



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

Saneamento e Energia

Aproveitamento de resíduos de estações de tratamento
de esgoto para a produção de biocombustíveis e
geração distribuída de energia elétrica

Wagner Roberto Sacco

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS - CCS

DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO

Curso de Especialização em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos
Setores Energético e Mineral

Brasília, 2017.



Wagner Roberto Sacco

Saneamento e Energia:

Aproveitamento de resíduos de estações de tratamento de esgoto para a produção de biocombustíveis e geração distribuída de energia elétrica

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral, apresentada ao programa de pós-graduação lato sensu em Administração da PUC-Rio como requisito parcial para a obtenção do título de especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral.

Orientador: Leonardo Lima

Brasília, 2017.

“O elo com a natureza mesmo em cidades bem desenvolvidas é total. Para as cidades fluem diariamente inúmeros recursos da natureza, que, após serem utilizados, geram resíduos devolvidos também para o solo, a água e o ar.”

Hugo Penteado

Resumo

SACCO, Wagner Roberto. LIMA, Leonardo. Saneamento e Energia: Aproveitamento de resíduos de estações de tratamento de esgoto para a produção de biocombustíveis e geração distribuída de energia elétrica. Brasília, 2017. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Especialização em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral – Departamento de Administração. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho aborda o uso de resíduos provenientes do tratamento de esgotos para a produção de biocombustíveis e geração distribuída de energia elétrica. O tema é relevante e se justifica sobretudo pelo contexto global de demandas crescentes por fontes de energia limpas e renováveis, apoiada por uma agenda ambiental e de desenvolvimento sustentável, contribuindo para a diversificação da matriz energética brasileira. O objetivo é o de apresentar informações qualitativas e quantitativas consolidadas, permitindo maior entendimento ao público de interesse envolvido com as áreas de planejamento, saneamento e energia. Como resultado tem-se uma análise com as principais vantagens, desvantagens e desafios para viabilizar este tipo de aproveitamento.

Palavras-chave: Saneamento. Energia. Biocombustíveis. Sustentabilidade Biogás.

Abstract

SACCO, Wagner Roberto. LIMA, Leonardo. Sanitation and Energy: Use of waste from sewage treatment plants for the production of biofuels and distributed power generation. Brasília, 2017. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Especialização em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral – Departamento de Administração. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This paper addresses the use of waste from sewage treatment for the production of biofuels and distributed power generation. The theme is relevant and justified mainly by the global context of growing demands for clean and renewable energy sources, supported by an environmental and sustainable development agenda, contributing to the diversification of the Brazilian energy matrix. The objective is to present qualitative and quantitative consolidated information, allowing greater understanding to the public of interest involved with the areas of planning, sanitation and energy. As a result, it is presented an analysis with the main advantages, disadvantages and challenges to enable this type of use.

Key-words: Sanitation. Energy. Biofuels. Biogas. Sustainability.

Sumário

1. O problema	8
1.1. Introdução	8
1.2. Objetivo final	11
1.3. Objetivos intermediários	12
1.4. Delimitação do estudo	13
1.5. Relevância do estudo	13
2. Metodologia	14
2.1. Tipo de pesquisa	14
2.2. Quanto aos fins	15
2.3. Quanto aos meios	15
2.4. Limitação do estudo	16
3. Referencial teórico	17
3.1. Saneamento e energia: contextualização	17
3.2. Breve contextualização histórica do aproveitamento de resíduos para a produção de combustíveis e energia	19
3.3. Destinação do esgoto no Brasil: dados do saneamento básico para coleta e tratamento	23
3.4. Princípios do processo produtivo de combustíveis e energia a partir dos resíduos do tratamento de esgoto	28
4. Resultados	32
4.1. Descrição dos resultados	32
4.2. Análise dos resultados	32
4.2.1. Vantagens	32

4.2.2. Desvantagens	34
4.2.3. Desafios para o futuro	35
5. Conclusões	37
6. Referências	39

1. O problema

1.1. Introdução

O tema abordado é de grande complexidade, pois envolve conexões entre áreas bastante diferentes de conhecimento e intervenção, tais como: planejamento urbano e territorial, planejamento setorial nas áreas de saneamento básico, energia, meio ambiente e desenvolvimento sustentável; o que demanda uma visão transversal e multidisciplinar por parte de todos os agentes (tanto públicos quanto privados) e em todas as cadeias dos processos envolvidos.

O atual contexto global, no qual se verificam demandas crescentes por alternativas de produção de energia a partir de fontes renováveis, respaldando uma agenda de preservação ambiental e de desenvolvimento econômico sustentável, suscita a busca por respostas inovadoras e ecologicamente mais responsáveis, e que também sejam viáveis sob o ponto de vista dos investimentos e dos recursos necessários a serem empregados, quer se tratem de recursos humanos, tecnológicos, ambientais, financeiros, etc.

Tendo este contexto como ponto de partida, faz-se necessário pensar com seriedade no aproveitamento de fontes que podem parecer pouco convencionais, mesmo dentro do universo das fontes renováveis alternativas. E esse é o desafio na questão da utilização dos resíduos provenientes das estações de tratamento de efluentes domésticos (esgotos) no Brasil. Trata-se basicamente da utilização de uma forma de

biomassa¹, que além do potencial de energia a ser gerada, também desponta como solução possível para equacionar questões ambientais, sanitárias e urbanas.

