



XI-020 - POTENCIAL DO TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO SANITÁRIO NA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Rosilene Leroy Alves Caldeira⁽¹⁾

Engenheira Química pela UFMG com 16 anos de experiência industrial, especialização em pesquisa e desenvolvimento de processos, tecnologia de produção de papel e celulose e MBA em Gestão Empresarial, Mestranda na área de Engenharia ambiental da UFES com ênfase em saneamento.

Rosane Hein de Campos

Engenheira Civil pela Universidade Católica de Pelotas, com especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Católica de Pelotas, mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina e doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Camila Vidal

Química pela UFOP, mestrado em Engenharia ambiental pela UFES

Ricardo Franci Gonçalves

Com Engenheiro Civil pela UERJ, com especialização em Engenharia de Saúde Pública na ENSP – FIOCRUZ, DEA Sciences Et Techniques de L'environnement - Ecole Nationale Des Ponts Et Chaussées e doutorado em Engenharia do Tratamento de Águas - Institut National Des Sciences Appliquées Toulouse. Professor associado 1 do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.

Endereço⁽¹⁾: Av. Beira Mar, 60 / 601 – Praia do Morro – Guarapari – Espírito Santo – CEP: 29216-010 – Brasil - Tel: +55 (27) 3361-5299 - e-mail: **rosileneleroy@hotmail.com**.

RESUMO

Nesse estudo foi realizado o balanço de carbono do tratamento de esgoto sanitário doméstico, com o objetivo de avaliar seu potencial na redução da emissão de gases de efeito estufa. A avaliação foi realizada de forma comparativa usando dois cenários. No primeiro cenário avaliamos as emissões de um sistema aeróbio por lodos ativados e digestão anaeróbia do lodo. No segundo cenário avaliamos o efeito da inclusão de um reator de manta de lodo tipo UASB antes do sistema de lodos ativados como primeira etapa de tratamento do esgoto bruto e com a recirculação do lodo aeróbio gerado.

Os resultados das emissões potenciais de CO₂ e CH₄ obtidos demonstram que a utilização do pré tratamento anaeróbio resulta em significativa redução na emissão de gases de efeito estufa, além de favorecer a auto suficiência energética da estação de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Gases de efeito estufa, Efluente doméstico, Tratamento anaeróbio, Balanço energético

1. INTRODUÇÃO

Segundo os últimos levantamentos realizados pelo IBGE, o Brasil possui 81,25% de sua população vivendo em áreas urbanas. Desse total, 51,6% é atendida pela rede coletora de esgotos e 41,4% encaminham o esgoto para algum tipo de fossa (séptica ou rudimentar). Apenas 35% do esgoto coletado é tratado.

O material orgânico descarregado no efluente se decompõe pela ação das bactérias consumindo oxigênio dos cursos d'água. Em muitos casos, a concentração de oxigênio dissolvido encontrada se iguala a zero. A decomposição em condições anaeróbias nos rios e em fossas produz CO₂ e CH₄ sem a oportunidade para o sequestro do carbono e recuperação de energia, com efeitos deletérios para o aquecimento global.

Existem várias opções para o tratamento desse efluente, com vantagens e desvantagens do ponto de vista operacional, financeiro e energético.

O objetivo desse trabalho é avaliar as possibilidades de redução de emissão de gases de efeito estufa através do tratamento do efluente utilizando a tecnologia anaeróbia, seguido de pós-tratamento aeróbio (UASB + Lodo ativado) com recirculação de lodo gerado e compará-la com a tecnologia aeróbia (lodo ativado) seguida de digestão anaeróbia do lodo.

2. METODOLOGIA

Foi considerada uma concentração média de 350 mg DBO₅/l ou 700 mg DQO/l para o esgoto bruto e 30 mg DBO/l ou 52 mg DQO/l para o esgoto tratado. A vazão média de alimentação usada foi de 160 l/hab.d.

Não consideramos a existência de etapas de nitrificação/desnitrificação no processo de tratamento.

Para todo o metano gerado no tratamento, calculamos as emissões de queima e o potencial de geração de energia elétrica, além de calcular a quantidade equivalente em óleo diesel necessária para a geração da mesma energia e a emissão de CO₂ correspondente. Foi considerada a utilização de aeração mecânica para os reatores aeróbios e a eficiência de aeração de 1,8 kg O₂/kWh (Von Sperlig, 1997).

