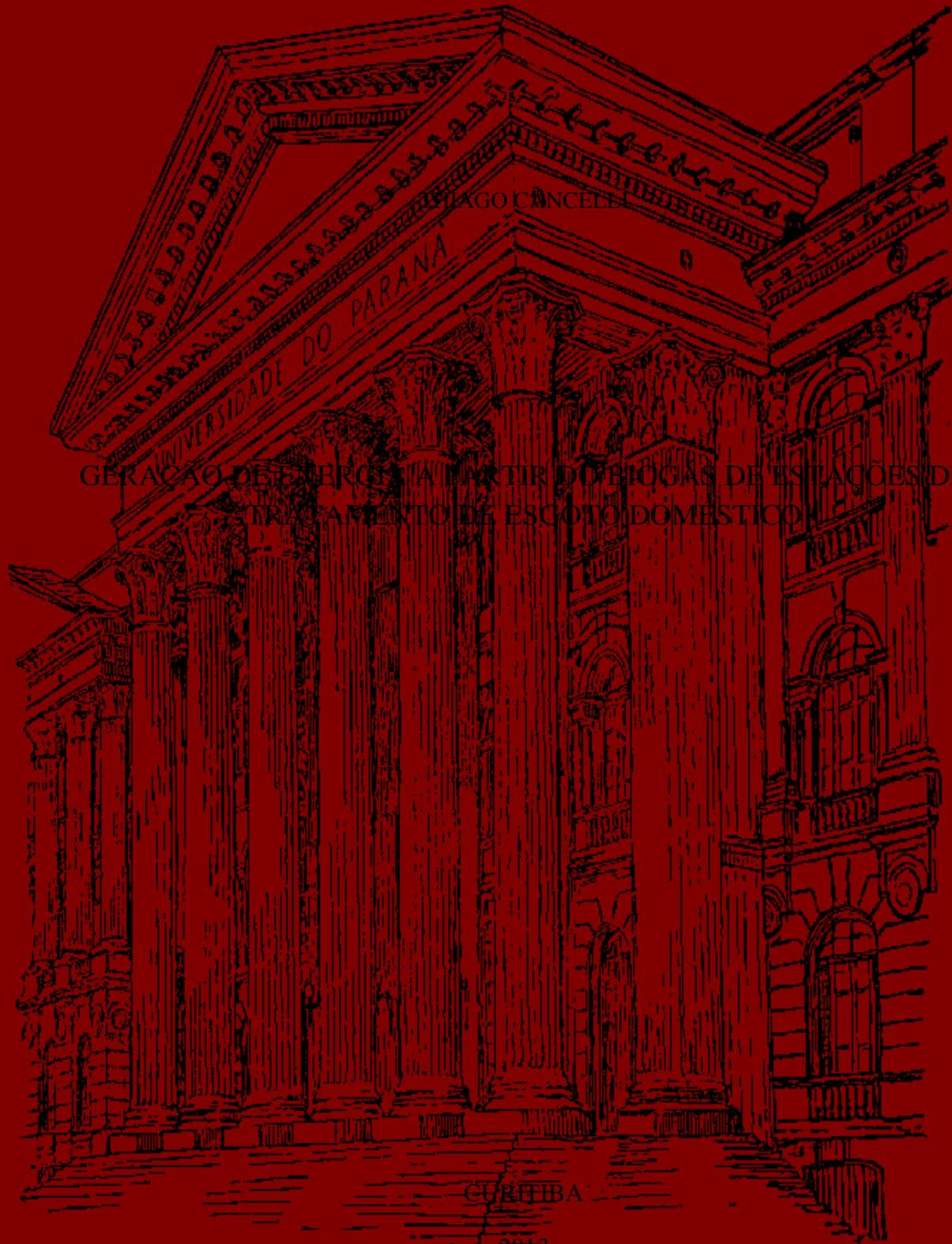


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE BIOGÁS DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESCOTO DOMÉSTICO

CURTIBA

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO CANCELLI

GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO BIOGÁS DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Mudanças Climáticas, Projetos Sustentáveis e Mercado de Carbono da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Orientador: M.Sc. Greyce Charllyne Benedet Maas

CURITIBA

2013

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | 2 |
| ABSTRACT | 2 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 5 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 6 |
| Saneamento básico e potencial nacional de geração de biogás a partir do tratamento de esgoto | 6 |
| Estações de tratamento de esgoto com recuperação energética do biogás no Brasil | 9 |
| Viabilidade e dificuldades na implantação de projetos | 13 |
| Oportunidades de financiamento e no mercado de créditos de carbono | 14 |
| CONCLUSÕES..... | 16 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 17 |

GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO BIOGÁS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Thiago Cancelli¹

¹Engenheiro agrônomo, graduado pela Universidade Federal do Paraná, Avenida Duque de Caxias, 440 – Joaçaba, Santa Catarina, thiagocancelli@msn.com

RESUMO

O crescimento populacional e da urbanização culminou no aumento da emissão de resíduos e efluentes, com destaque para o volume crescente de esgoto doméstico gerado. O biogás oriundo da decomposição anaeróbia desses esgotos poderia ser utilizado para gerar energia, diminuindo os gastos energéticos das estações de tratamento. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise sobre o aproveitamento energético do biogás gerado em estações de tratamento de esgoto no Brasil, englobando questões como: potencial nacional existente, oportunidades de financiamento e no mercado de créditos de carbono, resultados dos projetos em andamento em termos de economia de energia e as dificuldades encontradas para implantação dos projetos. Para a realização deste trabalho foram aplicadas múltiplas formas de pesquisa, como a pesquisa qualitativa de levantamento por meio de entrevistas a representantes de companhias de saneamento, a pesquisa bibliográfica e a pesquisa documental. Concluiu-se que, para o aproveitamento de todo seu potencial, o país ainda precisa avançar na universalização do saneamento. No Brasil já estão em operação exemplos de sucesso na recuperação energética do biogás de esgoto, tendo alcançado redução no consumo de energia e diminuição da emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. O principal problema enfrentado para realização de projetos dessa natureza ainda é a inviabilidade econômica. Para financiar tais projetos há o mercado voluntário de comércio de redução de emissões, além de outras opções de financiamento não ligados ao mercado de carbono, para projetos de energia renovável com biogás, com ênfase para a ANEEL, BNDES e Caixa Econômica Federal.

Palavras-Chave: Potencial energético, Viabilidade, Gases de efeito estufa.