Segundo dados do antigo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), no campo das fontes renováveis, o país vem se destacando por já possuir uma matriz energética considerada bastante diversificada e limpa, com participação de renováveis em torno de 46% do total produzido (TOLMASQUIM, 2007).

Dados mais recentes mostram que em 2014, a participação de renováveis na matriz energética brasileira ainda se mantinha entre as mais elevadas do mundo, com pequena redução devido à menor oferta de energia hidráulica, em decorrência da situação hidrológica enfrentada no período no país. Ainda assim, o Brasil manteve uma participação de 39,4% em relação ao total da energia produzida no país, consideradas todas as fontes disponíveis (EPE, 2015).

A crescente preocupação dos formadores de políticas públicas nessa área pode ser verificada em diversos documentos produzidos pelas diversas instâncias do Governo Federal, como por exemplo, no Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (EPE, 2015), no qual é apresentada a necessidade do país em seguir investindo em fontes renováveis, com vistas a atingir o objetivo de não ultrapassar a meta de 680 milhões de toneladas de CO₂-eq. de emissões de GEE na produção e no uso da

¹ Biomassa seria todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, podendo ser de origem animal ou vegetal, e que pode ser utilizado para produção de energia em subprodutos aproveitáveis para a produção de material combustível (COELHO, 2008).

energia em 2020, definida em conformidade com a Comunicação Nacional do Brasil na COP-15, com a Lei nº 12.187/09 e com o Decreto nº 7.390/10.

Na seção introdutória, buscou-se apresentar o problema abordado neste trabalho. Iniciou-se com a análise de referências, sobretudo da área de energia, dos elementos relevantes para o tema proposto, buscando-se evidenciar a complexidade e a conexão entre os diversos setores e agentes envolvidos. Os principais documentos analisados foram produzidos pela Empresa de Pesquisa Energética, ressaltando a importância da inclusão de fontes renováveis alternativas para assegurar a futura segurança energética do país. Também foram observados outros referenciais, tais como leis e artigos produzidos por pesquisadores do setor.

Na seção seguinte, que trata da metodologia utilizada, buscou-se explicitar os procedimentos seguidos para a produção deste trabalho.

O material coletado e analisado foi apresentado na seção seguinte que trata dos referenciais teóricos consultados. Elaborou-se uma breve contextualização histórica, destacando-se os principais marcos operacionais e de transformação, sobretudo dos aspectos técnicos. A principal referência foi o livro “Biogás: a energia invisível” de Cícero Bley Jr. (2015). Também foram buscados dados suplementares junto a publicações da PROBIOGÁS.

Com relação à temática específica do saneamento, buscou-se informações, sobretudo nos dados compilados pelo IBGE, pelo Ministério das Cidades e pelo Instituto Trata Brasil, com ênfase nos assuntos relacionados ao tratamento de efluentes domésticos (esgotos). O objetivo

foi o de caracterizar a real dimensão da capacidade de produção e escala de atuação a ser considerada para elaboração de intervenções no setor.

Ainda nesta seção, outra temática também de muita relevância, a qual se buscou apresentar os principais aspectos tecnológicos envolvidos no processo de produção de biocombustíveis e geração de energia a partir dos resíduos do tratamento de efluentes domésticos. A principal referência consultada foi a tese de mestrado de David Freire da Costa (2006), complementada por artigos de pesquisadores e jornalistas que igualmente abordaram o tema.

A seção seguinte trata dos resultados obtidos. Como principal resultado, chegou-se a uma análise apontando as principais vantagens e desvantagens da tipologia de sistema analisado, assim como os desafios mais relevantes para tornar este tipo de aproveitamento viável no futuro.

1.2. Objetivo final

O principal objetivo deste trabalho é o de apresentar de forma atualizada e estruturada informações qualitativas e quantitativas sobre o aproveitamento dos resíduos oriundos dos processos de tratamentos de efluentes domésticos para a produção de biocombustíveis² e geração distribuída de energia elétrica, de modo a ampliar o entendimento sobre o tema e comunicar ao público de interesse, sobretudo agentes e gestores

² São combustíveis produzidos a partir da biomassa, isto é, de fontes renováveis – produtos vegetais ou compostos de origem animal (PETROBRAS, 2007).

públicos e privados envolvidos com as cadeias produtivas das áreas de planejamento, saneamento e energia.

1.3. Objetivos intermediários

Como objetivos intermediários, podem-se listar os seguintes:

- Estudar as condições básicas de contorno relacionadas aos setores de saneamento básico e possibilidades de aproveitamento dos resíduos do tratamento dos esgotos para a produção de combustíveis renováveis e energia.
- Estudar a evolução histórica e técnica dos processos e metodologias para o aproveitamento dos esgotos para a produção de combustíveis e energia.
- Coletar dados e analisar a atual situação do saneamento básico no Brasil, especialmente os sistemas de tratamento de esgotos, objetivando a caracterização da real dimensão da capacidade de produção e escala de atuação a ser considerada para elaboração de intervenções no setor.
- Identificar os principais aspectos tecnológicos envolvidos no processo de produção de biocombustíveis e geração de energia a partir dos resíduos do tratamento de efluentes domésticos.
- Identificar as principais vantagens e desvantagens envolvidas em tais processos.

