

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA RECUPERAÇÃO DO BIOGÁS PRODUZIDO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO E DO POTENCIAL DISPONÍVEL NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Laura Dardot Campello
Regina Mambeli Barros
Geraldo Lucio Tiago Filho
Adriana de Cássia Barbosa

Universidade Federal de Itajubá

RESUMO

O artigo tem como objetivo apresentar o estudo de avaliação do potencial de produção e a viabilidade econômica da exploração energética do biogás proveniente da digestão anaeróbia de esgotos e lodo em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) no estado de Minas Gerais. Para os cálculos de produção de biogás foram utilizados dados reais de volume de esgoto tratado e população atendida com esgotamento sanitário apresentados no relatório do Diagnóstico de Serviços Água e Esgoto (BRASIL, 2017), além de dados experimentais para avaliação da produção de biogás pela biodigestão anaeróbia do lodo remanescente do tratamento de esgotos. Por último, foi analisada a viabilidade econômica da implantação de um sistema de recuperação de metano nas ETEs dos municípios de Minas Gerais para produção de energia elétrica a luz das Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015 que estabeleceram o sistema de compensação de energia. Os resultados mostraram que o sistema é viável na maioria das cidades acima de 50.000 habitantes. Verificou-se também, que os municípios com população acima de 150.000 apresentam altos valores de VPL e TIR, tornando este investimento altamente atraente. Desta maneira, a economia promovida pelo custo evitado de energia elétrica em uma ETE com recuperação energética de biogás poderá viabilizar a implantação de novas ETEs em municípios carentes de tratamento de esgotos. E, além disso, se considerarmos ainda o volume de esgoto coletado que não tratado, ou ainda o volume que nem mesmo é coletado, a abrangência de municípios onde a exploração energética do biogás é viável poderá ser ainda maior.

Palavras-chave: tratamento anaeróbio de esgotos, biogás, lodo, recuperação energética de metano.

RESUMO

The objective of this article is to present the study of the evaluation of the production potential and the economic viability of biogas energy from anaerobic digestion of sewage and sludge in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) in the state of Minas Gerais. For the biogas production calculations, we used real data on volume of treated sewage and population served with sanitary sewage presented in the Water and Sewage Services Diagnostics report (BRASIL, 2017), as well as experimental data for the evaluation of biogas production by biodigestion anaerobic treatment of remaining sludge from sewage treatment. Finally, the economic viability of the implantation of a methane recovery system in the WWTPs of the municipalities of Minas Gerais for the production of electric energy was analyzed in light of the Normative Resolutions 482/2012 and 687/2015 that established the energy compensation system. The results showed that the system is feasible in most cities above 50,000 inhabitants. It was also verified that municipalities with populations above 150,000 have high NPV and IRR values, making this investment highly attractive. In this way, the economy promoted by the avoided cost of electricity in a WWTP with energy recovery of biogas could make possible the implantation of new WWTPs in districts without Wastewater treatment. In addition, if we consider the volume of sewage collected that is untreated, or even the volume that is not even collected, the range of municipalities where biogas energy exploitation is feasible could be even greater.

Keywords: Wastewater treatment plant, landfill, biogas, electricity, economic viability

1. INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto no Brasil, como em outros países em desenvolvimento, ainda é deficitário. Em 2008, o percentual de tratamento do esgoto coletado no país era de 58% (MCID, 2013). As técnicas de tratamento de esgotos visam à remoção dos sólidos, por meio de processos físicos, químicos e biológicos e são divididas em três níveis: tratamento preliminar, onde há remoção de sólidos grosseiros por meio de gradeamento e desarenação; tratamento primário onde é feita a remoção de sólidos sedimentáveis por meio da sedimentação e floculação; tratamento secundário, onde há a remoção da matéria orgânica por meio de reações bioquímicas realizadas por microrganismos e, por fim, o tratamento terciário onde se realiza a remoção de poluentes específicos, geralmente tóxicos ou não biodegradáveis, ou poluentes não removidos no tratamento secundário. Os sistemas de tratamento no Brasil, e na maioria de países em

