodologias utilizadas para os ensaios.

Exames e determinações	Frequência	Referência bibliográfica
pH	1 por semana	APHA, AWWA, WPCF (2005)
Cor	1 por semana	APHA, AWWA, WPCF (2005)
Turbidez	1 por semana	APHA, AWWA, WPCF (2005)
Sólidos totais	1 por semana	APHA, AWWA, WPCF (2005)
Sólidos fixos	1 por semana	APHA, AWWA, WPCF (2005)
Sólidos voláteis	1 por semana	APHA, AWWA, WPCF (2005)
Demanda química de oxigênio (DQO total)	1 por semana	APHA, AWWA, WPCF (2005)

Fonte: Acervo pessoal.

A fim de se determinar a eficiência das atividades do sistema composto pelos RAHLF, utilizou-se a Equação onde as concentrações C_{AF} e C_{EF} eram do parâmetro o qual se desejava obter a eficiência sobre ele.

$$E = \frac{C_{AF} - C_{EF}}{C_{AF}} \quad \text{Equação (8)}$$

onde,

E = Eficiência (%);

C_{AF} = Concentração no afluente bruto (mgL^{-1});

C_{EF} = Concentração no efluente tratado (mgL^{-1}).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA

A caracterização do efluente gerado pela suinocultura da fazenda experimental da UFMT se deu a partir da média dos valores encontrados em duas amostragens compostas dos efluentes nos setores de berçário, maternidade, crescimento e terminação. Na tabela 2 é possível observar os valores obtidos.

Tabela 2. Resultados das análises do efluente bruto da fazenda experimental.

Parâmetros	Coleta (31/08/2015)	1 Coleta (04/09/2015)	2 Média
pH	7,2	7,1	7,15
Cor (mg.PtCO.L ⁻¹)	17500,00	20400,00	18950,00
Turbidez (NTU)	3600,00	3300,00	3450,00
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	5147,33	5588,00	5367,67
Sólidos Fixos (mg.L ⁻¹)	4414,67	5279,33	4847,00
Sólidos Voláteis (mg.L ⁻¹)	732,67	308,67	520,67
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	42,00	46,00	44,00
DQO (mg/L)	24326,70	31600,00	27963,35
Fósforo (mg/L)	371,72	375,83	373,78
Nitrogênio NTK (mg/L)	2708,50	2964,50	2836,50

Os resultados encontrados aproximaram-se bastante pelos encontrados por Medri (1997). A diferença em relação aos valores encontrados por outros autores pode ter sido influenciada pelo tipo de criação, estrutura físicas e acomodações dos animais, como tipo de bebedouros e declividade do solo e outros aspectos referentes a nutrição animal. Outro fator pode ser as diferenças climáticas de região para região e a sazonalidade.

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os valores de DQO_{total} aplicadas no sistema, sofreram oscilações devido às diluições que o afluente era submetido. Nas duas primeiras semanas do experimento, foram aplicadas concentrações com diluição de 1:2 (Efluente bruto: Água) gerando um valor de 3500 mgL⁻¹ DQO, a fim de não sobrecarregar a biomassa proveniente do reator UASB, que anteriormente estava submetida à cargas ligeiramente inferiores (esgoto doméstico). Após o período de adaptação da biomassa, foram sendo aplicadas COV maiores, até chegar ao valor máximo de 5246 mgL⁻¹ DQO, na 7ª semana do experimento.

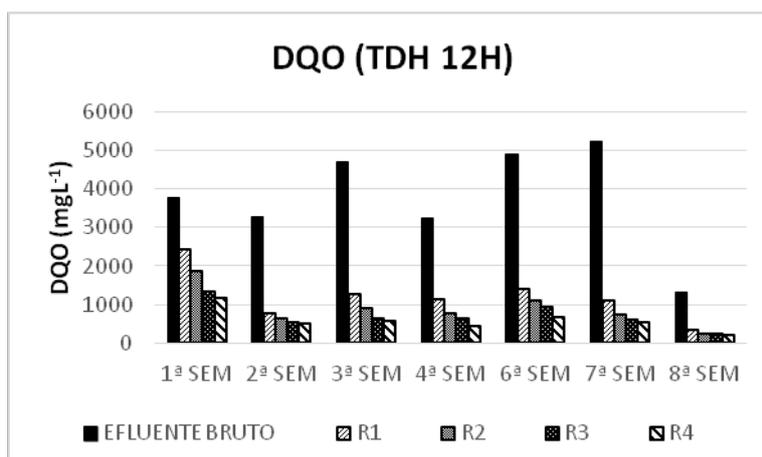


Figura 7: DQO no afluente e efluentes (R1, R2, R3 e R4) para o TDH de 12 horas.

Fonte: Acervo pessoal.