- Identificar os principais desafios para tornar este tipo de aproveitamento viável no futuro.

1.4. Delimitação do estudo

O foco deste trabalho é a compreensão dos elementos básicos envolvidos no aproveitamento dos resíduos oriundos dos processos de tratamento de esgotos para a produção sustentável de biocombustíveis e geração distribuída de energia elétrica.

Não é pretensão deste trabalho esgotar todas as possibilidades teóricas disponíveis, principalmente dada a complexidade técnica envolvida nesta temática, mas sim servir de orientador básico para compreensão de um setor que ainda demanda estruturação.

1.5. Relevância do estudo

O presente trabalho aborda um tema de grande interesse e atualidade. Cada vez mais será necessário buscar soluções inovadoras, responsáveis e sustentáveis do ponto de vista socioambiental para a questão da geração de energia e combustíveis. As informações obtidas são muito relevantes para todos os agentes, tanto públicos quanto privados, e em todas as cadeias dos processos envolvidos, no que diz respeito aos processos de tomada de decisões em investimentos na área, assim como para elaboração de políticas públicas mais eficientes. Também é relevante para a sociedade em geral, uma vez que a temática abordada tem consequências para todos.

2. Metodologia

Este capítulo apresenta a proposta metodológica adotada na elaboração deste trabalho, tendo-se baseado em pesquisa documental, elaborada a partir da análise de diversos referenciais técnicos, legais e fontes bibliográficas sobre a temática tratada.

2.1. Tipo de pesquisa

Segundo Antônio Carlos Gil (2002), os tipos de pesquisa podem ser classificados em três grupos principais, sendo: exploratórias, descritivas e explicativas. O primeiro grupo, o das pesquisas exploratórias, tem como objetivo criar familiaridade com um determinado tema e na maioria dos casos, são apresentadas sob a forma de pesquisa de referenciais bibliográficos, eventualmente também podendo abordar estudos de casos. O segundo grupo, o das pesquisas descritivas, tem como principal objetivo a descrição criteriosa de características de fenômenos e suas variáveis. Por fim, o terceiro grupo, o das pesquisas explicativas, busca identificar fatores que possam vir a determinar ou contribuir para a ocorrência dos fenômenos estudados.

A proposta deste trabalho, dada sua natureza de formação de material de base, se enquadra no primeiro grupo, caracterizando-se como

uma pesquisa exploratória. Seu principal objetivo é o de apresentar informações básicas.

2.2. Quanto aos fins

Ao propor o estudo de possibilidades de aproveitamento de resíduos dos processos de tratamento de esgotos para a produção de biocombustíveis e geração de energia elétrica, este trabalho considera tanto o atual contexto global de demandas crescentes por alternativas de produção de energia a partir de fontes renováveis como as emergentes agendas de preservação ambiental e de desenvolvimento econômico sustentável, buscando explorar a busca por respostas inovadoras e ecologicamente mais responsáveis na área de energia. As questões de viabilidade sob o ponto de vista dos investimentos e dos recursos necessários a serem empregados também são abordadas, quer se tratem de recursos humanos, tecnológicos, ambientais, financeiros, etc.

2.3. Quanto aos meios

Todo o trabalho realizado neste estudo está baseado em revisão sistemática de referenciais bibliográficos, todos obtidos de fontes acessíveis tanto ao público especializado quanto ao público em geral. Todas as informações reunidas neste trabalho foram obtidas basicamente a partir de materiais produzidos por terceiros, organizados sob as mais diversas formas, tais como: jornais, revistas, sites especializados,

monografias ou teses relacionadas ao assunto e também livros, todos destacando pontos relativos à temática abordada.

2.4. Limitação do estudo

Dada a natureza de pesquisa exploratória do estudo proposto, sua principal limitação seria o fato de não ter sido possível estabelecer um paralelo com uma situação real de aproveitamento de resíduos em estação de tratamento de esgotos para a produção de energia e combustíveis.

3. Referencial teórico

3.1. Saneamento e energia: contextualização

Para melhor compreender a temática, faz-se necessário contextualizar sua relevância, situando as questões de fundo envolvidas nos universos do desenvolvimento sustentável, proteção ambiental, saneamento básico e energia.

Um ponto de partida bastante relevante seria o conceito de desenvolvimento sustentável proposto pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Relatório Brundland, que também ficou conhecido como Nosso Futuro Comum (CMMAD, 1991). Este conceito passou a ser considerado peça fundamental em praticamente todas as discussões que envolvessem aproveitamentos para geração de combustíveis e/ou energia renováveis.