ABSTRACT

The population growth and urbanization culminated in the increase of emission of waste and effluents, with emphasis to the growing volume of domestic sewage generated. The biogas from the anaerobic decomposition of these sewers could be used to generate energy, reducing energy costs of treatment plants. Considering the above, the objective of this work is to perform an analysis on the harnessing of energy from biogas generated in sewage treatment stations in Brazil, covering issues such as: national potential, existing funding opportunities and the carbon credits market, results of ongoing projects in terms of energy saving and reduction of greenhouse gas emissions and the difficulties encountered for deployment of projects. For the realization of this work have been applied multiple forms of research, such as the qualitative research of lifting by means of interviews with representatives of sanitation companies, bibliographic research and documentary research. It was concluded that, for the benefit of all its potential, the country still needs to advance on the universalisation of sanitation. In Brazil are already in operation examples of success in energy recovery from biogas from sewage, having achieved reduction in energy consumption and decrease the emission of greenhouse gases to the atmosphere. The main problem for realization of projects of this nature is still the economic unviability. To finance such projects there is the voluntary market to trade in emissions reduction, in addition to other funding options do not linked to the carbon market, for renewable energy projects with biogas, with emphasis to ANEEL, BNDES and Caixa Economica Federal.

Keywords: Energy potential, Feasibility, Greenhouse effect gases.

INTRODUÇÃO

Historicamente a energia sempre atuou como fator preponderante no desenvolvimento das civilizações. O avanço da urbanização favoreceu o consumo predatório dos recursos naturais potencializado pela busca por novas fontes energéticas capazes de sustentar o estilo de vida emergente. O carvão mineral destacou-se como o primeiro combustível fóssil introduzido na matriz energética, à época da Revolução Industrial, até a hegemonia do petróleo no final do século XIX (DIAS, 2007).

Juntamente com o aumento do consumo de recursos, a urbanização também culminou no aumento da emissão de resíduos e efluentes. Dentre eles, pode-se destacar o volume crescente de esgoto doméstico gerado. Segundo Costa (2006), a deficiência no tratamento do esgoto doméstico (efluentes líquidos residenciais) é um problema que atinge todo o Brasil. No Estado de São Paulo, que possui aproximadamente 32,5% do PIB do país, o esgoto é coletado nas áreas urbanas, e geralmente não recebe nenhum tipo de tratamento antes de ser despejado “in natura” nos cursos de água.

Segundo Pecora (2006), a geração de resíduos sólidos urbanos, efluentes industriais ou comerciais e resíduos rurais são diretamente proporcionais à quantidade de habitantes e seus hábitos de consumo. A coleta, tratamento e disposição adequada destes resíduos se refletem na qualidade de vida da população e das águas superficiais e subterrâneas.

Porém, o esgoto doméstico não deve ser considerado apenas como um causador de impactos ambientais, mas também como uma alternativa na geração de energia de forma renovável. A partir da degradação anaeróbia da matéria orgânica contida em materiais residuais como resíduos sólidos urbanos, dejetos de animais, efluentes industriais e esgoto sanitário é gerado um gás combustível chamado comumente de biogás (PECORA, 2006).

Biogás é o nome comum dado a qualquer gás que foi produzido pela quebra biológica da matéria orgânica na ausência de oxigênio. Normalmente consiste em uma mistura gasosa composta de 60 a 70% de gás metano (CH_4) e 30 a 40% de gás carbônico (CO_2) (VIEIRA, 2002).

Segundo Vieira (2002), vale apenas ressaltar que 1m^3 de biogás produzido equivale energeticamente a: $1,5\text{ m}^3$ de gás de cozinha; 0,52 a 0,6 litro de gasolina; 0,9 litro de álcool; 6,4 kWh de eletricidade; 2,7 kg de lenha (madeira queimada).

A biodigestão anaeróbia é o processo de decomposição de matéria orgânica por organismos vivos (bactérias) em meio onde há ausência de oxigênio. Extremamente importante para a realização de atividades como o tratamento de resíduos (Estações de Tratamento de Esgoto), a digestão anaeróbia é também usada para a geração de biogás (através da decomposição de matéria orgânica em biodigestores), uma opção de combustível principalmente para residências em meio rural (CHERNICHARO, 2006).

O interesse pelo biogás, no Brasil, intensificou-se nas décadas de 70 e 80, especialmente, entre os suinocultores. Programas oficiais estimularam a implantação de muitos biodigestores, focados principalmente na geração de energia, na produção de biofertilizante e na diminuição do impacto ambiental (ICLEI, 2009).

Nos biodigestores ocorre a transformação de compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, como metano e dióxido de carbono, através da ação combinada de diferentes microorganismos que atuam na ausência de oxigênio. O biodigestor pode ser construído de pedra ou tijolo e a campânula de ferro, fibra de vidro ou PVC (CHERNICHARO, 2006).

Diversos fatores afetam diretamente a biodigestão, são eles: a temperatura, tipo de resíduo, tempo de retenção, pH, presença de substâncias tóxicas, relação carbono/nitrogênio, e quantidade de água.

Existem dois tipos principais de biodigestores, o de batelada e o contínuo. No Brasil o modelo contínuo (indiano) foi o mais difundido pela sua simplicidade e funcionalidade (RIBEIRO, 2003).

No final da década de 90, um novo movimento, envolvendo o interesse no biogás, começou a aparecer, motivado pela possibilidade da inserção dos processos de anaerobiose no mercado de carbono via MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo). Em 2005, com a ratificação da Rússia no protocolo de Kyoto, grande euforia foi gerada, principalmente, para a agropecuária, na esperança de que os projetos e as Reduções Certificadas de Emissão - RCE por si só viabilizariam os empreendimentos (ETCHECOIN, 2000).

No final da década passada, a geração de energia elétrica, que até pouco tempo não era considerada nos projetos, passou a ter importância no Brasil, dando um novo impulso ao uso do biogás. Atualmente esse mercado está mais aquecido em função da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), que na data de 15 de dezembro de 2009, publicou a Instrução Normativa - IN 390/09, através da qual estabelece a necessária regulamentação do Decreto Lei 5163/04, que institui a Geração Distribuída no Brasil (ANEEL, 2009).

