

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental****28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil*

III- 088 – CARACTERIZAÇÃO BACTERIOLÓGICA NO PROCESSO DE BIOETABILIZAÇÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Valderi Duarte Leite¹

Engenheiro Químico – DEQ/CCT/UFPB, Mestre em Engenharia Civil – DEC/CCT/UFPB, Doutor em Engenharia Civil – EESC/USP., Prof. do Centro de Ciências e Tecnologia da UEPB

Roberto De Oliveira

Engenheiro Agrícola – UNESP/ Jaboticabal, Doutor em Engenharia Civil – EESC/USP., Prof. do Departamento de Engenharia Rural da UNESP – Campus de Jaboticabal Jaboticabal – SP

Jurandyr Povinelli

Engenheiro Civil – EESC/USP, Doutor em Engenharia Civil – EESC/USP, Prof. do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP São Carlos – SP

Endereço:(1) Av. Vigário Calixto, 1475 – Catolé - 58104-485 – Campina Grande (PB) - tel. (083) 337 2793

e-mail valderileite@uol.com.br

RESUMO

Os resíduos sólidos e em especial os resíduos sólidos urbanos são constituídos por materiais que praticamente não se biodegradam, por materiais que se biodegradam lentamente e por materiais que se biodegradam em período de tempo relativamente curto. No estudo do processo de biodegradação de resíduos sólidos, necessariamente deve-se levar em consideração a constituição física e química dos resíduos, a granulometria dos resíduos, o percentual de umidade que deverá ser aplicada ao processo, a capacidade de tamponação que poderá apresentar ou não os resíduos, a relação C/N definida pela constituição química dos resíduos, a presença ou não de elementos que possam proporcionar inibição e/ou toxicidade, além dos parâmetros operacionais intrínsecos ao próprio processo tanto em relação aos aspectos físicos/químicos, como em relação aos aspectos bacteriológicos. Portanto, no tratamento anaeróbio de resíduos sólidos é de fundamental importância se estudar os aspectos inerentes à caracterização bacteriológica presente na massa de resíduos, objetivando, sobretudo a otimização da carga que se deve aplicar aos reatores e consequentemente o aproveitamento energético dos resíduos. Neste trabalho, no material examinado foi diagnosticada a presença mais representativa de massa bacteriana do gênero *Methanosarcina* SP.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos; anaeróbio; bacteriologia; potencial energético.

INTRODUÇÃO

Nos processos anaeróbios ou nos sistemas de biodigestão anaeróbia, a degradação da matéria orgânica envolve atuação de microrganismos procariontes anaeróbios facultativos e obrigatórios, cujas espécies pertencem ao grupo de bactérias hidrolíticas-fermentativas, acetogênicas e produtoras de hidrogênio e metanogênicas(VAZOLLER, 1995).

Algumas espécies de bactérias anaeróbias presentes nos tratamentos de rejeitos por digestão anaeróbia são apresentadas na Tabela 1

TABELA 1. - Espécies de bactérias anaeróbias no processo de biodigestão anaeróbia.

Etapas do Processo Anaeróbio	Espécies Bacterianas
Hidrólise e acidogênese	<i>Clostrídios, Acetivibrio Cellulolyticus, Bacteroides succinogenes, Butyrivibrio fibrisolvens, Eubacterium cellulosolvens, Bacillus sp, Selenomonas sp, Megaspheara sp, Lachnospira multiparus, Peptococcus anaerobicus, Bifidobacterium sp, Staphylococcus sp</i>
Acetogênese	<i>Syntrophomonas wolunii, S. wolfei, Syntrophus buswellii, Clostridium bryantii, Acetobacterium woddii, várias espécies de bactérias redutoras de ion sulfato - Desulfovibrio sp, Desulvotomaculum sp</i>
Metanogênese acetoclástica	<i>Methanosarcina sp e Methanotherix sp</i>
Metanogênese hidrogenotrófica	<i>Methanobacterium sp, Methanobrevibacter sp, Methanospirillum sp</i>

Fonte: ZEHNDER (1988) apud VAZOLLER (1995).

