



**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico  
**Evento:** II Seminário de Inovação e Tecnologia

## DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO E CONTROLE DE TEMPERATURA EM REATORES ANAERÓBIO<sup>1</sup>

**Karl Benchimol Xavier Do Nascimento<sup>2</sup>, Diego Tolotti De Almeida<sup>3</sup>, Antonio Carlos Valdiero<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa realizado no curso de Engenharia Mecânica da Unijui

<sup>2</sup> Aluno do Curso de Engenharia Mecânica da UNIJUI

<sup>3</sup> Aluno do Curso de Engenharia Mecânica da UNIJUI

<sup>4</sup> PROF. DR. Curso de Engenharia Mecânica da UNIJUI

**Resumo:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de aquecimento e controle de temperatura em reatores anaeróbios para fins industriais ou agroindustriais associado a sistemas de geração de energia elétrica ou produção de metano para aproveitamento dos subprodutos da digestão anaeróbia. O objetivo é manter a produção de biogás uniforme, independentemente da estação climática ou temperatura diária. O sistema funcionará utilizando uma fração do biogás produzido para geração de energia térmica por meio de queimadores a gás, trocadores de calor e serpentinas de condução do calor ao reator. Para controle dos processos, equações foram elaboradas para dimensionar a construção e atuação do sistema. Micro controladores processarão os sinais coletados por sensores de temperatura implantados nos reatores e acionarão os equipamentos.

**Palavras-Chave:** controle, temperatura, anaeróbio, biogás.

### Introdução

A digestão anaeróbia (biodigestão) é uma solução para o tratamento de dejetos orgânicos extremamente utilizada no mundo. Em 1986, a situação do Brasil segundo dados da EMATER, era de 7520 digestores instalados no meio rural, número que conferiu ao país o terceiro lugar no mundo, tanto em número de unidades como em recursos financeiros aplicados em pesquisa e difusão de tecnologia, sendo ultrapassado pela China e a Índia. No entanto, grande parte desses digestores foram desativados. Dentre os motivos mais citados para explicar a limitação e o descrédito na adoção desta tecnologia, incluem a interrupção do crédito rural específico em 1985 e a falta de seriedade de algumas empresas fabricantes de equipamentos que projetaram produções de biogás acima das realizáveis.

A atividade enzimática das bactérias depende intimamente da temperatura. Ela é fraca a 10°C e nula acima dos 65°C. A faixa dos 20°C a 45°C, corresponde à fase mesófila, enquanto que entre os 50°C e os 65°C, temos a fase termófila (AHRING et. Al., 2000). Na fase mesófila, as variações de temperatura são aceitáveis desde que não sejam bruscas. O mesmo não acontece com a fase termófila, onde as



**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico

**Evento:** II Seminário de Inovação e Tecnologia

variações não são aconselháveis. Todavia, ela permite cargas mais elevadas e um tempo de retenção menor, com maiores taxas de produção de gás (MOONIL et. al., 2002).

O tempo de retenção varia em função do tipo de biomassa, granulometria da biomassa, temperatura do digestor, pH da biomassa, etc., mas, de modo geral, situa-se na faixa de 4 a 60 dias. Normalmente, o tempo de digestão para esterco de animais domésticos situa-se na faixa de 20 a 30 dias (MORAES & PAULA, 2004). Como comparativo de eficiência, é comumente exposto pela bibliografia que a utilização de apenas um reator para a realização de todo o processo leva a predominância da fase bioquímica da acidogênese na base dos reatores, diminuindo a geração de metano, além de aumentar a produção de elementos corrosivos, como o H<sub>2</sub>S (MOONIL et. al., 2002).

As teorias sobre a biodinâmica do processo concordam que existem quatro subprocessos na digestão anaeróbia: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese. No entanto, as teorias apresentam soluções desenvolvidas para seus países de pesquisa e aplicação, conforme Moonil et al. (2002) e Ahring et al. (2000), ficando a importação desses modelos, como no caso brasileiro, prejudicado pela carência de concepções nacionais adequadas as relações produtivas aqui presentes.