Segundo este conceito, o desenvolvimento só pode ser considerado sustentável, se for capaz de suprir as necessidades atuais sem comprometer a capacidade atender as necessidades das gerações futuras, o que em última instância, implica em dizer que a finalidade do desenvolvimento sustentável dever ser o de garantir a manutenção da qualidade ambiental ao longo do tempo. E sob este aspecto, toda e qualquer estratégia que colabore com este objetivo, pode e deve ser encarada como uma estratégia voltada à sustentabilidade, como é o caso das políticas públicas na área de saneamento ambiental básico.

Sob esta ótica, a associação entre estratégias de saneamento e produção de energia teriam efeitos sinérgicos, uma vez que teriam grande potencial tanto para promover qualidade ambiental quanto bem-estar social e saúde. O correto tratamento dos resíduos derivados dos processos de saneamento, neste caso, ainda teria outro efeito positivo, o de reduzir o consumo de matérias-primas, ou seja, o de combustíveis fósseis.

Também do ponto de vista técnico, trata-se já de matéria com amparo em normativas técnicas nacionais que abordam a temática, buscando-se orientar a elaboração de possíveis tratamentos e soluções. Vale a pena citar, por exemplo, a norma técnica NBR-10004 (ABNT, 2004), que tem por objetivo conceituar e classificar os resíduos. Segundo esta, resíduos nos estados sólidos e semissólidos resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, ficando incluídos nesta definição lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

3.2. Breve contextualização histórica do aproveitamento de resíduos para a produção de combustíveis e energia

A geração de algum tipo de resíduo decorrente da atividade dos diversos seres vivos na Terra sempre foi um processo natural e equacionado sob o ponto de vista dos diversos ecossistemas existentes.

A maioria dos resíduos era constituído por restos de alimentos ou por substâncias excretadas, de modo que todos os resíduos e subprodutos gerados por um grupo de organismos eram transformados por outro grupo, alimentando cadeias complexas de complementariedades e reciclagem de elementos químicos. O que era resíduo para um grupo se transformava em substrato ou alimento para outro. Os resíduos, através desses mecanismos de recuperação biológica, continuamente circulavam, sem se acumular em demasia ou causar problemas sistêmicos.

A geração de resíduos sólidos que não se enquadravam nessa lógica se constituiu numa novidade criada pela espécie humana. Em seu longo processo de evolução, os humanos lentamente foram transformando seu modo de vida e de interação com o meio natural. Passou-se de um modo de vida nômade, caçador e coletor para outro sedentário, gregário e focado na exploração dos recursos naturais, fomentando todo um novo conjunto de necessidades e inovações que não existiam antes, tais como: abrigos, indumentárias, defesa, alimentação, etc.

A cada uma dessas inovações, surgiam também tipos novos de resíduos que nunca haviam sido gerados antes. Apesar de gerar alguns

impactos sobre os ecossistemas, esta dinâmica não foi capaz de gerar grandes desequilíbrios ao longo de grande parte da história das civilizações humanas. As escalas de ocupação territorial e utilização de recursos naturais ainda conseguiam conviver com a lógica ecológica.

Mudanças significativas somente começaram a ocorrer em meados do século XVIII, quando uma nova forma de produção de bens foi fomentada. As escalas de produção e consumo de recursos se expandiram com o advento do que se convencionou chamar de Revolução Industrial. A partir da Inglaterra esse novo modelo se espalhou por todo o mundo. Esse novo modelo se beneficiava da concentração de insumos, quer sejam matérias-primas ou disponibilidade de mão-de-obra.

Esse fenômeno levou a uma explosão demográfica e de urbanização. Uma das consequências diretas desse processo foi a ocorrência sistêmica de epidemias nas grandes aglomerações, sobretudo em função da inexistência de sistemas adequados de coleta e tratamento de resíduos, sobretudo de esgotos. Esta questão passou a preocupar autoridades em todo o mundo, pois começou a ficar evidente que o não tratamento desses resíduos produzia impactos econômicos e sociais relevantes. Esse foi o momento em que os códigos sanitários passaram a ser editados em todo o mundo, inclusive no Brasil.

Cícero Bley Jr., em seu livro *Biogás: a energia invisível* (2015), apresenta os principais marcos da evolução histórica e tecnológica do aproveitamento específico de resíduos para a produção de energia. Ele aponta que este tema não se constitui em novidade, registrando-se usos na região da Assíria que datam pelo menos do século X a.C. Essa

civilização utilizava os resíduos para produzir gás destinado ao aquecimento de banhos públicos.

Ainda se tratando de civilizações antigas, ele cita ainda os relatos do explorador italiano Marco Polo, que em suas viagens pela China no século XIII, teria presenciado a forma como os chineses cobriam tanques de esgoto, com a finalidade de obter gás e gerar calor e combustível. Até aquele momento, todos os aproveitamentos registrados se davam de forma essencialmente empírica, pois ainda não havia conhecimento científico estruturado para compreender os processos envolvidos.

Bley aponta que os fenômenos envolvidos nesses processos só começariam a ser melhor compreendidos a partir do XVII, com a nova postura investigativa do Iluminismo, que inaugurou a era do conhecimento científico. Foi nesse período, que o médico e químico belga Jan Baptista van Helmont realizou diversas experiências científicas para provar que gases inflamáveis podiam ser originados a partir da decomposição de matéria orgânica. Em 1776, o físico italiano Alessandro Volta concluiu que existia uma relação direta entre a quantidade de material decomposto e a quantidade de gás inflamável produzido.