desenvolvimento, são limitados ao nível de tratamento secundário, onde a conversão a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular pode ocorrer em ambiente com presença de oxigênio, processo aeróbio, ou em ambiente sem presença de oxigênio, processo anaeróbio. (Von Sperling, 2014). Lima (2005) comparou energeticamente os processos aeróbios e anaeróbios de tratamento de esgoto e concluiu que o processo anaeróbio possui um balanço energético mais favorável, principalmente devido à possibilidade de uso do biogás. Segundo Moreira (2014), 64% as ETEs no Brasil utilizam tratamento anaeróbio de esgotos. Dentre os sistemas mais utilizados em estações de tratamento de esgoto no Brasil está o reator UASB (“*up flow anaerobic sludge blanket*”). Os subprodutos sólidos ou resíduos gerados no tratamento de esgotos são chamado de lodo. (Andreoli et al., 2014). A composição e a quantidade do lodo gerado variam conforme a origem do esgoto processado e o tipo de tratamento aplicado, mas de forma geral, ele é constituído basicamente de sólidos voláteis que são materiais orgânicos e sólidos fixos, que são os minerais e água. (França, 2002).

O biogás resulta da digestão anaeróbia da matéria orgânica e é composto por uma mistura de metano, gás carbônico, gás sulfídrico e amônia, sendo que a proporção varia dependendo do tipo e da concentração da matéria orgânica, das condições físico-químicas (pH, alcalinidade, temperatura) do ambiente e da presença de outros ânions, como o nitrato e o sulfato. (Noyola et al., 2006). Dentre os gases que compõem o biogás, o metano se destaca por possuir um alto poder calorífico que pode ser utilizado como fonte de calor ou energia elétrica, e também por ser mais de vinte vezes mais poluente que o gás carbônico. (IPCC, 1997). Segundo Qasin (1999), o biogás tem um poder calorífico de 21.000 a 25.000 kJ/m³ e possui uma densidade de 1 kgf/m³.

Vários autores estimaram o potencial de produção e utilização do biogás no mundo. Moreda (2016) estimou a produção de biogás por meio da digestão anaeróbia no Uruguai em 1,3% a 2,1% da produção total de energia primária do país; Shane et al. (2017) avaliaram a viabilidade do uso do biogás na Zâmbia e concluíram ser viável na maioria dos cenários analisados; Santos et al. (2016a) analisara, a viabilidade econômica e o potencial energético da geração de energia por biogás a partir de estações de tratamento de esgoto anaeróbias no Brasil e os resultados indicaram viabilidade econômica para municípios com população superior a 300 mil. As regiões tropicais possuem maior potencial de exploração do biogás, já que as elevadas temperaturas aumentam a eficiência do processo anaeróbio.

Apesar de no Brasil o número de ETEs que fazem a recuperação energética do biogás ainda ser pequeno, em outros países como a

Alemanha, mais de 800 ETEs produzem 900GWh de energia elétrica e 1800 GWh de calor por meio do biogás (IN, 2015). Na Itália, o número de ETEs com recuperação energética de biogás subiu de 10 para 900 em poucos anos (Fabbri et al., 2013 e Carrosio, 2013). Nesse sentido, este estudo visa avaliar a viabilidade econômica da exploração do biogás gerado pela digestão anaeróbia do esgoto e lodo de esgotos em estações de tratamento na região de Minas Gerais, no Brasil, para geração de energia elétrica.

2. METODOLOGIA

A estimativa de produção de biogás e viabilidade econômica da implantação do sistema de recuperação energética foram realizadas para as ETEs dos municípios sobre responsabilidade da Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais (COPASA), de acordo com seguintes etapas:

a) Levantamento, por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (BRASIL, 2017), das informações relativas ao saneamento básico nos municípios do estado de Minas Gerais, como número de habitantes atendidos, volume de esgotos tratados e gastos com energia pela COPASA.

b) Cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás produzido no tratamento anaeróbio via UASB, considerando determinação da produção de biogás e metano por meio do Método do balanço de massa de DQO e do potencial de recuperação de metano, apresentado por LOBATO et al (2012);

c) Cálculo da produção de biogás e metano por meio da biodigestão anaeróbia do lodo proveniente de reatores UASB, conforme CETESB (2006). Para os parâmetros de produção de biogás e concentração de metano foram utilizados os valores encontrados no experimento de Felca (2016), 0,007 kg biogás/ kg de matéria orgânica e 49,98%, respectivamente.

d) Análise da viabilidade econômica da implantação do sistema de recuperação energética do metano no tratamento de esgotos e lodo nos municípios analisados. O sistema de produção de biogás e recuperação de energia foi considerado conforme fluxograma mostrado na Figura 1.