Considerando a elevada concentração da população brasileira em grandes centros urbanos e a expressiva produção agropecuária e agroindustrial (de resíduos e efluentes domésticos, agropecuários e agroindustriais) é natural acreditar que o atual aproveitamento do biogás no Brasil encontra-se bastante aquém do seu potencial (FIGUEIREDO, 2007).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise sobre o aproveitamento energético do biogás gerado em estações de tratamento de esgoto no Brasil, englobando questões como: potencial nacional existente, oportunidades de financiamento e no mercado de créditos de carbono e resultados dos projetos em andamento em termos de geração de energia e redução das emissões de gases de efeito estufa.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram aplicadas múltiplas formas de pesquisa, como a pesquisa qualitativa de levantamento por meio de entrevistas a representantes de companhias de saneamento, a pesquisa bibliográfica não sistemática e a pesquisa documental de informações de órgãos oficiais, conforme explicitado a seguir.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa documental sobre a situação do saneamento básico no país, englobando entre outras questões, o atendimento urbano com serviços de coleta e tratamento de esgoto, o volume de esgoto tratado e os sistemas de tratamento empregados. Foram utilizados dados de publicações de órgãos oficiais, tais como a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico que teve o ano de 2008 como ano de referência, publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Também foi utilizado o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, que divulga anualmente a base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, publicado pelo Ministério das Cidades.

O levantamento das estimativas das emissões de CH₄ dos sistemas de tratamento de esgoto sanitário no Brasil foi baseado nos resultados do relatório de referência sobre as emissões de gases de efeito estufa no tratamento e disposição de resíduos do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões de Gases de Efeito Estufa (2010), que engloba as emissões de metano de 1990 a 2005. Também foram utilizados os resultados da publicação anual das estimativas de emissões brasileiras, que acompanha o atendimento das metas voluntárias nacionais de redução de emissões. A publicação foi desenvolvida pelo Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI, 2013) e estende o período analisado pelo Segundo Inventário Nacional para até 2010.

Em seguida foi realizada uma pesquisa nos sites oficiais das companhias de saneamento de diversos estados (Bahia, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná e São Paulo), em busca de projetos de captação de biogás com recuperação energética. A pesquisa foi complementada por uma revisão não sistemática da literatura referente ao tema de recuperação de biogás de ETEs.

Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com alguns representantes das companhias de saneamento, para obter informações mais precisas sobre os resultados alcançados em termos de geração de energia e as principais dificuldades encontradas para a implantação dos projetos. Sendo assim, até o fechamento deste artigo os representantes que responderam os questionamentos foram: Marcelo Monachesi Gaio – Superintendente de Gestão de Energia da COPASA (Companhia de saneamento de Minas Gerais), Péricles Sócrates Weber – Diretor de Meio Ambiente e Ação Social da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) e Gustavo Rafael Collere Possetti, da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Sanepar.

Com o objetivo de realizar um levantamento dos projetos de MDL existentes, foi realizada pesquisa na página oficial da UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*),

na qual se verificou anteriormente o escopo setorial, assim como cada metodologia correspondente ao tratamento de efluentes, as quais estão subdivididas em relação à escala do projeto, podendo ser de pequena escala (máximo de reduções de 60.000 toneladas de CO₂e anualmente), e grande escala (reduções de mais de 60.000 toneladas de CO₂e anualmente) em projetos de recuperação de biogás.

Na pesquisa foram consideradas apenas as metodologias referentes à recuperação energética do biogás de estações de tratamento de efluentes. Buscou-se refinar a pesquisa por projetos direcionados ao tratamento de esgoto doméstico, uma vez que as metodologias são aplicáveis ao tratamento de esgoto e também de efluentes industriais.

Sobre as formas de financiamento aplicáveis a projetos que recuperam energia do biogás de esgoto sanitário, foi realizada uma pesquisa nas páginas oficiais de alguns dos principais órgãos brasileiros financiadores de projetos, sendo eles: a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), a Caixa Econômica Federal, e a ANEEL. No âmbito internacional realizou-se pesquisa por instituições públicas e privadas, que dão apoio a esse tipo de projeto, sendo eles: o CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), o Banco Mundial, o Banco Inter-americano de Desenvolvimento, e o Banco KFW.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Saneamento básico e potencial nacional de geração de biogás a partir do tratamento de esgoto

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2011, o índice de atendimento urbano com serviços de coleta de esgoto no Brasil foi de apenas 55,5%. Destes o total tratado é de 68,8%, resultando em um índice de apenas 37,5%, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Níveis de atendimento urbano com coleta e tratamento de esgotos segundo a região geográfica dos participantes do SNIS em 2011.

| Região | Coleta de esgotos (%) | Tratamento de esgotos (%) | Tratamento dos esgotos coletados (%) |
|---------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Norte | 11,8 | 12,7 | 90,6 |
| Nordeste | 28,4 | 30,1 | 84,2 |
| Centro-Oeste | 52,0 | 44,0 | 92,5 |
| Sudeste | 78,8 | 41,2 | 62,1 |
| Sul | 42,0 | 34,6 | 82,1 |
| Brasil | 55,5 | 37,5 | 68,8 |

Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011

Existe hoje no Brasil uma gama variada de tecnologias para o tratamento de efluentes líquidos. Apesar de todo esse complexo de sistemas de tratamento, grande parte dos efluentes gerados no país é lançada diretamente nos corpos d'água sem tratamento. Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008), cerca de 1.482 municípios não recebem nenhum tratamento de esgoto sanitário, algo em torno de 32 milhões de domicílios.

Segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007), 83% da população brasileira vive em áreas urbanas, sendo que mais de 100 milhões de brasileiros (ou cerca de 54% da população brasileira) vive em municípios com população superior a cem mil habitantes. Essa concentração espacial da população possibilitaria, teoricamente, que a maior parte dos efluentes domésticos produzidos no Brasil fosse coletada nas aglomerações urbanas através de uma rede coletora relativamente densa e tratados em estações de médio e grande porte, permitindo, de acordo com o processo utilizado, o aproveitamento do biogás resultante da digestão anaeróbica da matéria orgânica dos efluentes domésticos (ZANETTE, 2009).

Ainda de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2007), dos 1587 municípios brasileiros que possuíam tratamento de esgotos, cerca de 188 utilizavam reatores anaeróbicos. Das regiões brasileiras que mais utilizavam esse tipo de tratamento destaca-se o Sudeste, com 123 reatores anaeróbicos, o que indica um razoável potencial de aproveitamento energético do biogás nessa região. Em relação as regiões Norte e Nordeste, existe um descompasso muito grande, pois juntas possuem apenas 24 estações com tratamento de reatores anaeróbicos, o que pressupõe um baixo aproveitamento energético dessa fonte.

Em 2008, a presença de rede coletora de esgoto foi maior nos municípios mais populosos, atingindo cobertura total entre aqueles com população superior a 500 mil habitantes. Paralelo a isso 79,9% dos municípios com coleta de esgoto estavam ampliando ou melhorando seu serviço, contra 58,0%, em 2000 (IBGE, 2008).