No começo do século XIX, em 1808, o químico inglês Sir Humphry Davy anunciava que o gás metano estava presente nos gases obtidos a partir da digestão anaeróbica do esterco bovino.

Em 1884, o cientista francês Louis Pasteur introduziu na Academia de Ciências a ideia de que um gás podia ser usado para fins de aquecimento e iluminação.

Até aquele momento, a maioria dos estudos e aproveitamentos ainda eram de natureza restrita. Somente a partir de meados do século XIX, iniciou-se uma fase com uma abordagem mais tecnológica e prática para o aproveitamento de resíduos.

O primeiro resultado efetivo dessa mudança foi a criação de um equipamento biodigestor em Mumbai, na Índia. Esse sistema chegou à Inglaterra em 1895, quando essa tecnologia foi utilizada numa estação de tratamento de esgotos para abastecer lâmpadas de uma rua da cidade de Exeter.

Seguindo na mesma direção, na Dinamarca, em 1920, o gás resultante do tratamento de águas residuais foi usado, inicialmente, para aquecer um tanque digestor. Em 1957 o inventor britânico Harold Bates conseguiu converter esterco de galinha em combustível gasoso.

A evolução da microbiologia, principalmente na década de 1930, contribui ainda mais para identificar e estudar as bactérias anaeróbicas e as condições que permitiam a produção de metano.

Na década de 1960, o uso do gás produzido a partir de resíduos orgânicos alcançou destaque na Índia, ganhando força nas pequenas comunidades, que o usam até hoje como combustível para cozinhar.

A China seguiu o mesmo caminho e, nos anos 1980, instalou inúmeros equipamentos em diversas cidades.

Nos anos 1980, esses programas inspiraram os europeus – principalmente os ingleses – a revisitar e a voltar a investir nessa tecnologia. Uma das razões foi a intensa oscilação do preço do petróleo, em função dos choques nos preços produzidos pelos membros da OPEP

nos anos 1970. A crise energética foi o disparador para que o mundo passasse a voltar atenção para fontes alternativas de produção de energia e combustíveis a partir de fontes renováveis.

Bley Jr. (2015), aponta ainda que, atualmente no mundo, 1.483 usinas de portes variados utilizam esse tipo de resíduos para produção de energia. O Japão aparece na liderança do ranking com 800 usinas, seguido pela Europa com 452 instalações, China com 100 e Estados Unidos com 86. Na América do Sul, o destaque é o Brasil para o aproveitamento deste tipo de tecnologia, ainda que de forma incipiente.

Segundo dados disponíveis no Guia Técnico de Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto (PROBIOGÁS, 2015), os principais motivos que fazem com que o aproveitamento do biogás no Brasil se encontre ainda nos estágios iniciais deve-se em grande parte ao fato do mercado local ainda não estar estruturado, com diversos problemas de natureza regulatória e tecnológica.

Existe ainda outro problema que diz respeito às informações básicas sobre a disponibilidade, qualidade e capacidade dos sistemas de saneamento básico se associarem de forma eficiente a sistemas de geração distribuída de energia.

3.3. Destinação do esgoto no Brasil: dados do saneamento básico sobre coleta e tratamento

A temática específica do saneamento básico e da destinação do esgoto no Brasil necessita ser abordada por se tratar da fonte primária de

matéria-prima para a produção de energia associada a este tipo de resíduo. É bastante relevante estabelecer parâmetros a respeito dos volumes reais e potenciais que se podem obter.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2002 (IBGE, 2002), revelou que o esgotamento sanitário é o serviço de saneamento básico com menor cobertura nos municípios brasileiros, embora tenha demonstrando um crescimento de 10,6% entre 1989 e 2000.

Dos 4.425 municípios existentes no Brasil em 1989, 47,3%, tinham algum tipo de serviço de esgotamento sanitário. Em 2000, dos 5.507 municípios, 52,2% tinham esgotamento sanitário. Os dados demonstram que houve progresso. Ainda assim, por volta de 48% dos municípios ainda continuavam desassistidos.

Constatou-se também que apenas 33,5% dos domicílios eram atendidos por rede geral de esgoto. O atendimento chega ao seu nível mais baixo na região Norte, onde apenas 2,4% dos domicílios são atendidos, seguidos da região Nordeste com apenas 14,7%, Centro-Oeste com 28,1% e Sul com 22,5%. A região Sudeste apresenta o melhor atendimento, com 53% do total de domicílios atendidos com rede geral de esgoto. Dos 5.507 municípios existentes em 2000, 2.630 não eram atendidos por rede coletora, utilizando soluções alternativas como fossas sépticas e sumidouros, fossas secas, valas abertas e lançamentos em cursos d'água.

Outro dado bastante relevante diz respeito à desigualdade na distribuição dos serviços de esgotamento sanitário entre os municípios. Quanto maior a população do município, maior tendia a ser a proporção de domicílios com algum serviço de esgoto.