O objetivo deste trabalho é o de apresentar o desenvolvimento de um sistema de aquecimento e controle de temperatura em reatores anaeróbios para o desenvolvimento de bactérias atuantes na zona mesofílica (30 a 35°C) ou na zona termofílica (55 a 65°C), com o intuito de conceber um sistema que mantenha a produção de biogás uniformemente, independentemente da estação climática ou temperatura diária.

### Metodologia

Foi realizado um levantamento dos modelos de digestores anaeróbios desenvolvidos e aplicados no Brasil, e, assim, constatou-se que o modelo de digestão predominante é o descrito na Figura 1. Esses processos utilizados têm como deficiência a incapacidade de efetuar uma redução da carga orgânica dos efluentes a taxas próximas a 95% - o que adequaria aos padrões de lançamento de dejetos no meio rural. O principal fator analisado é baixa eficiência de remoção da carga orgânica em virtude do baixo metabolismo das bactérias aliado a mudanças bruscas de temperatura nos reatores – visto que a grande maioria dos digestores anaeróbios instalados no Brasil se encontram na região sul e sudeste, onde, durante pelo menos seis meses ao ano, ocorrem grande variação de temperatura.

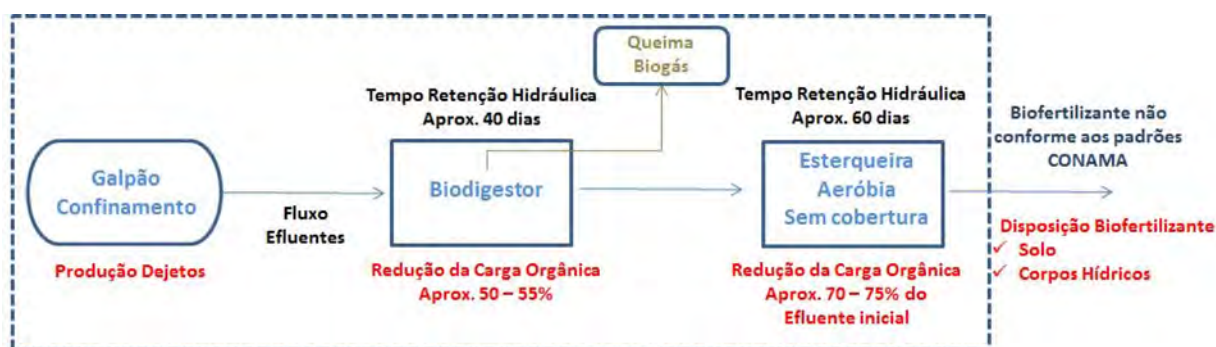


Figura 1 – Modelo de digestão anaeróbia implantado no Brasil



**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico  
**Evento:** II Seminário de Inovação e Tecnologia

Foi desenvolvida uma hipótese construtiva com base nos modelos empregados na Alemanha e Estados Unidos onde são utilizados reatores de duas fases com alimentação contínua e tanque movimentado (Two Phase Continuously Stirred Tank Reactor). Para isso, é necessária a construção de um reator para os processos de hidrólise e acidogênese e outro para os processos de acetogênese e metanogênese. A segmentação, divisão das etapas da biodigestão, em reatores independentes com funções distintas mostra-se importantíssima para melhor controle dos processos.