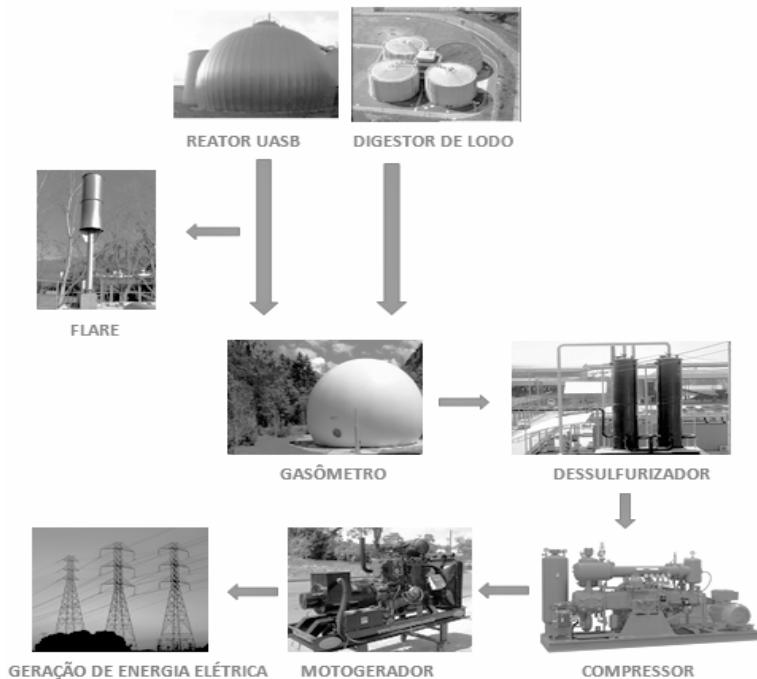


Figura 1 – Fluxograma da recuperação energética do biogás

A análise econômica foi realizada por meio dos cálculos do valor presente líquido (VPL) e da taxa interna de retorno (TIR), descritos em CASAROTTO FILHO et al., 1994. O financiamento do projeto foi considerado com amortização de 20 anos de acordo com (MCID, 2012), razão da dívida de 95% e taxa de juros de 9% a.a, conforme Caixa (2016) e taxa de desconto de 8% a.a., conforme (EPE, 2010).

O custo de investimento do projeto corresponde à soma dos custos dos equipamentos conforme Equação (1).

$$C_{total} = C_{gerador} + C_{gasômetro} + C_{compressor} + C_{dessulfurizador} + C_{biodigestor} \quad (1)$$

Onde, C_{total} é o custo de investimento total (R\$); $C_{gerador}$ é o custo de investimento do gerador (R\$); $C_{gasômetro}$ é o custo de investimento do gasômetro (R\$); $C_{compressor}$ é o custo de investimento do compressor (R\$); $C_{dessulfurizador}$ é o custo de investimento do dessulfurizador (R\$) e $C_{biodigestor}$ é o custo de investimento do biodigestor de lodo (R\$).

O gerador considerado foi do tipo motogerador com ciclo Otto com custo de US\$ 510/kW; o custo do gasômetro considerado foi de US\$ 60/m³ e o custo do compressor igual a US\$ 565/m³/h, conforme Santos et al. (2016a). O custo do dessulfurizador considerado foi de R\$ 0,01/m³ conforme Barros et al. (2014). O custo do biodigestor de lodo foi calculado conforme faixa de custo apresentada por Dillon (2015) de U\$ 1.000/m³ para cidades de 25.000 habitantes e U\$ 250/m³ para cidades de 200.000 habitantes. Nos cálculos dos fluxos de caixa foi considerado um valor igual a 2% do custo de investimento total para os custos de operação e manutenção.

O benefício será o custo evitado de energia elétrica dada pela Equação (2).

$$CE = E \times TE \quad (2)$$

Onde, *CE* é o custo evitado de energia elétrica (R\$), referente ao benefício do investimento; *E* é a energia produzida pela planta de recuperação de metano (kWh) e *TE* é a tarifa de energia elétrica paga pela ETE (R\$/kWh).

A tarifa de energia elétrica paga pela ETE foi considerada de acordo com os dados de despesas de energia elétrica de cada município apresentados no SNIS (BRASIL, 2017), considerando a variação média anual praticada pela CEMIG.