Segundo dados do Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto de 2011, a quantidade de esgoto gerada foi de 4.726.248 milhões de m³, em contrapartida, o volume tratado foi de 3.207.947 milhões m³ (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011).

De acordo com os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 do IBGE, dos 5.564 municípios do país, apenas 1.587 possuíam algum tipo de tratamento coletivo. Na Tabela 2 consta o número de municípios com e sem tratamento de esgoto por estado, e os sistemas aplicados.

Tabela 2. Número de municípios com tratamento de esgoto sanitário, por tipo de sistema de tratamento.

| Região | Municípios | Municípios com tratamento de esgotos de acordo com o tipo de sistema de tratamento |
|--------|------------|--|
|--------|------------|--|

| | Sem tratamento | Com tratamento | Filtro biológico | Lodo ativado | Reator anaeróbico | Valo de oxidação | Lagoas* | Fossa séptica de sistema condominial | Outro |
|---------------|----------------|----------------|------------------|--------------|-------------------|------------------|------------|--------------------------------------|------------|
| Norte | 26 | 34 | 6 | 2 | 4 | 14 | 27 | 1 | 2 |
| Nordeste | 478 | 341 | 67 | 4 | 20 | 84 | 245 | 5 | 43 |
| Centro-oeste | 14 | 118 | 11 | 1 | 7 | 51 | 121 | 1 | 10 |
| Sudeste | 778 | 808 | 151 | 14 | 123 | 238 | 490 | 11 | 54 |
| Sul | 186 | 286 | 82 | 6 | 34 | 178 | 92 | 3 | 20 |
| Brasil | 1482 | 1587 | 317 | 27 | 188 | 565 | 975 | 20 | 129 |

* Anaeróbia, aerada, facultativa, mista e de maturação.

Fonte: Adaptado de IBGE, 2008

O sistema de tratamento mais empregado no Brasil é o de lagoas de estabilização. Cerca de 43% dos municípios brasileiros utilizam esse sistema (Tabela 2), possivelmente devido a fácil implantação e operação e os baixos custos quando comparados a outros sistemas. Ademais, as lagoas costumam ter uma considerável eficiência de remoção de matéria orgânica.

Ao considerar apenas sistemas de tratamento anaeróbio (nos quais há a maior geração de biogás), 11,8% dos municípios utilizam reator anaeróbio, e 1,3% utilizam fossas sépticas em sistema condominial. Depois de avaliadas as implicações técnicas, poderiam ser aplicados sistemas para coleta e recuperação do biogás gerado nesses sistemas.

Porém, são mais de 1000 municípios brasileiros que utilizam sistemas aeróbios de tratamento (nos quais não há emissão considerável de biogás). Dentre eles estão os valos de oxidação, filtro biológico, lodo ativado, e as lagoas aerada, facultativa e de maturação. Não é possível afirmar que a melhor opção para essas estações seria a substituição dos sistemas aeróbios atuais por sistemas anaeróbios com recuperação de biogás. Isso porque, ao optar por um sistema de tratamento, diversos fatores devem ser levados em consideração, tais como: eficiência na remoção da carga orgânica, nutrientes e patógenos, área disponível para implantação, custos, destinação final do efluente tratado, entre outros. Contudo, é importante que os profissionais responsáveis pela escolha do melhor sistema considerem também o fator “recuperação de biogás” ao planejar uma estação, incluindo na análise a possibilidade de diminuição dos gastos em energia elétrica na operação da estação.

A partir dessas informações é possível concluir que o potencial brasileiro de geração de energia a partir do biogás reside não apenas nos municípios que possuem tratamento anaeróbio dos esgotos, mas também no imenso volume de esgotos não tratados. Porém, para tornar a recuperação energética possível seria necessário primeiramente ultrapassar uma barreira ainda mais difícil de transpor: a universalização do saneamento básico no país.

As estimativas das emissões de CH₄ dos sistemas de tratamento de esgoto sanitário no Brasil, segundo dados do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões (2010), foram realizadas considerando as

estações com processos anaeróbios de reatores e lagoas, estações com processos aeróbios que incluem a digestão anaeróbia de lodo, emissões dos lançamentos em mares, rios e lagos, assim como tratamento local em latrinas e fossas sépticas.

É importante destacar que a carga orgânica do esgoto doméstico pode ser aumentada pelo lançamento de efluentes industriais nos sistemas de coleta, e também pode ser reduzida por infiltrações de água pluvial. Contudo, para o inventário nacional esses dados foram considerados nulos por falta de informações quantitativas.

Foi considerado que 100% do metano recuperado nos reatores anaeróbios e digestores anaeróbios passa por queimadores e que os mesmos possuem eficiência de 50%. Para as emissões em sistemas de tratamento em fossa séptica e lagoas anaeróbias e para os lançamentos de efluentes sem tratamento em corpos d'água, considerou-se zero de recuperação de metano.

As estimativas de emissão foram realizadas por meio de equações com base no documento do IPCC para realização de Inventários Nacionais de Emissão (*Good Practice Guidance*, 2000). Os dados tabulados são referentes ao período de 1990 a 2005, e geraram resultados para cada um dos estados do país. Em 1990 o país emitia 340,74 Gg de CH₄, atingindo em 2005 emissão de 433,39 Gg de CH₄ em tratamento de efluentes domésticos.

Entretanto, com o objetivo de acompanhar o cumprimento do compromisso nacional voluntário para a redução das emissões (Lei 12.187/2009), até o ano de 2020, foi estabelecido pelo Decreto 7.390/2010, que seriam publicadas estimativas anuais de emissões. Assim, segundo as estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, desenvolvidas pelo Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI, 2013), havia dois erros no modelo de cálculo para as emissões de CH₄ no Segundo Inventário. O primeiro era relativo à contribuição das valas abertas e do lançamento em rios. O segundo era que havia uma hipótese diferente para os tratamentos de 1990 a 1994, mas que não implementadas no modelo. O primeiro erro gerava emissões maiores e o segundo, emissões menores. Os dados lançados pelo MCTI neste ano constam que as estimativas de emissões até 2020 sejam de 3,236 Gt t CO₂ eq. Desta forma o Brasil cumpre o compromisso assumido em 2009 de reduzir entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas.

Verifica-se, que embora haja um potencial de aproveitamento decorrente do elevado volume de esgotos gerados, são relativamente poucos os projetos de aproveitamento de biogás no Brasil, e em vários países do mundo, as principais dificuldades dizem respeito à viabilidade técnica e econômica, e aos problemas operacionais (Adaptado de PNUD, 2010).