2.1. CENÁRIO 1 - SISTEMA AERÓBIO / DIGESTÃO ANAERÓBIA DO LODO

A configuração desse cenário está representada pela figura 1. O efluente doméstico bruto alimenta o sistema de lodos ativados.

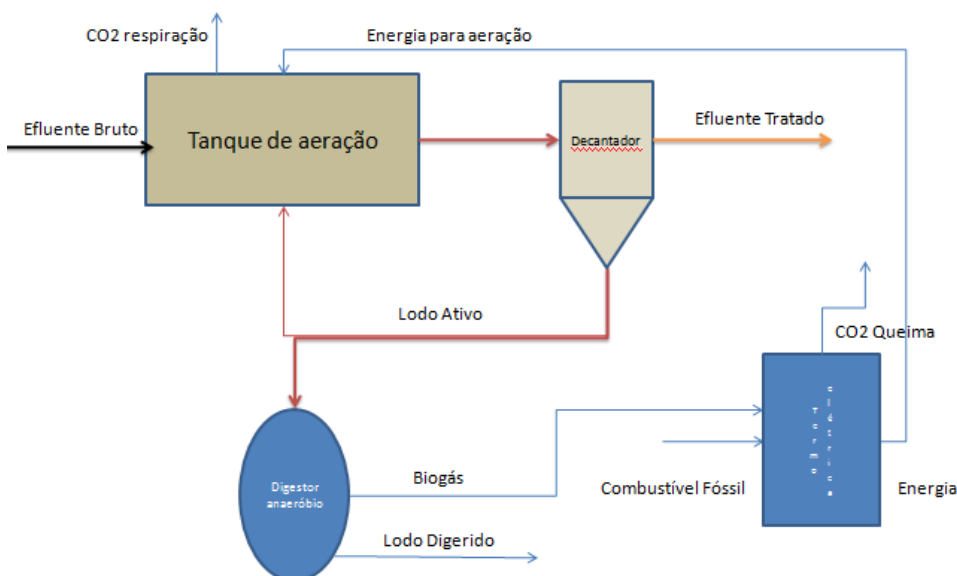


Figura 1 – Cenário de tratamento 1 – Sistema aeróbio / Digestão anaeróbia do lodo

2.1.1. COEFICIENTES CINÉTICOS

Para o tratamento aeróbio, foi considerado um tempo de retenção celular médio de 8 dias para o cenário 1 seguindo os valores médios propostos pelos pesquisadores de saneamento e os coeficientes cinéticos listados abaixo.

$K_s = 60 \text{ mg / l DBO ou } 40 \text{ mg/l DQObs}$

$Y = 0,6 \text{ mg SSV / mg DBO ou } 0,4 \text{ mg SSV / mg DQObs}$

$K_d = 0,10 \text{ g SSV / g SSV.d}$

Consideramos f_D (porção inerte da parede celular produzida no decaimento endógeno) correspondente a 10 % do peso da célula (Von Sperling, 1995).

2.1.2. GERAÇÃO DE SÓLIDOS

A produção de sólidos representa de uma forma mais global, a massa de material a ser removida do processo. Essa produção é afetada pelos sólidos não biodegradáveis do afluente, pela produção de biomassa ativa e pela produção de resíduos de decaimento (Metcalf e Eddy, 2003). Nesse estudo, não avaliaremos os sólidos não biodegradáveis afluentes. A produção de sólidos totais é representada pela equação 1.



$$P_{xt, ssv} = QY(S_0-S)/(1+kd \text{ SRT}) + fdK_d.QY(S_0-S)SRT/(1+kd \text{ SRT}) \quad (1)$$

A biomassa gerada segrega parte do CO₂ que seria emitido numa degradação total, pela relação representada pela equação (2).



Para cada mol de biomassa (C₅H₇NO₂) reagida, 5 moles de CO₂ são segregados. Em massa, o potencial de sequestro de carbono associado à produção de biomassa é de 1,95 kgCO₂ / kgbiomassa.. Esse valor será representado no balanço com o sinal negativo para possibilitar a avaliação quantitativa global relativa aos dois cenários.