BRYANT (1974), foi quem primeiro classificou as bactérias metanogênicas definindo a família *Methanobacteriaceae* constituída por três gêneros: *Methanobacterium*, *Methanosarcina* e *Methanococcus*.

As bactérias metanogênicas estão classificadas no reino *Archaeobacteria* e diferem do Reino *Eubactéria* em seus aspectos metabólicos e nutricionais (OREMLAND, 1988).

As bactérias metanogênicas são filogeneticamente consideradas como o mais primitivo grupo de microrganismos vivos presentes na terra. São consideradas como anaeróbias estritas e utilizam somente alguns tipos de substratos. Desenvolvem-se favoravelmente em meio reduzido com potencial redox em torno de -300mV (BRYANT, 1981 apud VAZOLLER, 1990).

As metanobactérias crescem em ambientes com temperatura mesófila (15 a 45°C) e temperatura termófila (55 a 65°C). O intervalo de pH para a produção de metano situa-se na faixa de 6,8 a 7,2, já tendo sido constatado produção de metano em resíduos orgânico com valor de pH inferior a 6,0 unidades.

Apresentam necessidades simples de nutrientes e a maioria das espécies requer apenas sais minerais, CO₂, amônia e sulfeto.

MATERIAIS E MÉTODOS

A parte experimental do trabalho foi realizada nas dependências do Laboratório de Processos Anaeróbios do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Os resíduos sólidos urbanos utilizados foram coletados na Usina de Compostagem da CETESB instalada na cidade de Novo Horizonte, estado de São Paulo. O lodo utilizado com inóculo foi coletado na ETE da Indústria John Faber, localizada no distrito industrial da cidade de São Carlos. O sistema experimental era constituído por quatro reatores, com capacidade unitária de 50 litros.

Na Tabela 2 são apresentados os principais parâmetros operacionais dos reatores.

Tabela 2. Parâmetros operacionais dos reatores.

Parâmetro	RSU	Lodo	Massa Total	TU	PE	t
Reator	(%)	(%)	(kg)	(%)	(kg . m ⁻³)	(dias)
A	100,0	0,0	32,0	70,3	914,3	640,0
B	90,8	9,2	31,3	70,6	894,3	640,0
C	81,7	18,3	31,3	70,6	894,3	570,0
D	56,8	43,2	30,5	70,7	871,4	570,0

TU = teor de unidade; PE = peso específico; t = tempo de operação. TU = teor de unidade; PE = peso específico; t = tempo de operação.

Os reatores constituintes do sistema experimental foram monitorados em forma de batelada. O monitoramento teve por base o controle e análise da massa aplicada, da massa efluente e da massa acumulada em cada reator. A temperatura interna dos reatores e a temperatura ambiente receberam monitoramento periódico. Vale salientar que a massa aplicada está associada à massa total alimentada ao reator, enquanto a massa efluente está relacionada com a massa presente no lixiviado produzido pelo processo de bioestabilização da matéria orgânica. A massa acumulada compreende a massa bioestabilizada ou parcialmente bioestabilizada após o período de operação de monitoração dos reatores. Neste trabalho a parte analítica foi aplicada a fração sólida, líquida e gasosa. As análises foram realizadas utilizando-se os métodos preconizados pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 18th ed., APHA; AWWA, WPCF (1992).