Estações de tratamento de esgoto com recuperação energética do biogás no Brasil

A partir da pesquisa realizada nas páginas oficiais de algumas companhias estaduais de saneamento foi possível identificar algumas iniciativas de sucesso de projetos de recuperação energética do biogás gerado nas estações de tratamento, conforme são descritos detalhadamente a seguir.

A Copasa (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) é responsável por atender e prestar serviços a 625 municípios, atendendo mais de 14 milhões de habitantes. A estação Arrudas está localizada no município de Sabará, e trata o esgoto utilizando reatores anaeróbios (UASB) seguidos de pós-tratamento aeróbio. A estação é projetada para tratar uma vazão média de 2,25 m³/s, o que corresponde a uma população atendida de cerca de 1 milhão de habitantes. Está prevista uma futura ampliação da capacidade da ETE para 4,50 m³/s (COPASA, 2012).

O biogás é produzido nos digestores anaeróbios, e para o seu aproveitamento foi implantada uma Pequena Central Termoelétrica (PCT), com potência instalada de 2,4 MW, que consiste em um conjunto de microturbinas movidas a biogás. Todo o biogás gerado, que antes da existência da PCT era queimado sem qualquer aproveitamento energético, é coletado e passa por um sistema de condensação para a retirada da umidade. O biogás é mantido sob pressão em um conjunto de gasômetros que alimentam um sistema de tratamento de gás. Atualmente, o biogás é aproveitado para gerar energia elétrica e calor (ALVES, 2000).

A Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná) atua nas áreas de abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto doméstico, e destinação final de resíduos sólidos urbanos. São 199 ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) utilizando processo de digestão anaeróbia, tratando 40 milhões de m³/ano de esgoto doméstico gerando 11 milhões de m³/ano de metano como subproduto e gerando um potencial de comercialização de 180 mil toneladas de CO₂ equivalente por ano (SANEPAR, 2012).

A sua unidade piloto de recuperação de biogás é a ETE Ouro Verde, iniciada em 2006 e desenvolvido em parceria entre a Sanepar, Itaipu, Copel, Fundação PTI (Parque Tecnológico Itaipu), Cooperativa Lar e IAP (Instituto Ambiental do Paraná). Localizada em Foz do Iguaçu/PR, utiliza o processo anaeróbio chamado RALF, atendendo uma população de 22.500 pessoas, sendo a vazão do projeto de 70 L/s. O processo de tratamento é realizado com as seguintes etapas: gradeamento/desarenador; medidor de vazão; reator anaeróbio do tipo RALF; queimador de gás (*flares*); leitos de secagem de lodo/pátio de cura. A vazão média de operação é de 45 L/s e a produção estimada de biogás de 80 m³/dia. A composição do biogás medida foi de 67,1% de metano, 21,2% de nitrogênio, 6,6% de gás carbônico, 0,4% de oxigênio, e 4,7% de outros gases (SANEPAR, 2012).

A Sanepar também tem desenvolvido projetos com o intuito de utilizar o biogás como combustível para a secagem e higienização térmica do lodo de esgoto. Nesse contexto a companhia conduz um projeto chamado STHIL, o qual visa desenvolver e avaliar o desempenho de sistemas térmicos de baixo custo capazes de higienizar e desaguar em batelada o lodo oriundo de ETEs de médio

e pequeno porte. Segundo o assessor de pesquisa e desenvolvimento da Sanepar, para ETEs de grande porte está em execução um projeto que visa estudar os processos de secagem térmica e de combustão de lodos e escumas. É um projeto que pretende determinar a auto sustentabilidade de ETEs quanto à operação de secadores térmicos e as propriedades termogravimétricas e calorimétricas de lodos e escumas (POSSETTI, 2013).

A Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) é responsável pelo fornecimento de água, coleta e tratamento de esgotos de 363 municípios (SABESP, 2011). A ETE Barueri atende cerca de 4,4 milhões de habitantes. A estação trata uma vazão média de 9,4 m³/s. Foram implantadas, nessa ETE, duas PCTs (Pequenas Centrais Termoelétricas) supridas por biogás, sendo uma voltada para o desenvolvimento da aplicação de nova tecnologia, com o emprego de microturbina de 30 kW, e outra para a produção de 3.000 kW utilizando motores ciclo Otto, com cogeração. O processo de tratamento é o de lodos ativados convencional. Nas unidades de digestão, os lodos adensados primários e secundários são recalcados para os digestores anaeróbios. No processo de digestão do lodo, realizado por bactérias metanogênicas, ocorre a liberação de gás com predominância do metano, que é utilizado para a homogeneização do lodo no tempo em que ele permanece digerindo. O excesso deste gás é enviado ao gasômetro (SABESP, 2011).

Aproximadamente 30% da energia contida no biogás é convertida em energia elétrica e 60% podem ser introduzidos em sistemas de reaproveitamento, como aquecimento dos digestores. Esses 30% estão diretamente ligados à eficiência das tecnologias de conversão de energia contida no biogás em energia elétrica, por motores ou turbinas. O consumo de biogás na microturbina é da ordem de 480 m³/d, o que representa aproximadamente 2% dos 22.000 m³/d gerados na ETE (SABESP, 2011).

No nordeste brasileiro uma das companhias responsáveis pelo tratamento de esgoto é a Embasa (Empresa Baiana de Águas e Saneamento S/A). Localizada a 63 quilômetros de Salvador, no município de Madre de Deus, a estação de tratamento atende a uma população de 28.932 habitantes. A vazão média da unidade é de 3,95 m³/s, e uma variação diária de DQO de 376g/m³ a 1.300g/m³. A estação utiliza o sistema de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo – UASB (EMBASA, 2011).

Segundo resultados do levantamento de dados da empresa, a qual fez um estudo de viabilidade para recuperação do biogás baseado na população de Madre de Deus, conclui-se que o potencial elétrico gerado por habitante é de 1,3 MWh. Considerando toda a produção de esgoto da Embasa, que atende uma população de 2,96 milhões, poderia ser gerado 4 MWh, gerando uma capacidade anual instalada de 31.588 MWh, e admitindo um consumo médio residencial de 200 KWh, poderia fornecer eletricidade à 12.981 famílias. A Embasa ainda esta em busca de funcionamento para o projeto (EMBASA, 2011).

Na região Centro-Oeste brasileira, no estado de Mato Grosso do Sul, encontra-se a Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul, a Sanesul. No estado, dos 77 municípios, apenas 30 possuem

sistema de tratamento de esgoto. O município de Miranda recebeu uma estação de tratamento de esgoto, com o qual tem o objetivo de aproveitar a produção de biogás (SANESUL, 2010).