### Resultados e discussão

Após análise das deficiências apresentadas nos modelos nacionais e comparando-os com os modelos apresentados por Moonil et al. (2002) e Ahring et al. (2000), é proposto na Fig. 2 uma hipótese construtiva para reatores anaeróbios onde se realizaria o aquecimento e o controle de temperatura, evitando mudanças abruptas de temperaturas que afetariam as condições bacterianas. Salienta-se que o modelo desenvolvido segue os conceitos construtivos dos reatores que são atualmente desenvolvidos nos EUA e Alemanha, no qual a parte cônica é enterrada e a parte cilíndrica é disposta sobre o solo. A vantagem desse modelo é que ele pode ser empregado na quase totalidade das propriedades rurais, na medida em que não necessita de uma profundidade maior que 1,5m (um metro e cinquenta centímetros). E, no que tange ao isolamento térmico das paredes dos digestores, mantas isolantes serão empregadas para reduzir a troca de calor com o ambiente, aumentando a eficiência da manutenção da temperatura interna. Propõem-se o acréscimo dos equipamentos e acessórios expostos juntamente com a construção do reator de acidogênese, que apresentaria 2/40 do volume sobre os modelos de digestores utilizados no Brasil (Fig. 1) ou 2/25 do volume utilizado na hipótese construtiva (Fig. 2), conforme Eq. (1) para dimensionamento do reator de acidogênese.

# SALÃO DO CONHECIMENTO

XX Seminário de Iniciação Científica  
XVII Jornada de Pesquisa  
XIII Jornada de Extensão