Neste trabalho os exames microscópicos foram realizados no biofilme formado no leito filtrante dos reatores. O leito filtrante era um dispositivo constituído de areia de diferentes granulometrias e objetivava reter materiais de grandes e pequenas dimensões, evitando a obstrução do ponto de coleta do lixiviado. As amostras foram coletadas no sedimento formado na superfície superior do leito filtrante e ao longo de sua profundidade, onde os menores grãos de areia estavam recobertos por uma espessa camada de biomassa. A microscopia eletrônica de varredura foi realizada no microscópio eletrônico de varredura marca Jeol, Modelo JSM 25 SII, instalado no Campus da FAC/UNESP, Jaboticabal, SP, enquanto os exames de ótica comum de fluorescência e contraste de fase foram realizados no Microscópio Olympus BHT (ocular 10, objetiva 100 e zoom 1,25), instalado no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP, São Carlos, SP. Os procedimentos básicos empregados nas amostras para o exame de microscopia eletrônica de varredura foram: limpeza, fixação, desidratação, montagem, metalização e leitura das amostras. O exame foi realizado utilizando-se os métodos preconizados por Santos (1992). Para os exames de microscopia de fluorescência e contraste de fase, foram adotados os seguintes procedimentos: diluição, fixação e leitura das amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho serão apresentados os resultados referentes a alguns parâmetros físico/químicos que subsidiam o estudo do comportamento do processo anaeróbio. Dentre os parâmetros físico/químicos que nortearam significativa contribuição no entendimento do processo anaeróbio de resíduos sólidos urbanos e industriais, foi estudado o potencial redox. O potencial redox fornece o indicativo do estado de oxi-redução do substrato, podendo o valor absoluto deste parâmetro apontar qual a predominância do gênero bacteriano mais representativo presente no substrato. Na Figura 1 apresenta-se o comportamento do potencial redox quantificado nos líquidos lixiviados dos quatro reatores monitorados.

(Reator A)

(Reator B)