O custo evitado de energia elétrica foi considerado dentro do âmbito das Resoluções Normativas 482/2012 (ANEEL, 2012) e 687/2015 (ANEEL, 2015) que estabelecem as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e definem o sistema de compensação de energia elétrica a ser utilizado nestas instalações.

A despesa será a parcela do financiamento paga a instituição financeira dada pela Equação (3):

$$P_{fin} = \frac{RD \times CI_{total} \times i}{1 - \frac{1}{(1 + i)^{ni}}} \quad (3)$$

Onde P_{fin} é o valor da parcela do financiamento paga anualmente a instituição financeira em R\$; *RD* é a razão da dívida em %; CI_{total} é o custo de investimento total em R\$; *i* é a taxa anual de juros em %; *ni* é o prazo da dívida em anos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Geração de energia elétrica

Os resultados das estimativas de geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente da digestão anaeróbia do esgoto e do lodo de esgoto para municípios até 250.000 habitantes são apresentados na Figura 2 e para municípios acima de 250.000 habitantes na Figura 3.

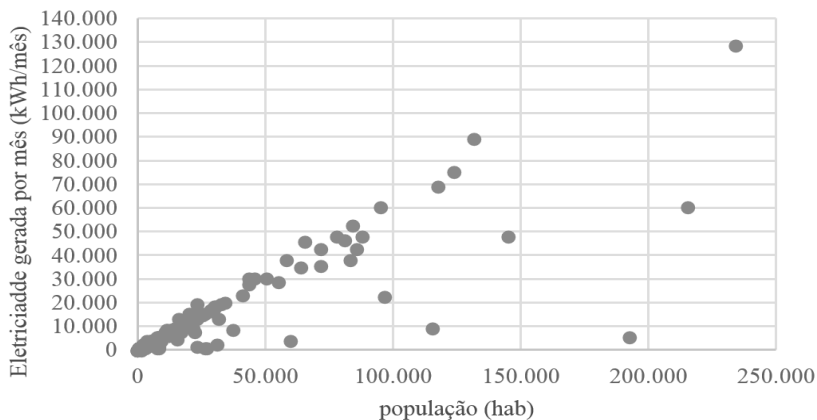


Figura 2 - Potencial de geração de eletricidade para municípios com até 250.000 habitantes

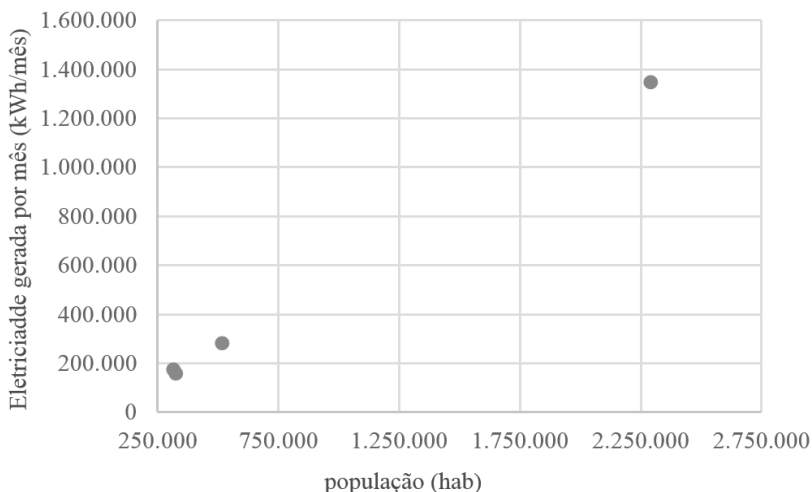


Figura 3 – Potencial de geração de eletricidade para municípios com mais de 250.000 habitante

Alguns municípios apresentaram baixo potencial de geração de energia elétrica (abaixo de 10.000kWh/mês) devido ao baixo índice de coleta e tratamento de esgotos praticados.

3.2 Análise econômica

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados do VPL para municípios com população até 250.000 habitantes e acima de 250.000 habitantes, respectivamente.