Os municípios com mais de 300 mil habitantes tinham em média quase três vezes mais domicílios ligados à rede de esgoto do que os municípios com população até 20 mil habitantes. Exemplos dos extremos dessa situação foram constatados nos municípios de Bauru (SP), com uma população à época de mais de 316 mil habitantes e mais de 108 mil domicílios existentes cadastrados, dos quais mais de 97 mil deles estavam ligados à rede de esgoto, o que representava 89,3%. No extremo oposto, estava o município de Pocrane (MG) com uma população de aproximadamente 10 mil habitantes e por volta de 3.500 domicílios existentes cadastrados, possuindo apenas 5 domicílios ligados à rede de esgoto, o que representava apenas 0,14%.

No geral, na região Sudeste, as diferenças tenderam a não ser tão marcantes: 58,7% dos domicílios nos municípios com mais de 300 mil habitantes e 42,1% dos domicílios nos municípios com até 20 mil habitantes tinham rede de esgoto. Já no Nordeste, os municípios com mais de 300 mil habitantes tinham em média 3,4 vezes mais domicílios com rede geral do que os municípios com até 20 mil habitantes. A maior diferença de domicílios servidos em municípios de grande e pequeno porte encontrava-se na região Centro-Oeste: os municípios com população acima de 300 mil habitantes tinham 20 vezes mais domicílios servidos com rede de esgoto do que os municípios com até 20 mil habitantes, respectivamente 56,7% e 2,6%.

O quadro geral levantado apontou que 47,8% dos municípios brasileiros não possuíam qualquer tipo de serviço de coleta de esgoto. O Norte era a região com a maior proporção de municípios sem coleta

(92,9%), seguido do Centro-Oeste (82,1%), do Sul (61,1%), do Nordeste (57,1%) e do Sudeste (7,1%). Nesses casos, os principais receptores do esgoto in natura não coletados eram os rios e mares, comprometendo a qualidade da água utilizada para abastecimento, irrigação e recreação. Dados recentes coletados pelo Instituto Trata Brasil e divulgados por meio de seus relatórios (Situação do Saneamento no Brasil e Ranking do Saneamento – 2015), apontam que mais de 3,5 milhões de brasileiros, nas 100 maiores cidades do país, despejam esgoto irregularmente, mesmo tendo redes coletoras disponíveis. Essa situação não é característica apenas de regiões menos favorecidas. No Estado de São Paulo, por exemplo, cerca de 450 mil habitantes nos 15 maiores municípios paulistas têm disponíveis os serviços de coleta de esgoto, porém não estão ligados à rede de coleta de esgoto, despejando os resíduos de forma inadequada no meio ambiente.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000 (IBGE, 2002) já havia apontado para outra questão crítica, trata-se da problemática da implantação incompleta dos serviços de esgoto no país. Dos 52,2% dos municípios que tinham serviços de esgotamento sanitário, 32% tinham serviços regulares de coleta e apenas 20% efetivamente coletavam e tratavam o esgoto.

Com base nos dados apresentados em Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016), reiteram esse quadro. No país, apenas 40% dos esgotos são tratados. Na média, os 100 maiores municípios brasileiros tratam 50,3% de seus esgotos. Apenas 10

deles tratam mais de 80%. Um retrato por regiões mostrou que no Norte apenas 14,3% do esgoto são tratados, com um índice de atendimento total de 7,9%. A pior situação entre todas as regiões. No Nordeste, 28,8% do esgoto são tratados. No Sudeste, 43,9% do esgoto são tratados, com um índice de atendimento total de 78,3%. No Sul, 43,9% do esgoto são tratados. Finalmente, no Centro-Oeste, 46,4% do esgoto são tratados, no entanto com um índice de atendimento inferior a 50%.

Verificou-se que em 2000, aproximadamente 14,5 milhões de metros cúbicos de esgoto eram coletados, sendo que aproximadamente 5 milhões de metros cúbicos eram tratados. O Sudeste é a região que tem a maior proporção de municípios com esgoto coletado e tratado (33,1%), seguido do Sul (21,7%), do Nordeste (13,3%), do Centro-Oeste (12,3%) e Norte (3,6%). Ainda assim, trata-se de uma parcela ainda bastante reduzida em relação ao volume total existente. Estimativas de 2013, somente levando-se em consideração as capitais, mostraram que foram lançados mais de 1,2 bilhão de metros cúbicos de esgoto in natura nos corpos d'água.

O que estes dados demonstram com muita clareza é que a questão básica do saneamento no Brasil ainda não foi equacionada. Em termos gerais, poder-se-ia considerar esse fato como algo negativo, no entanto também representa uma janela de oportunidade para rever o modelo e incorporar outras agendas, como a do aproveitamento dos resíduos para a produção de energia nas instalações de tratamento.

3.4. Princípios básicos do processo produtivo de combustíveis e energia a partir dos resíduos do tratamento de esgoto

O processo utilizado para converter os resíduos provenientes do tratamento do esgoto em matéria-prima para produção de combustível e energia não é uma novidade. Vem sendo aperfeiçoado desde o século XVII, como já descrito anteriormente.

Trata-se de um processo de conversão de biomassa, existindo três processos básicos possíveis para converter a biomassa em fonte energética. O primeiro processo é através da combustão direta, o segundo é a gaseificação e o terceiro é a biodigestão (COSTA, 2006).