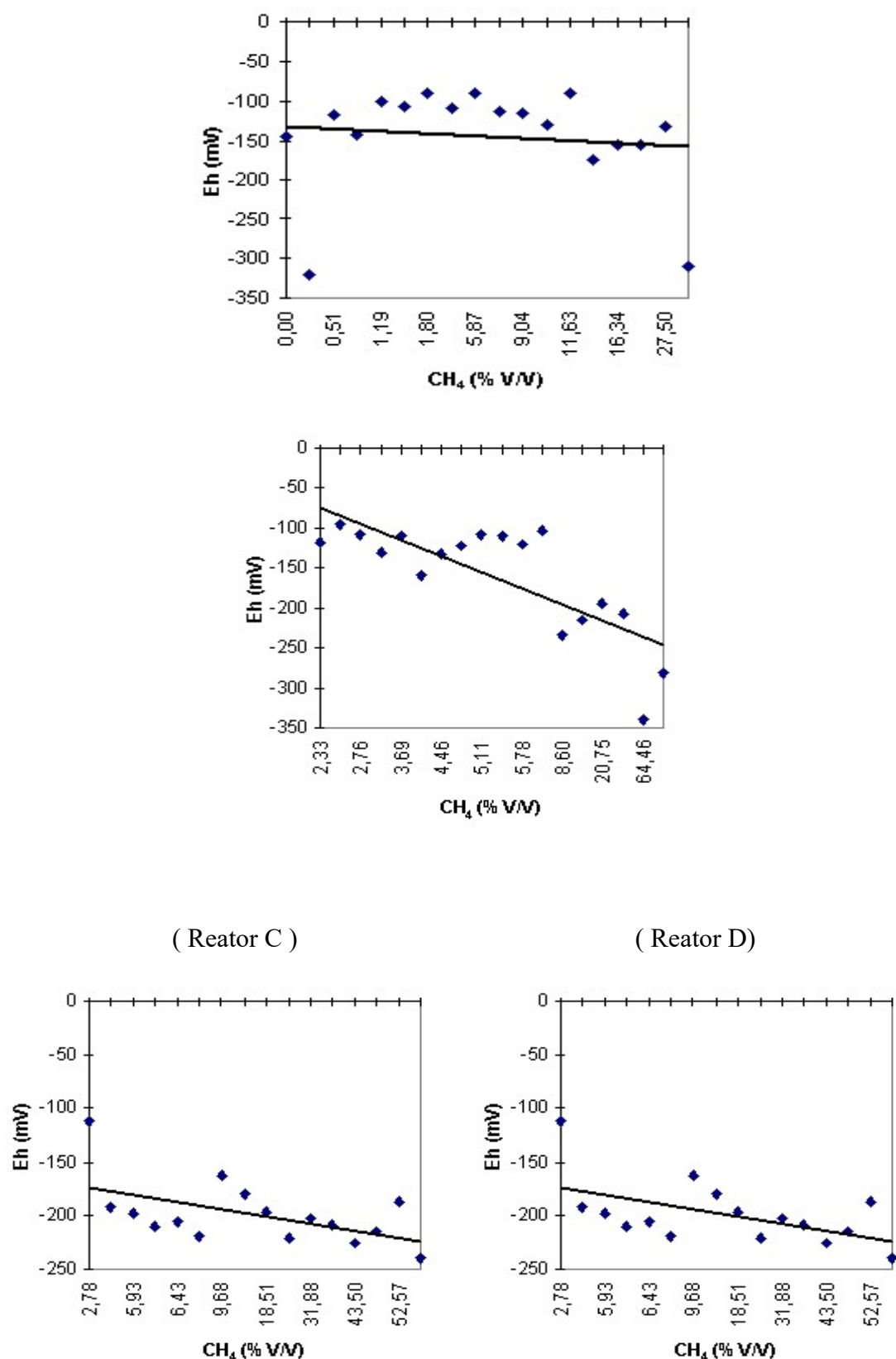


Figura 1. Comportamento do potencial redox dos líquidos lixiviados

Embora tenha havido limitações técnicas nas determinações analíticas do potencial redox, mesmo assim, estas tendências ratificam o controle do potencial redox no entendimento do comportamento dos microrganismos, quanto ao estado de oxidação ou redução do meio. A adição quantitativa de inóculo favoreceu sobremaneira a atividade metanogênica, indicativos estes comprovados pela redução do meio e conseqüente aumento do percentual de CH_4 no

biogás. Ficou constatado que a estabilidade do processo como um todo está condicionado aos valores negativos do potencial redox, que para muitos autores situa-se na faixa de -100 a -600 mV. Neste trabalho, os valores do potencial redox variaram de -50 a -350 mv, e a percentagem máxima de CH₄ foi alcançada para valores mais reduzidos do potencial redox nos líquidos lixiviados, confirmando que a bactéria metanogênicas requer meio reduzida para o seu pleno desenvolvimento. Pode-se constatar que o comportamento do potencial redox nos líquidos lixiviados estabeleceu tendência similar ao processo de bioestabilização anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário em trabalho realizado por LIMA (1988).

Na Tabela 3 são apresentados os valores do percentual máximo de gás CH₄ no biogás produzido pelo processo de bioestabilização anaeróbia da matéria orgânica para os reatores das três etapas.

Tabela 3. Percentagem máxima de CH₄ no biogás em relação ao tempo de operação.

Reator	%CH ₄
A	31,0 % (645dias)
B	66,00 % (600dias)
C	56,0 % (540 dias)
D	60,0 % (300 dias)