2.1.3. RESPIRAÇÃO CELULAR

Se todo DQO for oxidado a demanda de O₂ será igual à DQO. Como parte das bactérias é usada para produção de energia e crescimento celular, a demanda de oxigênio será determinada pela DQO oxidada menos a DQO das células formadas, conforme representado na equação 3.

$$R_o = Q(S_0-S) - 1,42 (QY(S_0-S)/(1+kd \text{ SRT}) + fdK_d.QY(S_0-S)SRT/(1+kd \text{ SRT})) \quad (3)$$

O metabolismo da matéria orgânica, com a oxidação da DQO e produção de novas células pode ser representado pela equação 4. Para cada 256 g de O₂ consumidos, são gerados 352 g de CO₂.

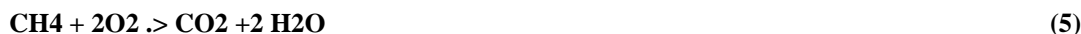


2.1.4. DIGESTÃO ANAERÓBIA DO LODO

O cálculo da digestão anaeróbia foi realizado considerando uma taxa de destruição de biomassa de 49,4% para o lodo ativo e 13,8% para o lodo inativo a 20°C (Van Haandel e Marais, 1999). A geração de metano correspondente totaliza ¼ da massa da DQO degradada.

Consideramos a composição do biogás igual a 65%CH₄+35%CO₂.

A geração de metano está associada a geração de CO₂ de duas formas. A geração anaeróbia que ocorre de forma simultânea à geração de metano e que responde pela composição do biogás e a geração associada a queima do metano para produção de energia. Para o cálculo do CO₂ gerado pela queima do metano, consideramos a equação estequiométrica da queima representada na equação 5:



A energia gerada pela queima do metano pode ser obtida pelo seu poder calorífico e pela suposição de eficiência de geração de energia elétrica de 55%.

2.1.5. DESLOCAMENTO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Uma vez que o metano gerado pelo tratamento adequado de efluentes pode ser usado como fonte energética, uma parte equivalente em CO₂ pode deixar de ser emitida, pela não utilização de uma parcela dos combustíveis fósseis atualmente usadas. Essa fração do balanço de carbono também será representada com sinal negativo.

Utilizamos nessa simulação o óleo diesel, como o principal combustível fóssil utilizado nas termoeletricas públicas brasileiras, depois do gás natural. Para obtenção da emissão correspondente obtida através do deslocamento do diesel pelo biogás na produção de energia foram feitas as seguintes considerações:

- As centrais elétricas a diesel de melhor desempenho apresentam rendimentos da ordem de 42%, enquanto uma central termoeletrica a gás natural pode apresentar rendimentos da ordem de 55%

(ANEEL, 2009). O principal componente do gás natural é o metano, dessa forma consideramos o mesmo nível de eficiência para a geração de energia através do metano e através do gás natural (Gasnet, 2008).

- A geração de CO₂ por unidade de energia de um combustível depende de sua composição. Essa relação é representada pelo coeficiente de geração de CO₂. Foram considerados coeficientes de 2,34 e 3,07 Gg/1000tep para o gás natural e o óleo diesel respectivamente (ECEN, 2000).

2.1.6 DEMANDA DE ENERGIA PARA A AERAÇÃO

A necessidade de O₂ para aeração da etapa de lodos ativados será suprida através de aeradores mecânicos. A energia necessária para acionamento dos aeradores com eficiência de 1,8 kg O₂/kWh produzida através de uma termelétrica a diesel, com eficiência de 42%.

2.2. CENÁRIO 2 - SISTEMA ANAERÓBIO SEGUIDO DE SISTEMA BIOLÓGICO AERADO COM RECIRCULAÇÃO DE LODO

Para esse sistema, o efluente bruto alimenta um reator anaeróbio tipo UASB juntamente com o lodo aeróbio recirculado, gerando metano e lodo anaeróbio. Em seguida, o efluente dessa etapa, será encaminhado ao sistema aeróbio de lodos ativados proposto na primeira parte desse trabalho. A configuração desse cenário está representada pela figura 2.