No primeiro processo, a biomassa é simplesmente queimada para gerar calor, que por sua vez pode ser aproveitado para aquecimento ou acionamento de geradores elétricos a vapor.

Para o segundo processo, temos a gaseificação, que consiste basicamente em reações termoquímicas envolvendo um combustível sólido na presença de ar ou oxigênio puro e vapor d'água para serem usados como energia térmica ou elétrica, para a síntese de produtos químicos e para a produção de combustíveis líquidos.

Por fim, temos o terceiro processo, a biodigestão, que é o processo que interessa no caso específico do aproveitamento dos resíduos do tratamento dos efluentes domésticos (esgotos). Em Biogás – Uma Energia Limpa, Bruno Royá (2011), aponta que se trata de um processo que ocorre naturalmente em muitos ecossistemas, como nos sedimentos aquáticos de

lagos de água doce ou salgada, por meio da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos.

O conceito básico de um biodigestor, ou reator anaeróbico, é reproduzir as condições presentes nos ecossistemas. Basicamente, um biodigestor é constituído de um tanque isolado do ar atmosférico, no qual é depositada a matéria orgânica em estado semissólido que será processada por micro-organismos (bactérias) que se desenvolvem na ausência de oxigênio, daí o processo ser anaeróbico. Esse processo é chamado de biometização.

Como ainda aponta Royá (2011), este processo também gera subprodutos em diferentes estados. No estado sólido obtêm-se detritos mais grosseiros (areia e espuma), lodos inertes e o biofertilizante. Esses subprodutos são obtidos por decantação no fundo dos biodigestores após a ação das bactérias.

No estado líquido, obtém-se um efluente mineralizado que pode ser usado na produção de microalgas utilizadas em piscicultura. E por fim, no estado gasoso, obtém-se o biogás, que é exatamente o subproduto de interesse para a produção de combustíveis renováveis e geração de energia.

Segundo André Rocha, o biogás é um biocombustível com um conteúdo energético semelhante ao do gás natural, sendo composto em média de uma mistura de 55 a 70% de metano, 30 a 45% de dióxido de carbono e até 5% de uma mistura de traços de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas e oxigênio. Mas dependendo de variações de tipo de matéria orgânica, tipo de biodigestor,

pressão e temperatura durante o processo de fermentação, pode ser produzido mais ou menos metano, variando entre o mínimo de 40% e o máximo de 80%.

Em termos comparativos, a energia produzida por um metro cúbico de biogás equivaleria a: 0,40 quilos de gás de cozinha, ou de 0,61 a 0,70 litros de gasolina, ou 0,55 litros de óleo diesel, ou 0,80 litros de etanol, ou de 1,25 a 1,43 kWh de energia elétrica, ou ainda 1,60 a 3,50 quilos de lenha. Dada a quantidade de matéria-prima disponível e ainda não aproveitada para esta finalidade, pode-se inferir que existe um potencial expressivo em termos de equivalência energética.

Na prática, inicialmente o esgoto é transportado por meio de uma rede coletora até estações elevatórias, nas quais ocorre a primeira etapa do processo, que é a separação das partículas maiores não aproveitáveis. Em seguida, os resíduos aproveitáveis são encaminhados para as estações de tratamento de esgoto (ETE), onde começa a próxima etapa do processo de tratamento. Neste ponto, os resíduos são separados em fases sólida e líquida. A fase sólida é encaminhada para aterros sanitários, enquanto a fase líquida é enviada à um reator onde será processada por meio de digestão da matéria orgânica por bactérias.

Os biodigestores convencionais mais usados são subdivididos em descontínuos e contínuos. Os modelos descontínuos, também conhecidos como batelada, são abastecidos somente uma vez, e mantidos fechados pelo tempo necessário para completar a fermentação de toda a matéria orgânica, servindo em geral para situações que exigem processamento de menores quantidades de material orgânico. Os modelos contínuos

requerem abastecimento periódico de matéria orgânica, normalmente diário, e em geral se destinam ao processamento de quantidades maiores de material ou em condições de grande fluxo (COSTA, 2006).

O biogás gerado nesse processo pode ser usado para a geração de energia elétrica, térmica e mecânica. Na geração de eletricidade a partir do biogás, ocorre a conversão da energia química do gás em energia mecânica por meio de um processo controlado de combustão; essa energia mecânica ativa um gerador que produz energia elétrica.

O biogás também pode ser usado em caldeiras por meio de sua queima direta para a cogeração de energia ou simplesmente para gerar calor destinado a outros processos envolvidos. O biogás pode ainda ser armazenado e distribuído para outros usos por meio de gasodutos, desde que atenda aos padrões técnicos de pureza estabelecidos pela Agência Nacional de Petróleo (ANP).

A questão tecnológica, ainda que bastante relevante, não representa grande obstáculo na implantação desse tipo de ação, uma vez que é bem conhecida. O principal obstáculo observado está relacionado com a falta de sinergia entre as estratégias e políticas na implantação dos sistemas de tratamento de efluentes domésticos e as instalações destinadas à produção de biocombustíveis e energia.