Reportando-se aos dados apresentados na Tabela 3 verifica-se que no processo de bioestabilização anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e lodo de esgoto industrial a percentagem de gás CH₄ no biogás foi função da percentagem de lodo adicionado no substrato. No caso do reator A que foi carregado apenas com resíduos sólidos urbanos, aos 645 dias de monitoração foi alcançado apenas 31% (percentagem em volume) de gás CH₄ no biogás produzido. O reator B que foi carregado com substrato constituído por resíduos sólidos urbanos mais lodo de esgoto industrial na proporção de 90,8 e 9,2% respectivamente, a composição do biogás continha 66% de gás CH₄ aos 600 ias de monitoração. Já no reator C, cuja composição dos substrato foi formada por 81,7 e 28,35 respectivamente de resíduos sólidos urbanos e lodo de esgoto industrial, a percentagem de CH₄ no biogás atingiu 56% aos 540 dias de monitoração. No caso do reator D, em que o substrato foi preparo com resíduos sólidos urbanos e lodo de esgoto industrial na proporção de 56,8 e 43,2% respectivamente, a percentagem de CH₄ no biogás atingiu 60% aos 300 dias de monitoração. Portanto, no caso específico deste trabalho, em que foi estudado o processo de digestão anaeróbia conjugada de resíduos sólidos urbanos e lodo de esgoto industrial, o quantitativo de lodo de esgoto industrial adicionado ao substrato, favoreceu positivamente o desempenho do processo, reduzindo consideravelmente o tempo necessário para bioestabilização do material orgânico presente no substrato, tornando o processo mais produtivo quando se objetivar o aproveitamento energético. Para efeito comparativo e tomando-se como tempo de monitoração 300 dias, a percentagem de CH₄ variou consideravelmente em função do percentual de lodo de esgoto industrial utilizado na preparação do substrato, conforme dados apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 Percentagens máximas de CH₄ no biogás aos 300 dias de operação.

Reator	%CH ₄
A	4,0 %
B	6,0 %
C	12,0 %
D	60,0 %

Portanto, analisando os dados apresentados na Tabela 4, pode-se constatar que o percentual de gás CH₄ no biogás produzido pelo processo de bioestabilização do material orgânico presente no substrato, foi diretamente proporcional ao percentual de lodo de esgoto industrial utilizado na preparação do substrato. Mesmo sabendo-se que o lodo de esgoto industrial utilizado apresentava em sua constituição material orgânico de difícil biodegradação, mesmo assim a densidade bacteriana presente no lodo e a capacidade de contribuir para equilibrar demais fatores intervenientes no processo, foi de fundamental importância para a digestão anaeróbia conjugada de resíduos sólidos, com concentração de sólidos totais em torno de 30% (percentagem em peso).

Na Figura 2 apresenta-se o resultado do exame de microscopia ótica de contraste de fase realizado no biofilme coletado no material do leito filtrante dos reatores.



Figura 2. Microscopia ótica de contraste de fase. Descrição: (aumento de 1000x objetiva: 100, ocular: 10, zoom: 1,25).

Analisando os resultados apresentados na Figura 2, foi constatado que no material do leito filtrante dos reatores, havia predominância de massa bacteriana do gênero *Methanosarcina* sp. Como os exames foram realizados após o período de monitoração dos reatores, que no caso do reator D e C foi de 570 dias, enquanto nos reatores B e A foi de 645 dias, não foi avaliado o período em que ocorreu a formação máxima da massa bacteriana predominantemente *Methanosarcina* sp na biomassa formada nos leitos filtrantes. Como a presença de gás CH₄ no biogás aconteceu em tempo relativamente mais curto no reator D e demais outros parâmetros analisados na fração líquida demonstraram que foi no reator D que ocorreu desempenho mais favorável do processo, consequentemente foi no leito **filtrante** do reator D que possivelmente aconteceu as primeiras formações de biofilme.

Na Figura 3 apresenta-se o resultado do exame de microscopia de fluorescência no biofilme coletado no material do leito filtrante dos reatores.