A fim de determinar a eficiência do sistema, foi realizado o monitoramento da carga orgânica, medida como DQO, no afluente bruto e efluentes dos reatores R1, R2, R3 e R4, como está ilustrado na figura 9, correspondentes aos TDH de 12 e 15 horas, respectivamente, que foram aplicados ao longo das 8 semanas do experimento.

Durante as primeiras semanas do experimento, já foram obtidos resultados satisfatórios de eficiência na remoção de DQO, 69 e 70%, nos TDH de 12 e 15 horas, respectivamente. Nas semanas posteriores, as

eficiências foram aumentando, chegando ao valor de 90% para ambos os TDH durante a sétima semana do tratamento. É interessante observar que, a eficiência máxima do sistema ao longo do experimento foi atingida com a aplicação da maior carga orgânica ($5246 \text{ mgL}^{-1} \text{ DQO}$). Resultados semelhantes também foram encontrados por Duda (2010), ao tratar efluente de suinocultura em reator UASB seguido de filtro anaeróbio de fluxo ascendente, que obteve altas eficiências ao aplicar as maiores concentrações de cargas orgânicas, o que indica uma característica dos reatores UASB que o RAHLF tem em comum.

A eficiência nos reatores na maioria das semanas do experimento, apresentou-se de forma decrescente do reator R1 para o R4. Desta maneira, o reator R1 se mostrou como o responsável por consumir a maior parte da matéria orgânica, sendo que os reatores seguintes removiam em menores proporções.

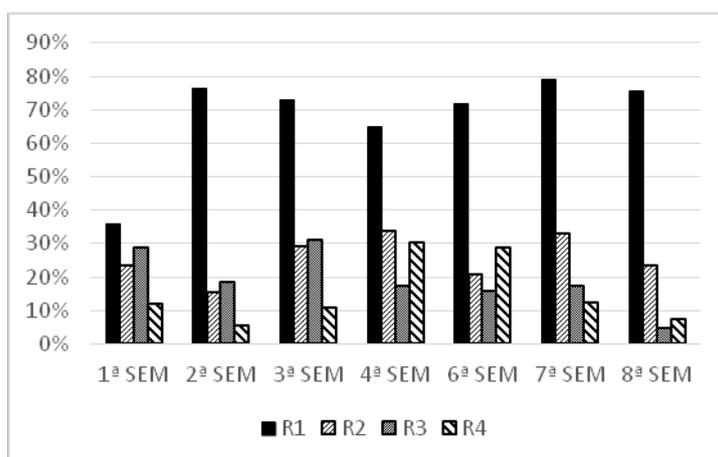


Figura 8: Eficiência na remoção de DQO nos reatores R1, R2, R3 e R4 no TDH de 12 horas.
Fonte: Acervo pessoal.

Durante três semanas do experimento (3ª, 4ª e 7ª) foram realizadas as análises de $\text{DQO}_{\text{filtrada}}$ além das análises normais de DQO. Os resultados obtidos de concentração para as amostras filtradas foram significativamente inferiores às não filtradas, o que indica que grande parte da carga existente no afluente bruto é proveniente de sólidos.

Os resultados obtidos em termos de remoção de $\text{DQO}_{\text{filtrada}}$ evidenciam que a estabilização complementar da matéria orgânica no reator ocorre por via bioquímica (hidrólise, acidificação e metanogênese), e não apenas por mecanismos físicos (CASTRO E SILVA, 2014). É possível observar na tabela 3.

Tabela 3: Concentrações médias e eficiências obtidas para amostras filtradas e não filtradas.

Unidade	TDH (h)	AMOSTRAS NÃO FILTRADAS		AMOSTRAS FILTRADAS	
		Conc. Média ($\text{mgL}^{-1}\text{DQO}$)	Eficiência (%)	Conc. Média ($\text{mgL}^{-1}\text{DQO}$)	Eficiência (%)
Afluente Bruto	12	3770,36	84,7%	881,33	89,3%
Efluente (R4)		577,57		94,33	
Afluente Bruto	15	3770,36	84,8%	881,33	92,6%
Efluente (R4)		573,00		65,33	

Fonte: Acervo pessoal.

Sólidos

Os resultados encontrados para remoção de sólidos suspensos totais foram próximos aos apresentados por Santos (2009), que durante 4 fases de operação de um sistema de quatro RAHLF (R1+R2+R3+R4) encontrou os valores de 96,7; 83,4; 95,5 e 85,6 mgL^{-1} , respectivamente. Como o sistema mantém a eficiência da remoção de DQO e remoção de SST mesmo quando aplicadas altas concentrações de sólidos, fica evidenciada sua

estabilidade e robustez para tratar águas residuárias da suinocultura com altas concentrações de sólidos suspensos (DUDA, 2010).

Tabela 4: Concentração de SST nos afluentes e efluentes e respectivas eficiências de remoção no sistema de tratamento.