A estação utiliza o sistema de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com leito de lodo. Os dados coletados da estação mostraram que a carga orgânica residual é de 155 Kg DBO/dia. Na saída de gás a geração de biogás aferida foi de 12 L/0,54 Kg DBO/dia, produzindo diariamente 86,4 m³/dia. O biogás é todo canalizado para um sistema motorizado de geração de energia elétrica revertida para o uso na própria estação de tratamento de esgoto.

Mediante a acolhida de dados sobre algumas estações de tratamento de esgoto pelo Brasil, com enfoque na recuperação de biogás, observa-se que no passado o biogás já podia constituir-se como uma fonte alternativa de energia, porém isso só ocorreu a partir da crise energética dos anos 70, o que através do aprofundamento de estudos pode-se chegar a tecnologias mais inovadoras, como as que estão sendo empregadas hoje nas ETEs pelo Brasil (VILLELA, 2005).

Estações de tratamento como as da Sanepar no Paraná e da Copasa em Minas Gerais implantaram projetos inovadores de cogeração de energia elétrica. Em Minas o processo está em pré-operação, mas já se demonstra satisfatório. Os resultados apontam que, em pleno funcionamento a termelétrica poderá gerar energia suficiente para reduzir em até 90% o consumo da empresa, o que poderá gerar uma economia de até 2,7 milhões de reais por ano. O mesmo está ocorrendo em Foz do Iguaçu no Paraná, na estação Ouro Verde, em que o projeto está em funcionamento desde o ano de 2008.

Na Bahia, a Embasa desenvolve em parceria com três empresas de energia e a Universidade de Feira de Santana, uma tecnologia pioneira na geração de energia a partir do biogás. Este projeto é desenvolvido com o uso de reatores tipo UASB no processo de tratamento de esgoto da ETE Madre de Deus. Nesses reatores é degradado biologicamente o esgoto, gerando subprodutos como o lodo a espuma e o biogás, os quais geram um importante potencial de reaproveitamento desta matéria prima.

De acordo com Macedo (2010), no Brasil, ainda são poucos os exemplos de estações de tratamento de efluentes que utilizam o biogás como fonte renovável de energia. Neste sentido, ressalta-se que o uso de biogás proveniente de ETEs urbanas, além de reduzir as emissões do gás metano e gerar uma forma de energia renovável, propicia a criação de políticas que aproveitem o biogás e assim, contribuem para melhorar o saneamento básico no Brasil.

Também é importante destacar que a viabilidade de geração de energia elétrica de uma estação de tratamento de efluentes não se dá somente pelo incentivo regulatório, mas também pelo viés financeiro. As empresas de saneamento como toda empresa, se importam com a relação custo benefício, e isso parte de uma análise de investimentos (COSTA, 2006). Os investimentos que partem de uma empresa, sempre são aplicados procurando buscar benefícios em prol de si mesmas, sejam estes benefícios econômicos ou sustentáveis ambientalmente.

Viabilidade e dificuldades na implantação de projetos

A ANEEL emitiu em 2012 a portaria 482 que estabelece condições para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, isso pode incentivar projetos de recuperação de biogás principalmente em situações em que a geração de energia supera a demanda local, entretanto o valor a ser pago por esta energia gerada se constitui no grande desafio para tornar os projetos rentáveis.

Com relação as dificuldades na implantação desse tipo de projeto, e utilizando o exemplo do MDL, segundo o superintendente de gestão de energia da Copasa, Marcelo Monachesi Gaio, um dos grandes problemas de se desenvolver projetos na área de recuperação energética de biogás de tratamento de esgoto para o MDL é devido ao preço atualmente pago por tonelada de CO_{2eq}. Quando aprovado o projeto da ETE Arrudas a faixa de preço da tonelada de CO_{2eq} era de 22€/ TCO_{2eq}, mas devido à crise de 2008, houve uma redução drástica no mercado de créditos, e o preço hoje gira em torno de 0,56 €/ TCO_{2eq}, o que acaba tornando o projeto inviável, não pagando sequer os custos do controle operacional. Desta forma novos projetos e mesmo os já em funcionamento ficam comprometidos (GAIO, 2013).

Há ainda grande dificuldade em difundir a visão de sustentabilidade nas ETES através do biogás, pois o lodo e o próprio efluente são conhecidos erroneamente como resíduos e não como matéria prima para novos processos (GAIO, 2013).

Segundo o Diretor de Meio Ambiente e Ação Social da Sanepar, a ETE Ouro Verde ainda não há uma visão de sustentabilidade. Hoje o biogás, assim como o lodo das estações é percebido como resíduo e não como potencial matéria-prima para outros processos. Entretanto, devemos também considerar pouca expertise no Brasil quanto à tecnologia a ser adotada, os custos de implantação do sistema, e os baixos valores de comercialização da energia gerada neste tipo de processo. Quanto ao MDL, atualmente o baixo preço da comercialização das emissões tem sido o principal fator para a não realização de projetos de créditos de carbono, aliado à falta de metodologia consolidada referente ao uso de biogás.

Em entrevista Weber, explica ainda que a Sanepar entende que os resultados obtidos com as avaliações nos projetos desenvolvidos, subsidiarão científica e tecnicamente as decisões sobre o uso do biogás. Esses dados serão muito importantes para todas as companhias, pois irá enriquecer o tema, pois a literatura ainda é muito incipiente.

A Sanepar vem desenvolvendo projetos com o intuito de melhorar o conhecimento em todos os aspectos técnicos da utilização do biogás, na ETE Atuba Sul – Curitiba, vem desenvolvendo um projeto de monitoramento de produção de biogás desde 2011, procurando mensurar de forma mais palpável a vazão, o teor de metano, a temperatura e a pressão manométrica do biogás. A Sanepar entende que os

resultados obtidos com tais avaliações viabilizarão um maior conhecimento sobre os processos em questão e subsidiarão científica e tecnicamente as decisões sobre o uso do biogás (POSSETTI, 2013).

No que diz respeito ao mercado de carbono, ressalta-se que a Sanepar integrada a Plataforma Empresas pelo Clima e é signatária do Programa Brasileiro GHG Protocol. Por isso, a Sanepar publica anualmente seu inventário de emissão de gases do efeito estufa. Alguns estudos pautados em Mecanismos de Desenvolvimento Limpo e na, consequente, obtenção de créditos de carbono já foram internamente realizados. Os resultados obtidos ratificaram que a empresa possui um bom potencial para redução da emissão de gases do efeito estufa (POSSETTI, 2013).