II Mostra de Iniciação Científica Júnior  
II Seminário de Inovação e Tecnologia

2012



**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico  
**Evento:** II Seminário de Inovação e Tecnologia

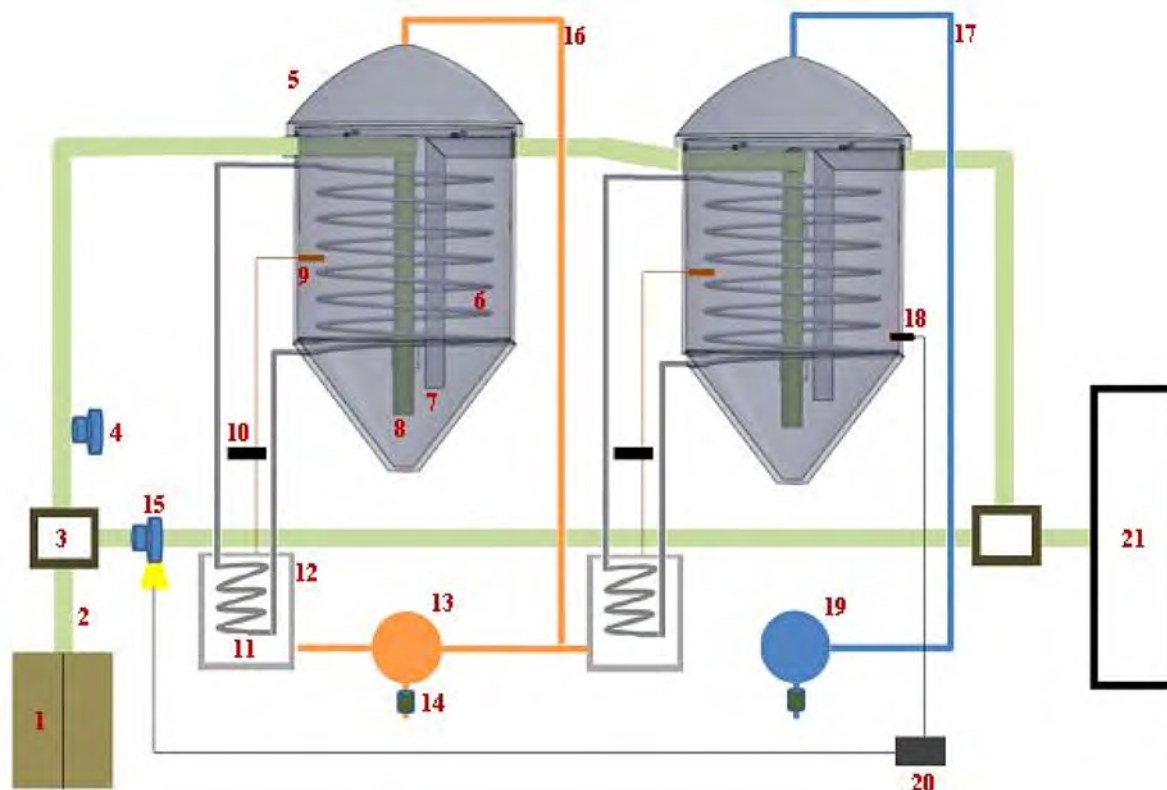


Figura 2 – Croqui esquemático da hipótese construtiva

Onde: 1, Pocilga de dejetos; 2, Tubulação 150mm; 3, Caixa de passagem; 4, Bomba elevação; 5, Reator acidogênese; 6, Serpentina alumínio; 7, Tubulação movimentação; 8, Tubulação limpeza; 9, Sensor Temperatura; 10, Microcontrolador; 11, Trocador de calor; 12, Aquecedor; 13, Gasômetro Biogás impuro; 14, Válvula alívio pressão; 15, Bomba adição inoculo; 16, Tubulação biogás impuro; 17, Tubulação biogás; 18, Sensor pH; 19, Gasômetro Biogás; 20, Medidor pH e microcontrolador; 21, Lagoa Biofertilizante.

$$V_{ra} = \frac{TRH_{ra}}{TRH_{rm}} \times V_{rm} \quad (1)$$

Onde:  $V_{ra}$ , volume do reator de acidogênese;  $TRH_{ra}$ , tempo de retenção hidráulica do reator de acidogênese;  $TRH_{rm}$ , tempo de retenção hidráulica do reator de metanogênese; e,  $V_{rm}$ , volume do reator de metanogênese.

A Figura 3 apresenta detalhes do sistema de aquecimento e controle da temperatura desenvolvido neste projeto para qualquer tipo de reator anaeróbio.

Foi empregado o valor de 15°C para o efluente de entrada no processo (simulando temperatura de inverno) e de 63°C para o efluente remanescente no reator de acidogênese (simulando uma taxa de

**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico

**Evento:** II Seminário de Inovação e Tecnologia

ineficiência de medição sobre os 65°C pretendidos), com a quantidade de descargas variável para se ajustar e evitar uma variação abrupta das condições de digestão do reator.

Tomando por base a primeira Lei da Termodinâmica (Eq. 2), sendo Q=energia, tem-se:

$$Q_{cedido} = Q_{recebido} \quad (2)$$

Considerando-se que nenhum trabalho é empregado na homogeneização do efluente de entrada (índice 2, água fria) com o residente no reator de acidogênese (índice 1, água quente), têm-se a Eq. 3. na qual: m, vazão em massa (litros/h); c, calor específico (Kcal/Kg°C); t, temperatura em °C, e como  $c_1 = c_2$ , uma vez que, para efeitos práticos, trata-se do mesmo líquido, temos que:

$$m_1 T_{i1} + m_2 T_{i2} = (m_1 + m_2) T_f \quad (3)$$

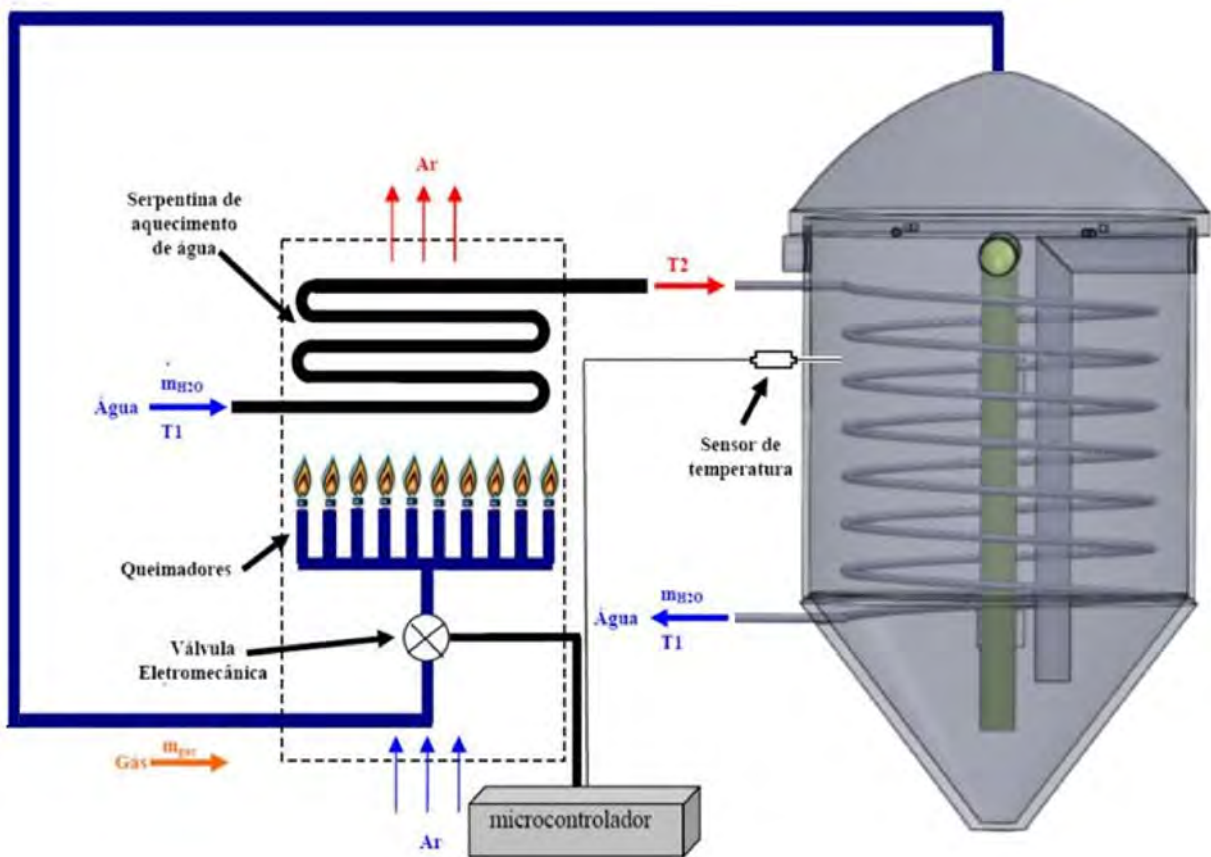


Figura 3 – Sistema de geração de energia térmica aproveitando o biogás com maior teor de H<sub>2</sub>S.



**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico

**Evento:** II Seminário de Inovação e Tecnologia

Onde:  $m_1$  = volume de efluente quente no reator de acidogênese (VEFA);  $T_{i1}$  = temperatura do efluente no reator de acidogênese (TERA);  $m_2$  = volume de efluente da descarga de entrada (VEF);  $T_{i2}$  = temperatura efluente entrada ( $T_{ef}$ );  $T_f$  = temperatura da mistura ( $T_{mist}$ );  $m_1 + m_2$  = volume do reator de acidogênese (VRA).

Substituindo os valores das temperaturas dos efluentes de entrada e do reator, temos:

$$T_{mist} = (63VEFA - 15VEF)/VRA \quad (4)$$

A Equação (4) apresenta o controle do fluxo de entrada do efluente no reator com o cálculo da temperatura do efluente homogeneizado.

Em relação ao dimensionamento do sistema de aquecimento, foi tomado por base a eficiência de um aquecedor a biogás ( $CH_4 > 65\%$ , com PCI de 5500 Kcal) no qual a eficiência do queimador é de 93% sobre o PCI do biogás. Utilizando o volume do reator de acidogênese ( $V_{ra}$ ) Eq.(1), deve-se buscar determinar quantas descargas diárias são necessárias para que o volume de efluente da descarga de entrada (VEF) injetado nos biodigestores mensurado na Eq. (4) não provoque redução além da indicada pelo processo. Dessa forma, para quantificar a quantidade de descargas diárias a serem realizadas ( $Q_{desc}$ ), devemos efetuar a razão entre o volume de dejetos produzidos na pocilga ( $V_{dej}$ ) e o volume de efluente da descarga de entrada (VEF), sendo determinado pela Eq. (5).