Unidade	TDH (h)	SST (mgL-1)	Eficiência
Afluente Bruto	12	3791,5	94%
Efluente (R4)		235	
Afluente Bruto	15	3791,5	94%
Efluente (R4)		209,5	

Fonte: Acervo pessoal.

CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A caracterização dos parâmetros físico-químicos do efluente bruto da suinocultura obteve resultados semelhante ao de alguns autores, mostrando coerência nos valores, bem como comprovou as altas concentrações de DQO e nutrientes presentes neste tipo de dejetos, o que o inviabiliza de ser lançado em algum corpo d'água ou utilizado como fertilizante no estado bruto.

A partir do monitoramento de alguns parâmetros (pH, temperatura, cor, turbidez, sólidos totais, sólidos voláteis, acidez e alcalinidade) durante o período experimental, observou-se que o reator apresenta uma ótima alternativa para se tratar efluentes de suinocultura, sem necessitar de outro tratamento prévio.

A eficiência do sistema composto pelos quatro reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF), em série, apresentou eficiência de até 90% com relação a remoção de DQO_{total}, que foi acima do resultado esperado, de 70%.

O emprego dos sistemas de tratamento anaeróbios no tratamento de águas residuárias de suinocultura se mostra vantajoso em relação aos métodos aeróbios, em vista do baixo consumo energético, bem como a produção de biogás, que tem se apresentado como insumo energético de grande importância na maioria das propriedades rurais.

Para fins de pesquisas futuras, são plausíveis pesquisas sobre tratamentos que se mostre eficientes para realizar o pós-tratamento do efluente dos reatores, para possibilitar a utilização desta água para fins mais específicos, além da fertirrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU NETO, M. S. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator anaeróbio compartimentado seguido de reator UASB. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007. 192p.
2. ANUALPEC 2008. Anuário da pecuária brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2008. 380p.
3. APHA/ AWWA/ WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington, 2005. 1.268 p.
4. BORGES, A. C.; PEREIRA, P. A.; MATOS, A. T. Partida de um reator anaeróbio horizontal para tratamento de efluentes do processamento dos frutos do cafeeiro. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 661-669, 2009.
5. BRUNO, M. Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios tratando águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007. 125p.
6. CAMPOS, C.M.M.; DAMASCENO, L.H.S.; MOCHIZUKI, E.T.; BOTELHO, C.G. Avaliação do desempenho do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) em escala laboratorial na remoção de carga

- orgânica de águas residuárias da suinocultura. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.29, n.2, 2005. p.330-399.
7. CASTRO E SILVA, P. Desempenho de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente como unidade de tratamento para efluente de suinocultura. Dissertação (Mestrado em Gestão de Resíduos e Efluentes), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014, 103p.
 8. CHERNICHARO, C.A.L. et al. Reatores anaeróbios de manta de lodo. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo. PROSAB, Rio de Janeiro, 1999, cap. 07, p. 155-198.
 9. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico em águas residuárias. 2. Ed, Belo Horizonte, DESA/UFMG, 2007. 359p.
 10. CPTEC – CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Previsão de tempo para cidades. 2016. Disponível em <<http://www.cptec.inpe.br/cidades/tempo/226>> Acesso em: 09 de abril, 2016.
 11. DUDA, R.M. 2010. Desempenho de sistema composto por reatores anaeróbios em série seguido de filtro biológico percolador no tratamento de águas residuárias de suinocultura. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária), Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010. 259p.
 12. EMBRAPA. A suinocultura no Brasil (2010). Disponível em <http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=19> Acesso em: 10 de janeiro, 2016.
 13. FONTOURA, D.V.R. Contribuição à modelagem do reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) para o tratamento de águas residuárias. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004. 110p.
 14. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da Pecuária Municipal (2013). Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2013/ppm2013.pdf > Acesso em: 10 de janeiro, 2016.
 15. KUNZ, A.; PALHARES, J. C. P. A Importância do Correto Procedimento de Amostragem para Avaliação das Características dos Dejetos de Suínos. Comunicado Técnico: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Concórdia – SC, Julho – 2004.
 16. KUNZ, A. Impactos sobre a disposição de dejetos de animais sobre a qualidade de águas superficiais e subterrâneas. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2005, 6p.
 17. LINDNER, E. A. Diagnóstico da suinocultura e avicultura em Santa Catarina. Florianópolis: FIESC-IEL, 1999 1 CD -ROM.
 18. MIRON, Y.; ZEEMAN, G.; VAN LIER, J. B.; LETTINGA, G. The role of sludge retention time in the hydrolysis and acidification of lipids, carbohydrates and proteins during digestion of primary sludge in CSTR systems. *Water Research*, Wageningen, v. 34, 2000. p. 1705-1713