Ainda hoje, são poucos os trabalhos encontrados na literatura com conhecimento prático de projeto com biogás, do mesmo modo que avaliar a sua viabilidade e mesurar as dificuldades de implantação dos projetos. O biogás é visto como um resíduo ao invés de subproduto, e muitas vezes os projetos passam a imagem de experiências negativas no âmbito econômico e técnico, além disso a tecnologia empregada na eficiência da geração de biogás e a própria energia gerada são pouco divulgadas.

Segundo Zannete (2009), a viabilidade do aproveitamento energético do biogás depende substancialmente da escala dos projetos. Em geral, estes são viáveis para aterros e estações de tratamento de efluentes que atendem a uma população superior a 50.000 habitantes. Apesar dos mecanismos de incentivo existentes ao aproveitamento energético do biogás, como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e os incentivos às fontes alternativas renováveis de energia no Brasil, diversas barreiras regulatórias, institucionais, econômicas e tecnológicas dificultam o efetivo aproveitamento desta fonte no Brasil (ZANETTE, 2009).

Oportunidades de financiamento e no mercado de créditos de carbono

O MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), é um mecanismo de flexibilidade instituído pelo Protocolo de Quioto com o objetivo de auxiliar os países do chamado Anexo I a alcançarem as suas metas de redução de emissão de GEEs implementando projetos em países em desenvolvimento. Assim, os desenvolvedores de projetos podem receber as chamadas Reduções Certificadas de Emissão (créditos de carbono) que são comercializáveis, e que por isso ajudam a tornar esses projetos viáveis financeiramente. O Brasil é um dos líderes mundiais, juntamente com China e Índia em número de projetos.

Existem algumas metodologias aprovadas pela UNFCCC para elaboração de projetos de MDL relacionadas ao tratamento de efluentes. No site da UNFCCC, são listadas todas as metodologias aprovadas e em análise para aprovação. Essas metodologias são divididas em três escopos: Tipo I –

Projetos de energia renovável; Tipo II – Projetos de melhoria de eficiência energética e Tipo III – Outras atividades de projetos (UNFCCC, 2007).

As metodologias de elaboração de projetos de redução de emissão de gases de efeito estufa para o MDL que se aplicam a recuperação do biogás gerado no tratamento de esgoto são: AMS-III.H (pequena escala) e ACM0014 (grande escala) - Recuperação de metano no tratamento de efluentes líquidos. Porém, é importante enfatizar que as metodologias são aplicáveis a projetos de recuperação de metano em sistemas de tratamento tanto de esgotos domésticos com de efluentes industriais.

Sendo assim a pesquisa feita no site da UNFCCC quanto a metodologia específica geraram os seguintes dados: para a metodologia AMS-III.H, os resultados encontrados no mundo somam um total de 246 projetos, sendo destes 3 no Brasil, mas que não são específicos para o tratamento de esgoto, e sim para tratamentos de efluentes industriais são eles: Avelino Bragagnolo – *Wastewater Treatment using Aerobic System* (Manufatura de papel); Cooperativa Lar - *Wastewater Treatment and Energy Generation Project* (Abatedouro de aves); *GHG Emissions Reductions From Improved Industrial Wastewater Treatment In Embaré* (Alimentícia - derivados do leite). Para a metodologia ACM0014, foram encontrados apenas 28 projetos concentrados principalmente na Tailândia, e nenhum no Brasil.

A pesquisa realizada no site na UNFCCC mostrou-se dificultosa, pois é difícil ser determinado o número de projetos sobre esgoto sanitário no mundo em função de que não é possível definir esse critério na ferramenta de busca do site.

Os financiadores de projetos de MDL em destaque são em maioria bancos nacionais e estrangeiros, instituições e empresas públicas e privadas. Não é um dos melhores momentos vividos pelo MDL, uma vez que o cenário mundial de instabilidade econômica em todo o mundo refletiu significativamente no mercado de créditos gerados pelas emissões. Sendo assim, existe a necessidade de buscar alternativas para que o nicho deste mercado volte a fluir de forma mais constante e segura, e que não se perca o interesse neste mercado tão importante para a sustentabilidade econômica.

Mesmo com a má fase para os projetos de MDL, existem alternativas de financiamentos de entidades que apoiam projetos de energia renovável, dando sustentação e confiabilidade aos projetos implantados. Algumas dessas alternativas de financiamento são descritas a seguir.

Os governos do Brasil e da Alemanha acordaram em 2011 uma cooperação a área de aproveitamento energético de biogás. O governo alemão criou um fundo com 200 milhões €/ano, a KfW (Banco de Desenvolvimento da Alemanha) e a GIZ (Sociedade Internacional de Cooperação), atuam com o apoio financeiro e técnico, é um acordo entrou em vigor neste ano e estende-se até 2017. São inúmeras instituições participantes dentre elas se destacam: as companhias de saneamento (COESC, COPASA, EMBASA, SABESP, E SANEPAR), Instituições e associações (ANEEL, Eletrobrás – COPEL/SANEAR, Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento – LACTEC), e Universidades (UFMG, UFRJ, UEFS).

Para projetos com biogás, o BNDES disponibiliza linhas de créditos com baixas taxas de juros. Projetos a partir de uma dimensão de 10 milhões de reais podem aproveitar um financiamento de 80% com juros de cerca de 5%, contanto que o valor local seja pelo menos 60% (AHK, 2013).

A Caixa Econômica Federal oferece as concessionárias energéticas na esfera do programa de tratamento de resíduos e esgotos (Saneamento para todos) uma linha de crédito para instalação de equipamentos para ganho de biogás e a sua utilização com uma taxa de juro abaixo de 9%. O financiamento pode arcar com até 95% dos custos do projeto (AHK, 2013).

A ANEEL, apresenta um Manual de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, onde estabelece diretrizes e orientações para a elaboração de projetos de P&D regulados pela própria ANEEL. Estes projetos de P&D deverão estar pautados pela busca de inovações para fazer frente aos desafios tecnológicos e de mercado das empresas de energia elétrica.

Internacionalmente, inúmeras instituições públicas e privadas fomentam projetos no âmbito do MDL, dentre as instituições destacam-se: Banco Mundial, Banco Inter-Americano de Desenvolvimento, e o Banco KfW – Banco de Desenvolvimento da Alemanha. O Banco Mundial é o que responde pela maior parte das operações financeiras, com três fundos destinados a investimentos em projetos de tecnologia limpa, monitoram 300 empreendimentos no mundo todo, com valores médios de 3 a 15 milhões (CEPEA, 2012).

É importante citar que, apesar da instabilidade atual do MDL, ainda existe a alternativa do mercado voluntário. Da mesma forma que o mercado regulado, no mercado voluntário os projetos de redução de emissões também recebem créditos de carbono. Talvez no futuro seja possível a criação de um mercado nacional de redução de emissão. No Brasil já existem empresas como a Natura que apoiam projetos dessa natureza.