$$Q_{desc} = V_{dej} / VEF \quad (5)$$

Com a determinação da totalidade das descargas diárias a serem realizadas, podemos determinar o intervalo de horas entre as descargas ( $Int_{desc}$ ), pela razão entre a quantidade de horas diárias ( $H_{diárias}$ ) e a quantidade de descargas ( $Q_{desc}$ ), Eq. (6).

$$Int_{desc} = H_{diárias} / Q_{desc} \quad (6)$$

Após, pode-se calcular a quantidade de biogás por hora ( $Nm^3 \cdot biogás/hora$ ) a ser consumida para a manutenção da temperatura ideal do sistema pela determinação da quantidade de energia por hora ( $Q_{Ehora}$ , °C/hora) que deve ser fornecido ao reator de acidogênese – que é verificada pela razão entre a diferença de temperatura do efluente no reator de acidogênese (TERA), 63°C para termofílicos e 35°C para mesofílico, e a temperatura da mistura ( $T_{mist}$ ), pelo intervalo entre as descargas ( $Int_{desc}$ ) – multiplicado pelo volume do reator de acidogênese, pela eficiência de conversão da energia por normal metro cúbico de biogás pelo queimador ( $E_{fq}$ ) e pela razão entre do poder calorífico inferior medido do biogás ( $P_{bio}$ ) e  $P_{médio}$  (5500 Kcal/ $Nm^3$ , valor médio do biogás para cálculo da eficiência), Eq.(7).

$$Nm^3 \text{ biogás } ^\circ C / \text{ hora} = (TERA - T_{mist}) / Int_{desc} \times VRA \times E_{fq} \times P_{bio}/P_{médio} \quad (7)$$

Conclusão





**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico

**Evento:** II Seminário de Inovação e Tecnologia

Pode-se determinar por meio das equações acima expostas um maior controle sobre as subetapas dos reatores anaeróbios através do gerenciamento da temperatura dos mesmos.

Seu grau de aplicação está restrito a verificação dos resultados em um protótipo. Contudo, verifica-se grande potencial de sustentabilidade pela possibilidade de aumento dos processos metabólicos da digestão, o que levaria a adequação aos padrões ambientais de lançamento do biofertilizante gerado, além de agregar valor às atividades de produção de suínos e bovinos leiteiros pela possibilidade de implantação de sistemas de geração de energia elétrica que possuiriam fornecimento constante de biogás.

Como sugestão a novos trabalhos, sugere-se: a modelagem de um digestor para cama de frango e o desenvolvimento de um software de gestão.

#### Agradecimentos

Agradeço a UNIJUI pela estrutura e suporte acadêmico e ao meu orientador, professor Dr. Antonio Carlos Valdiero, pela orientação e apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

#### Referências Bibliográficas

Ahring, Birgitte K.1,2\*; Ashraf, Ibrahim A1.; Mladenovska, Zuzana1., “Effect of temperature increase from 55 to 65°C on performance and microbial population dynamics of an anaerobic reactor treating cattle manure”. 1) The Anaerobic Microbiology/Biotechnology Research Group, Department of Biotechnology, Building 227, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby, Denmark; 2) School of Engineering and Applied Science, Civil and Environmental Engineering Department, 5732 Boelter Hall, Box 951593, University of California, Los Angeles, CA 90095-1593, USA. 2000.

Moonil, Kim1; Young-Ho; Ahn2, R.E. Speece1., “Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs. thermophilic”. 1) Department of Civil & Environmental Engineering, Vanderbilt University, PO Box 1831, Station B, Nashville, TN 37235, USA; 2) Department of Civil Engineering, Yeungnam University, Kyungsan 712-945, South Korea. 2002.

Moraes, L.M.; Paula Junior, D.R. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de resíduos da bovinocultura e da suinocultura. Eng. Agric., Jaboticabal, v.24,n.2, p.445-454, maio/ag. 2004.

Arato Junior, A., “Manutenção Preditiva Usando Análise de Vibrações”, Editora Manole Ltda., Barueri, SP, 200p., 2004.