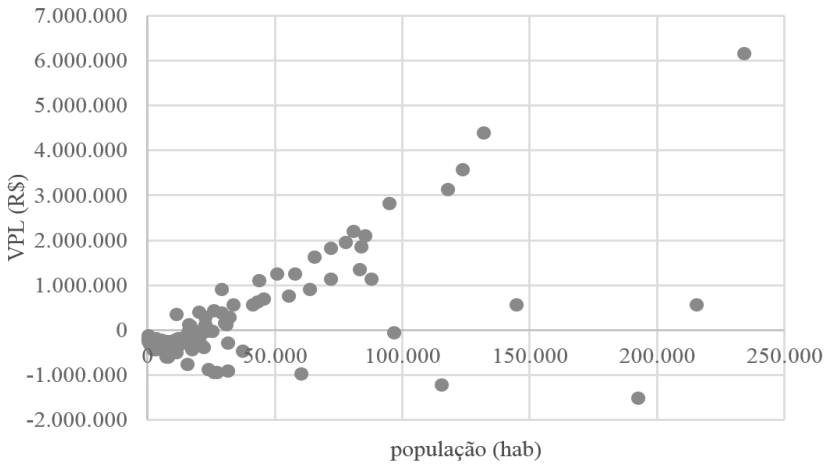


Figura 4 – VPL para municípios com até 250.000 habitantes

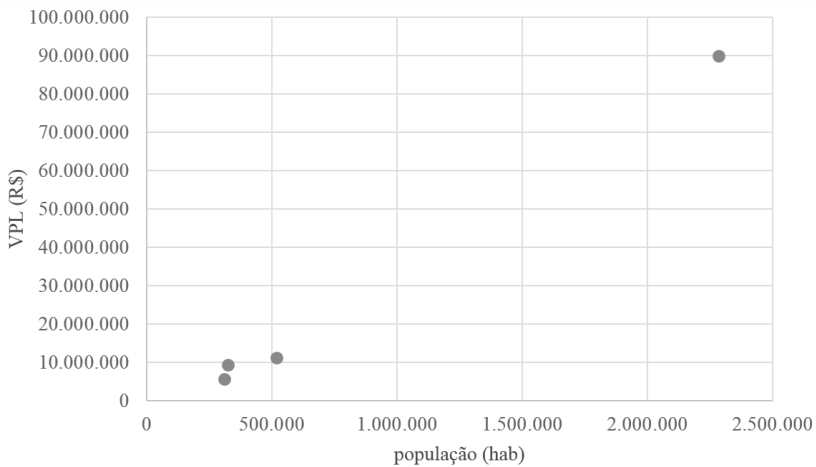


Figura 5 – VPL para municípios com mais de 250.000 habitantes

As Figuras 6 e 7 apresentam os resultados da TIR para municípios com população até 250.000 habitantes e acima de 250.000 habitantes, respectivamente.