CONCLUSÕES

A partir deste trabalho foi possível concluir que o país ainda precisa avançar na universalização do saneamento. O potencial brasileiro ainda reside no imenso volume de esgoto não tratado, que poderia futuramente ser utilizado para geração de energia, inclusive para as próprias estações de tratamento, que em geral, demandam altíssimos custos energéticos.

Os responsáveis pelo planejamento e dimensionamento de novas estações devem considerar a possibilidade da recuperação de biogás para a geração de energia, incluindo no levantamento de dados a provável redução dos gastos em energia elétrica na operação da estação.

No Brasil já estão em operação exemplos de projetos de sucesso na recuperação energética do biogás de esgoto doméstico, a exemplo dos implantados pelas companhias de saneamento Sanepar,

Copasa, Sabesp, Embasa, e Sanesul. Porém, o principal problema enfrentado para realização de projetos dessa natureza ainda é a viabilidade econômica.

Com relação ao mercado de carbono, a fase instável do MDL desmotivou muitos desenvolvedores de projetos nas companhias de saneamento. Porém, ainda há o mercado voluntário de comércio de redução de emissões, além de outras opções de financiamento para projetos de energia renovável com biogás, com ênfase para a ANEEL, BNDES e Caixa Econômica Federal.

A experiência técnica obtida com os projetos pioneiros desenvolvidos no Brasil será de extrema importância para futuras tomadas de decisão voltadas ao uso energético do biogás de estações de tratamento de esgoto no país.

Políticas públicas são fundamentais para que projetos de biogás se desenvolvam com maior entendimento e rapidez no país. É necessário que haja maior sinergia entre os ministérios da ciência e tecnologia e ministério do meio ambiente. Além disso, o estímulo à melhores condições financeiras e tecnológicas fará com que surjam novas instituições e empresas, especialmente aqueles com conhecimento do ramo de energia. Isso também pode ser uma alternativa para viabilizar mais rapidamente projetos de biogás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2009). Banco de Informações de Geração. Disponível em: <www.aneel.org.br>. Acesso em: 15 Ago 2013.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL _____. Resolução Normativa ANEEL Nº390, de 15 de dezembro de 2009 – ANEEL - Brasília-DF. Disponível em <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 20 Jul 2013.

Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha – AHK (2013). Disponível em: <<http://ahkbusiness.de/pt/energias-renovaveis/biogas/#finanzierung>>. Acessado em 01 Nov 2013.

ALVES, João Wagner Silva. Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbica de resíduos. 2000. 165 f. Dissertação (Mestrado em Energia), PIPGE/USP, São Paulo, 2000. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/docs/artigos_dissertacoes/ingrid_alves.pdf>. Acesso em: 14 Out 2013.

ATLAS de Bioenergia do Brasil – São Paulo Projeto Fortalecimento Institucional do CENBIO, Convênio 007/2001 – MME, 2011.

BRAILE P.M. Dicionário inglês português de poluição industrial. Serviço Social da Indústria. Rio de Janeiro, 1983.

CEPEA 2012. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Estatísticas e informações sobre o mercado de carbono. Janeiro 2006. Disponível em: www.cepea.esalq.usp.br. Acesso em: 20 Out 2013.

CHERNICHARO, C. A. L. *et al.* Aplicabilidade da tecnologia anaeróbia para o tratamento de esgotos domésticos. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabCarlos/Cap-1.pdf> Acesso em: 15 jun. 2006.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Relatório de sustentabilidade. Belo Horizonte, 2012.

COSTA, D. F. Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Inter-unidades de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 194p. 2006.

DIAS, Reinaldo. Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade. 1.ed. São Paulo: Atlas, 2007.

EMBASA. Empresa Baiana de Água e Saneamento S/A. Relatório econômico da estação Madre de Deus. Salvador, 2011.

ETCHECOIN, C. 2000. Protocolo de Kyoto: Passaporte das Futuras Gerações. In: CENBIO NOTÍCIAS, v.3 N°.8, p. 4.

FIGUEIREDO, N. J. V. de. Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás: Estudo de caso. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo-SP, 2007.

GAIO, M. M. Superintendente de gestão de energia da Copasa. [16 de julho. 2013]. Curitiba. Entrevista concedida a Greyce Charllyne Benedet Maas.

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários (adaptado). Secretariado para América Latina e Caribe, São Paulo, 80p. 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Contagem da População 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2013.

MACEDO, L. V. de (Coord.). Manual para aproveitamento do biogás: volume dois, efluentes urbanos. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2010.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2011. Brasília, MCIDADES.SNSA, 232 p.

PAIVA, B. G. Mecanismo de desenvolvimento limpo, tratamento de esgoto e desenvolvimento sustentável: um estudo econômico. Dissertação (Pós-graduação) - Programa de Pós-Graduação em Economia do Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2008.

PECORA, VANESSA. Implementação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: Estudo de caso. Dissertação (Mestrado) – Programa de Inter -unidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE), Universidade de São Paulo, São Paulo, 153p. 2006.

POSSETTI, C. R. A. Assessor de Pesquisa e Desenvolvimento da Sanepar. [04 de novembro. 2013]. Curitiba. Entrevista concedida a Greyce Charlyne Benedet Maas.

RIBEIRO, S.K.V., A.G.F. (2003). O Potencial de Redução das emissões de Monóxido de Carbono, através da implantação de Programas de Inspeção e Manutenção. XVII ANPET, Rio de Janeiro, Brasil.

SABESP. Companhia de Saneamento básico do Estado de São Paulo. Estudo de caso ETE Barueri. São Paulo, 2011.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. Levantamento de dados da ETE Ouro Verde. Foz do Iguaçu, 2012.

SANESUL. Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul. Estudo de Biogás/Fatura de energia das ETE's/Análises do efluente e afluente. Miranda, 2010.

VIEIRA, S.M. M., SILVA, J.W., (2002), Primeiro Inventário Brasileiro sobre Emissões Antrópicas de Gases do Efeito Estufa. Relatório de Referência. Emissão de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos no Brasil. CETESB, 86 p.

VILLELA, A. I. Aspectos técnicos da produção de biogás em um laticínio Dissertação (mestrado) – UNESP/ Departamento de energia, 2005.

WEBER, S. P. Diretor de meio ambiente e ação social da Sanepar. [22 de agosto. 2012]. Curitiba. Entrevista concedida a Greyce Charlyne Benedet Maas.

ZANETTE, A. L. Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2009.