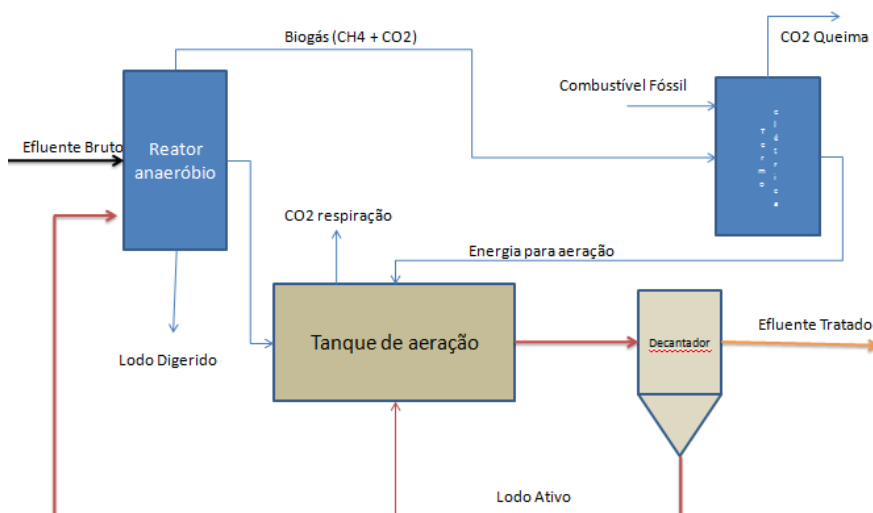


Figura 2 – Cenário de tratamento 2 – Sistema anaeróbio seguido de Sistema biológico aerado com recirculação de lodo

2.2.1. COEFICIENTES CINÉTICOS

Para o cenário 2, foram considerados para a etapa a anaeróbia os coeficientes cinéticos relativos ao crescimento celular abaixo:

- 0,10 gDQO celular / g DQO removida para as bactérias acetogênicas
- 0,04 gDQO celular / g DQO removida para as bactérias metanogênicas.

Para o tratamento aeróbio, foi considerado um tempo de retenção celular médio de 6 dias, consideramos a produção de lodo como 0,6 mg SS / mg de DBO aplicada sendo 75% dos sólidos voláteis, a demanda de oxigênio como 0,9 mg O₂/MG DBO aplicada (Von sperling, XXX PROSAB).



2.2.2. GERAÇÃO DE SÓLIDOS

O tratamento anaeróbio irá remover 65% da carga orgânica de efluente e 23% da carga do lodo aeróbio recirculado (BOF apud VERONEZ, 2001).

A geração de lodo referente ao crescimento das bactérias acetogênicas será representado pela equação 6.

$$W_{acet} = 0,10 * [(Q * So * 0,65 + W_{aer} * 0,23)] \quad (6)$$

A geração de lodo referente ao crescimento das bactérias metanogênicas será representado pela equação 7.

$$W_{metan} = 0,04 * [(Q * So * 0,65 + W_{aer} * 0,23 - 0,10 * [(Q * So * 0,65 + W_{aer} * 0,23)]] \quad (7)$$

A carga orgânica efluente do tratamento anaeróbio que será encaminhado ao sistema aeróbio será calculada em função da carga orgânica inicial e da eficiência do UASB (65%).

A produção de lodo aeróbio excedente será dada pela equação 8.

$$W_{aer} = 0,60 \text{ kgSS/kgDBO} \times (Q * So * 0,35) \quad (8)$$

A geração total de lodo nesse cenário será a soma do lodo gerado na etapa anaeróbia e o lodo aeróbio gerado, recirculado e não digerido no sistema anaeróbio. A biomassa gerada segrega parte do CO₂ que seria emitido numa degradação total como demonstrado pela equação 2. O CO₂ segregado é representado no balanço com o sinal negativo.

2.2.3. DIGESTÃO ANAERÓBIA DO EFLUENTE BRUTO E DO LODO AERÓBIO

A produção mássica de metano será representada pela equação 9.

$$W_{CH4} = [(Q * So * 0,65 + W_{aer} * 0,23 - W_{acet} - W_{metan})] / 4 \quad (9)$$

A geração de metano está associada a geração simultânea de CO₂ pelas reações anaeróbias e a emissão associada a queima do metano para geração de energia elétrica. Consideramos a composição do biogás igual a 65% CH₄ + 35% CO₂.

A energia gerada pela queima do metano pode ser obtida pelo seu poder calorífico e pela suposição de eficiência de geração de energia elétrica de 55%.

2.2.4. RESPIRAÇÃO CELULAR

A demanda de oxigênio é representada pela equação 10.

$$R_o = 0,9 * Q * S * 0,35 \quad (10)$$

A geração de CO₂ da respiração é calculada pela relação estequiométrica representada pela equação 4.