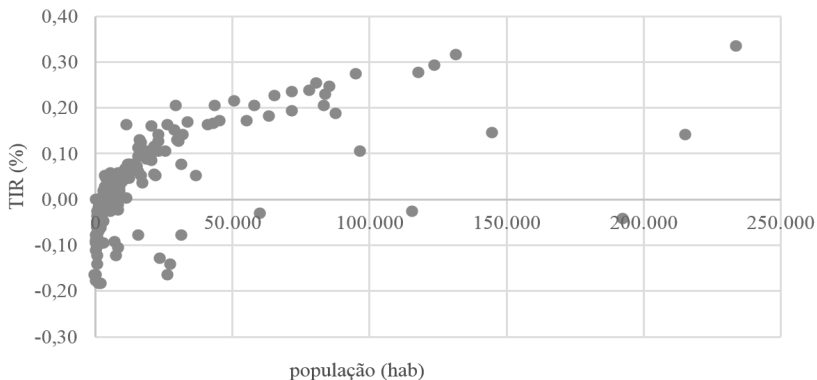


Figura 6 – TIR para municípios com até 250.000 habitantes

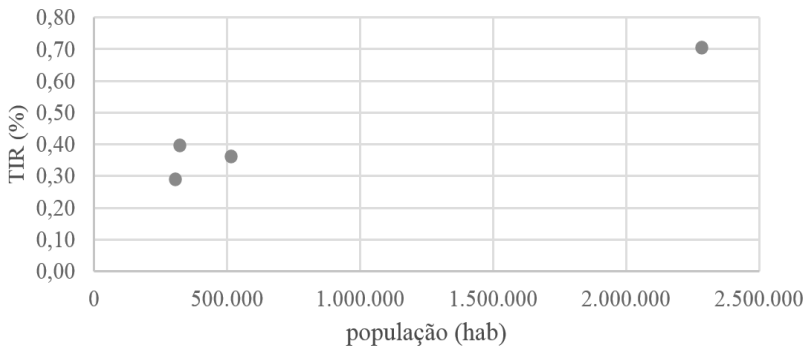


Figura 7 - TIR para municípios com mais de 250.000 habitantes

De forma geral, a geração de energia elétrica a partir do biogás produzido no tratamento anaeróbico de esgotos e lodo de esgotos é viável para a maior parte dos municípios com mais de 50.000 habitantes, já que cerca de 90% dos municípios com população entre 50.000 e 150.000, 66% dos municípios com população entre 150.000 e 250.000 e 100% dos municípios com população superior a 250.000 apresentaram VPL positivo e TIR maior que a taxa de atratividade (8%).

4. CONCLUSÃO

As condições de saneamento básico no Brasil evoluíram bastante nos últimos vinte anos, porém, assim como outros países em desenvolvimento, o país ainda enfrenta graves problemas no setor, com baixos índices de coleta e tratamento de esgotos em algumas regiões. Para que esta situação melhore, é preciso desenvolver políticas públicas voltadas para o setor e aumentar os investimentos. Neste sentido, a implantação de um sistema de recuperação de metano com objetivo de gerar energia elétrica em estações de tratamento de esgotos pode tornar estes investimentos mais economicamente atraentes.

Este estudo permitiu avaliar que a geração de eletricidade a partir do biogás produzido no tratamento anaeróbio de esgotos e lodo de esgotos é viável para a maior parte dos municípios com população acima de 50.000 habitantes, já que cerca de 86% desses municípios apresentaram VPL positivo e TIR maior que a taxa de atratividade (8%). Nota-se que em alguns casos de cidades de porte médio, em torno de 200.000 habitantes, a implantação do sistema de recuperação energética não foi viável, apesar do elevado número de habitantes, devido ao baixo volume de esgoto tratado, menor que 10% do volume total do esgoto coletado. Portanto, se a análise econômica considerar o volume de esgotos coletados, vários municípios que não apresentaram viabilidade de implantação do sistema poderão se tornar viáveis. Se for considerado ainda, o volume de esgotos que nem sequer é coletado, a abrangência de municípios onde a exploração energética do biogás é economicamente viável poderá ser ainda maior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, vol 6., 2ª Ed., Editora UFMG, Belo Horizonte, 2014.

BARROS, M. R.; TIAGO FILHO, G. L. SILVA, T.R. The electric energy potential of landfill biogás in Brazil. Journal of Cleaner Production 65, p. 150-164, 2014.

CAIXA. Plano “Saneamento para Todos”. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/assistencia_tecnica/produtos/financiamento/saneamento_para_todos/saiba_mais.asp>. Acessado em: 17/12/2016.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. Análise de Investimentos. São Paulo: Editora Atlas S/A, 1994.

CETESB.– COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Manual do Usuário do programa de computador Biogás, geração e uso energético, Efluente e Resíduo Rural. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo, 2006.

DILLON. L.B. Anaerobic Digestion of Sewage Sludge. Sustainable Sanitation and Water Management, 2015.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Decenal de Expansão de Energia 2019. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2010.

FABBRI, C.L., et al. Biogas, il settore _estrutturato e continua a crescere. L'informatore Agrar. 11, 11 e 16, 2013

FELCA. A.T.A. Análise do Potencial Energético Proveniente do Lodo de Esgoto Produzido pelas Estações de Tratamento do Sul de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2016.

FINE, P., HADAS, E. Options to reduce greenhouse gas emissions during wastewater treatment for agricultural use. Science of the Total Environment, v. 416, p. 289–299, 2012.

FRANÇA, M. Avaliação da biodegradabilidade e da biodisponibilidade do lodo de esgoto anaeróbio termohidrolisado pelo uso de biogás. 2002. 154 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

GLÓRIA, R. M.; NETO G. P. P.; SOUZA C. L.; SILVA S. Q.; AQUINO S. F.; CHERNICHARO, C.A.L. Remoção de sulfeto de hidrogênio de efluente de reator UASB: contribuição da camada de espuma e da tubulação de descarte. In: IX Taller y Simposio Digestión Anaerobia, Anais... Ilha de Páscoa, 2008.

GODOY JÚNIOR, E. Sistema de armazenamento e aproveitamento energético de GNB (Gás Natural a Baixa Pressão) e de biogás de esgoto. In: Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - SILUBESA, 12, 2006.