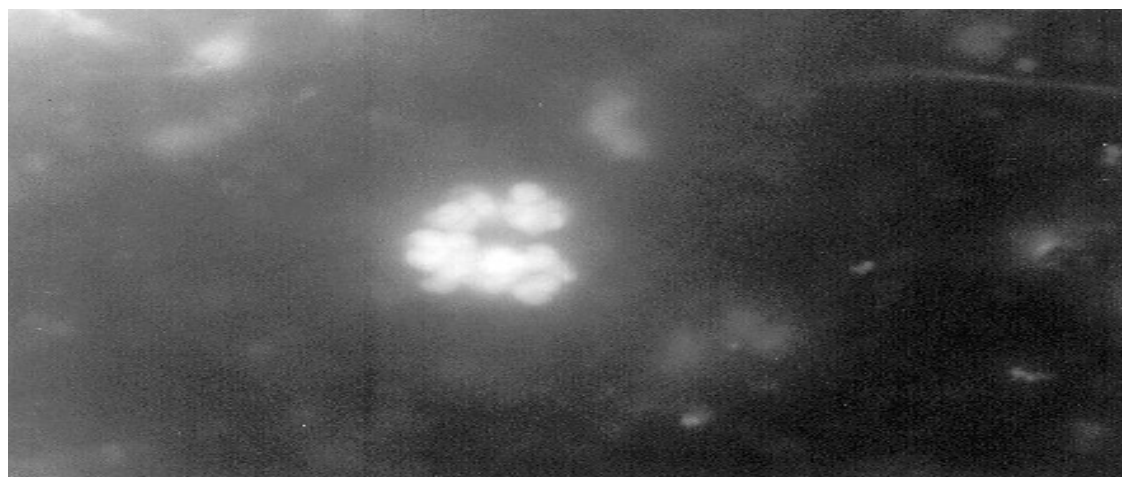


Figura 3. Microscopia de Fluorescência. Descrição: (aumento de 1000x; Objetiva 100; ocular 10 e Zoom 1,25.

Os resultados do exame de microscopia de fluorescência realizado no biofilme coletado no material do leito filtrante dos reatores, pode ser constatado que no material analisado predominava a mais representativa morfologia de bactérias com características do gênero *Methanosarcina* sp, o que pode ser ratificado ainda pelos resultados dos exames de microscopia eletrônica de varredura, conforme apresentado na Figura 4.



Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura. Descrição: (aumento de 3000x ; escala  (10 μm).

CONCLUSÕES

Frente a análise dos resultados deste trabalho, pode-se concluir que:

1. O processo de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos urbanos mais lodo de esgoto industrial, desponta como uma promissora alternativa para destinação deste resíduos, contribuindo para a redução de determinados tipos de impactos ambientais, além de proporcionar uma fonte alternativa de energia, principalmente para pequenas comunidades.
2. O lodo de esgoto industrial utilizado contribuiu favoravelmente para redução do tempo de bioestabilização do material orgânico e consequentemente o aumento da taxa de produção de gás CH₄.
3. O exame do biofilme coletado no material do leito, identificou a formação de uma mais representativa morfologia de bactéria com características do gênero *Methanosarcina* sp.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGEY'S Manual of Systematic bacteriology. 1^a ed., J. T. STALEY, M. P. BRYANT; N. P. FENING; J. G. HOLF. Baltimore, Williams & Wilkins, 1989.

LEITE, V. D. Processo de Tratamento Anaeróbio de Resíduos Sólidos Urbanos Inoculados com Lodo de Esgoto Industrial, 1997, São Paulo

SANTOS, J. M. Microscopia Eletrônica de Varredura Aplicada as Ciências Biológicas. FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, 1992.

OREMLAND, R. S. Biogeochemistry of Methanogenic bacteria, In: Biology of Anaerobic Microorganisms, ed A. J. B. ZEHNDER, Wageningen, John Wiley & Sons, 1988.

VAZOLLER, R. F. Ecologia da Digestão anaeróbia – Ênfase as Bactérias Metanogênicas. Trabalho apresentado no seminário de Tratamento Anaeróbio de Resíduo. EESC – USP 1990.

VAZOLLER, R. F. Avaliação do ecossistema microbiano de um digestor anaeróbio de Fluxo ascendente de manta de lodo, operado com vinhaça sob condições termofílicas. São Carlos, 1995. SHS: EESC, Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), EESC – USP.