2.2.5. DESLOCAMENTO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Uma vez que o metano gerado pelo tratamento adequado de efluentes pode ser usado como fonte energética, uma parte equivalente em CO₂ pode deixar de ser emitida, pelo deslocamento de um combustível fóssil usado na geração da energia elétrica. No presente estudo assumimos o deslocamento do óleo diesel, conforme descrito no item 2.1.5..



2.2.6 DEMANDA DE ENERGIA PARA A AERAÇÃO

A necessidade de O₂ para aeração da etapa de lodos ativados será suprida através de aeradores mecânicos com eficiência de 1,8 kg O₂/kWh. A energia para esses aeradores foi supostamente produzida através de uma termelétrica a diesel, com eficiência de 42%.

3. RESULTADOS

Os resultados dos dois cenários podem ser resumidos nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Contabilização final da geração de CO₂

GERAÇÃO DE CO ₂ (mg/hab.d)	Cenário 1	Cenário 2
Respiração aeróbia	106.131,52	26.950,00
Digestão anaeróbia	4.722,41	23.284,80
Queima biogás	8.770,19	43.243,20
Queima diesel Geração energia elétrica para acionamento aeração	54.075,26	14.237,52
Segregação da biomassa	(19.134,67)	(27.759,67)
Deslocamento de combustíveis fósseis	(5.479,14)	(27.016,00)
Emissão líquida de CO ₂	149.085,57	52.939,85

Tabela 2 – Geração / demanda de energia para aeração

GERAÇÃO / DEMANDA DE ENERGIA (Wh/hab.d)	Cenário 1	Cenário 2
Energia Disponível pela queima do metano	24,28	119,69
Energia necessária ao acionamento dos aeradores	82,98	22,65

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os valores de emissão de gases de efeito estufa associados a emissão de efluentes domésticos sem tratamento não foram calculados nesse estudo. A decomposição da matéria orgânica ocorrerá nos corpos d'água, solos. De acordo com o IPCC esta emissão é considerada biogênica e não está incluída nos inventários (IPCC, 2009).



O grau de anaerobiose associado a essa decomposição natural, depende das características de cada meio receptor.

Em condições mais favoráveis, com os despejos sendo realizados em corpos receptores de grande volume e boa capacidade de aeração, consideramos que o balanço de carbono será aproximado ao demonstrado no cenário 1. A maior parte da matéria orgânica será decomposta pela ação de bactérias aeróbias, sem, contudo que seja necessário o dispêndio de energia para acionamento dos aeradores. O lodo gerado tende a depositar-se no fundo dos rios e decompor-se de forma anaeróbia. Nessa situação, o balanço de carbono do cenário 1 pode ser repetido, excluindo as parcelas relativas ao deslocamento de combustíveis fósseis, queima do diesel e queima do biogás. No entanto, como a geração de metano na digestão anaeróbia ocorrerá sem recuperação do mesmo e com a livre emissão para a atmosfera, a característica de retenção de calor na atmosfera desse gás, superiores à do gás carbônico (CO₂), levaram o Protocolo de Kyoto a estabelecer uma equivalência entre eles de um fator 21 em massa (1 tonelada de CH₄ é equivalente a 21 toneladas de CO₂) na geração de efeito estufa. A longo prazo, o metano será convertido a CO₂ dentro de sua vida útil média na atmosfera (entre 10 e 20 anos)

(ALVIM, 2007). Dessa forma, se a emissão total do cenário 1, foi contabilizada como 149 g CO₂/hab.d, a decomposição natural desse efluente em condições aeróbias tem o potencial de emissão de 159 g CO₂/hab.d, ou seja, 6% maior que o tratamento aeróbio e 200% maior que o tratamento anaeróbio / aeróbio.