GUARDABASSI, P.; PIRES, R.G. Auto geração de energia elétrica em condomínios residenciais utilizando biogás de esgoto/gás natural, In: FERRER, J.T.V. (Ed.). Biogás: Projetos e pesquisas no Brasil. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2006.

IN. Portal Investimentos e Notícias. Disponível em <http://www.investimentosenoticias.com.br/noticias/negocios/probiogas-ealternativa-eficaz-para-produzir-energia>. Acessado: 23/09/2015.

IPCC. INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Directrices del IPCC para los inventários nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada em 1996. Reino Unido: IPCC WGI Technical Support Unit, 1997.

LOBATO, L.C.S.; CHERNICHARO, C.A.L.; SOUZA, C.L. Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater. *Water science & Technology*, V. 66, n.12 p. 2745-2753, 2012.

MARTINS, O.S.; GUARDABASSI, P.; COSTA, D.F. Produção de energia elétrica a partir do biogás resultante do tratamento de esgoto: projeto piloto na ETE de Barueri na Grande São Paulo, In: FERRER, J.T.V. (Ed.). *Biogás: Projetos e pesquisas no Brasil*. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2006. p. 139-147.

MENESES-JÁCOME, A., DIAZ-CHAVEZ, R., VELÁSQUEZ-ARREDONDO, H. I., CÁRDENAS-CHÁVEZ, D. L., PARRA, R., RUIZ-COLORADO, A. A. Sustainable Energy from agro-industrial wastewaters in Latin-America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 56, p. 1249–1262, 2016.

MINISTÉRIO DAS CIDADES - MCID. Instrução Normativa nº 39, de 24 de Outubro. Brasília, DOU de 25/10/2012 (nº 207, Seção 1, pg.84), 2012

MCID. Ministry of Cities. National Secretary of Environmental Sanitation. National Plan for Basic Sanitation -NPBS. Brasília, 2013. Available at: http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Consehos_Nacionais_020520131.pdf. Accessed: 26/10/2017. (In Portuguese).

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI. Arquivo dos fatores de emissão. Disponível em <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>> Acessado em 27/04/2017.

METCALF & EDDY Inc. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th edition, McGraw Hill, New York, 2003.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima>., 2010. Acessado em: 17/12/2016.

MOREDA, I. L. The potential of biogás production in Uruguay. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* v. 54, p.1580–1591, 2016.

MOREIRA, H. PROBIOGÁS. Iniciativas para o aproveitamento energético do biogás em ETES. 5º Encontro Brasileiro das Aguas, São Paulo, 2014.

NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J. E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odour control and energy/resource recovery. *Reviews in Environmental Sciences and Bio/Technology*, v.5, n.1, p.93-114, 2006.

NUVOLARI, A. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2ª Ed., São Paulo, Editora Bluncher, 2011.

QASIN, S.R. Wastewater Treatment Plants – Planning, design and operation. 2ed. Landcaster, Pennsylvania, USA Technomic Publishing Company, 1999.

SANTOS, I. F. S., VIEIRA, N. D. B., BARROS, R. M., FILHO, G. L. T. Economic and CO₂ avoided emissions analysis of WWTP biogas recovery and its use in a small power plant in Brazil. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 17, p. 77–84, 2016.

SHANE, A., GHEEWALA, S. H., KAFWEMBE, K. Urban commercial biogas power plant model for Zambian towns. *Renewable Energy*, v. 103, 1-14, 2017.

SINGH, K. S.; VIRARAGHAVAN, T. Start-up and Operation of UASB Reactors at 20° C for Municipal Wastewater Treatment. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, v. 85, n. 6, p. 609-614, 1998.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017.

SKOVSGAARD, L., JACOBSEN, H. K. Economies of scale in biogas production and the significance of flexible regulation. *Energy Policy*, v. 101, p. 77–89, 2017.

SOUZA, C.L. Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores UASB. 2010. 127 p. Tese (Doutorado em Saneamento) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A. L. Quantification of dissolved methane in UASB reactors treating domestic wastewater under different operating conditions. *Water Science and Technology*, v. 64, p. 2259–2264. 2011b.

VON SPERLING, M. CHERNICHARO, C. A. L. Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. Publicado por IWA Publishing, Londres, Reino Unido. 2005.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, Vol 1., 4ª Ed., Editora UFMG, Belo Horizonte, Editora UFMG, 2014.