Em condições mais desfavoráveis, conforme observamos com mais frequência na realidade do país, os corpos receptores não possuem capacidade de aeração para a decomposição do esgoto lançado e a decomposição ocorre de forma anaeróbia. Devemos ainda considerar ainda que mais de 40% da população não atendida pela rede coletora, encaminha seu esgoto para uma fossa na qual a decomposição anaeróbia ocorrerá sem a oportunidade de aproveitamento do metano gerado. Nessa situação, avaliaremos os dados no cenário 2 excluindo as parcelas relativas ao deslocamento de combustíveis fósseis, a queima de diesel e a queima do biogás para avaliar o potencial de emissão relativa a decomposição natural do esgoto em condições anaeróbias. Da mesma forma, multiplicamos a geração de metano por 21. O balanço final dessa situação é a emissão potencial de 353 g CO₂/hab.d. Essa ainda não é a pior situação, pois no cenário 2 consideramos que apenas 65% do material é decomposto de forma anaeróbia. Esse número pode ser maior, dependendo do tempo e condições da decomposição. A decomposição anaeróbia natural tem o potencial de geração de 140% a mais de gases de efeito estufa que o tratamento aeróbio e 570 % maior que o tratamento aeróbio / anaeróbio.

5. CONCLUSÃO

Pelo exposto acima, observamos que o tratamento de efluentes exerce importante papel na redução da emissão de gases de efeito estufa. O efeito de inclusão de um pré tratamento anaeróbio no sistema de lodos ativados com aproveitamento da energia contribui de forma significativa para minimização da emissão de gases e mitigação dos efeitos do aquecimento global.

Embora a avaliação energética dos cenários inclua apenas as necessidades da aeração e não avalie os processos de nitrificação e desnitrificação, que respondem por elevado consumo de oxigênio, observamos que , a geração de energia com o sistema anaeróbio / aeróbio contribui para a auto suficiência da estação de tratamento, o que favorece a sua instalação em locais com problemas de infra estrutura e reduz os investimentos em instalações de linhas de transmissão.

A melhoria do retorno sobre o investimento favorece a ampliação do percentual da população beneficiada, reduzindo a emissão de gases do efeito estufa, além de melhorar sua qualidade de vida.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvim, C.F., Ferreira, O.C., Vargas, J.I., A evolução da concentração de metano na atmosfera, disponível em http://ecen.com/eee55/eee55p/metano_na_atmosfera.htm, Nov, 2007
2. _____AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL
Valor Normativo para Energia Termoeleétrica a Óleos combustíveis – Ref. Consulta Pública Nº 002/99 disponível em http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Audiencia_Publica/audiencia_proton/1999/ap002/Ct-005.doc consultado em março de 2009
3. _____AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL
Valor Normativo para Energia Termoeleétrica a Gás Natural Ref.: Consulta Pública N.º 002/99 disponível em http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Audiencia_Publica/audiencia_proton/1999/ap002/mauricio1.doc consultado me março de 2009
4. Chernicharo, C.A.L., Princípios do tratamento de águas residuárias. Vol.5 Reatores anaeróbios. , Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. (1997).
5. _____Balanço energético Brasileiro. EPE. Disponível em: https://www.ben.epe.gov.br/BEN2007_Capitulo5.aspx Acessado em setembro de 2008.
6. _____Coeficientes da matriz de emissões, ECEN disponível em http://www.ecen.com/matriz/eee24/tab_coef1.htm, Atualizado em Fev/2000
7. _____Gás natural – GASNET disponível em http://www.gasnet.com.br/novo_gasnatural/gas_completo.asp, Acessado em setembro de 2008
8. _____IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 5 - Waste disponível em <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>, Acessado em março de 2009
9. _____Projeção da população do Brasil /1980 – 2050 Revisão 2008. IBGE. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_Projecoes_Populacao/ Acessado em março de 2009.
10. _____Pesquisa Nacional de saneamento básico. IBGE. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/defaulttab.shtm> acessado em setembro de 2008
11. Metcalf & Eddy Inc., 2003. In: Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (Eds.), Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, fourth ed. McGraw-Hill, New York, USA.
12. Rosso, D., STENSTROM, M.K. The carbon-sequestration potential of municipal wastewater treatment. Chemosphere, v. 70, p.1468–1475, 2008.
13. Van Haandel A., Marais,G.,O comportamento do Sistema de Lodo Ativado, Campina grande, epgraf, 1999.
14. Veronez, F.A., Desempenho de um reator UASB tratando esgoto sanitário e realizando concomitantemente o adensamento e a digestão do lodo de descarte de biofiltros aerados submersos. Vitória, 2001, Dissertação (mestrado), UFES, 151p.
15. Von Sperling, M.,Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.1. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 3ª Edição .(1995).
16. Von Sperling, M., Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol .4. Lodos Ativados . Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. (1997).