4. Resultados

4.1. Descrição dos resultados

Os dados obtidos permitiram identificar que existe grande sinergia entre as questões de saneamento básico voltado para o tratamento de efluentes domésticos e o potencial para aproveitamento dos resíduos dele oriundos para a produção de biocombustíveis (biogás) e geração distribuída de energia elétrica.

Como principais resultados, chegou-se a uma análise apontando as principais vantagens e desvantagens da tipologia de sistema analisado, assim como os desafios mais relevantes para tornar este tipo de aproveitamento viável no futuro.

4.2. Análise dos resultados

4.2.1. Vantagens

No que diz respeito às vantagens, a contribuição mais imediata, seguramente é do ponto de vista sanitário e de saúde pública. Ao se dar uma destinação adequada aos efluentes domésticos (esgotos) produzidos, sobretudo nas grandes aglomerações urbanas, evita-se a proliferação de doenças e contaminação dos solos, das águas e do ar. Também é muito relevante a contribuição em termos de sustentabilidade e proteção

ambiental. Os resíduos coletados e tratados não se transformam em um problema ambiental ou social.

Do ponto de vista energético, o aproveitamento das ETEs para produção de biocombustíveis e geração de energia elétrica tem forte apelo, uma vez que, por se tratar de uma fonte renovável e relativamente limpa, contribui com a agenda de combate ao aquecimento global assumida pelo Governo Federal Brasileiro, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera.

Outro efeito positivo em relação à outras modalidades de uso de biomassa é o fato de contribuir para o combate ao desmatamento, na medida em que o gás gerado é um bom substituto para lenha, sobretudo para usos domésticos em áreas rurais.

Além da produção do biogás, outros subprodutos úteis também são obtidos, como é o caso dos biofertilizantes líquidos e sólidos.

Por se tratar de um processo integrado entre saneamento e produção de energia, há uma tendência de diluição de custos de instalação, fazendo com que os investimentos necessários a curto, médio e longo prazos sejam mais viáveis em comparação com os custos considerando-se cada tipo de instalação isoladamente.

Como estratégia de produção de energia elétrica, contribui ainda para a diversificação da matriz energética, podendo ser pensada em termos de geração distribuída, aproximando a fonte geradora dos consumidores finais, minimizando problemas com distribuição das cargas no sistema como um todo. Esse tipo de estratégia também representa uma solução potencialmente bastante útil para os casos de atendimento de

comunidades isoladas que dificilmente poderiam ser atendidas com soluções tradicionais de rede elétrica e que disponham dos insumos básicos.

No cenário geral de consumo de combustíveis, também pode ser pensado como fonte complementar ao uso de gás natural e outros combustíveis fósseis para uso veicular, desde que receba o devido tratamento para se tornar compatível com os padrões técnicos de escoamento por meio da rede de gasodutos já existentes.

4.2.2.Desvantagens

No que diz respeito às desvantagens, pode ser verificado na fase inicial de implantação desse tipo de empreendimento, dependendo do porte e complexidade das instalações, um impacto no custo de investimento, que pode ainda ser elevado, demandando estratégias mais elaboradas de financiamento.

Outro ponto relevante é o fato de que a geração por meio desse tipo de processo pode não ser constante, sobretudo se houver variação significativa no fluxo de matéria-prima, no caso, os efluentes que abastecem a ETE, ou capacidade operacional das instalações.

Com relação a aspectos técnicos envolvendo os mecanismos de armazenamento e distribuição do biogás produzido, em geral estes apresentam maior grau de complexidade e podem demandar medidas extras de segurança em sua operação, assim como maior qualificação dos profissionais envolvidos.

Embora a estratégia estudada seja considerada uma fonte de energia limpa e renovável, ainda assim podem ocorrer pequenas emissões de GEE, quase sempre na forma de CO₂.

4.2.3.Desafios para o futuro

No geral, e baseado nos dados pesquisados, é possível afirmar que as vantagens associadas são significativas e ensejariam estudos mais aprofundados no sentido de viabilizar estratégias e políticas públicas de incentivo para a implantação deste tipo de solução.

Neste caso, o maior desafio, e possivelmente também a grande oportunidade para este tipo de aproveitamento, seria equacionar de forma sustentável para o longo prazo as estratégias de investimento e implantação dos sistemas de saneamento básico no país.

Como foi apontado nos dados sobre saneamento, é preciso rever o modelo, de modo a incorporar outras agendas ao saneamento, como é o caso da produção associada de combustíveis renováveis e geração de energia elétrica.

Para que isto se torne realidade, também é preciso enfrentar a questão da falta de sinergia entre as diversas esferas de planejamento e decisão, tanto no setor público como no privado. Não existe um planejamento integrado que considere as diversas áreas envolvidas. Planejamento urbano, saneamento básico, energia, desenvolvimento sustentável e meio ambiente são tratados como assuntos estanques.

Predomina ainda uma abordagem de planejamento meramente setorial, em detrimento de soluções integradas.

Isto traz dificuldades em diversas outras questões. Uma delas, sem dúvida, diz respeito às questões dos marcos legais e regulatórios. Existe ainda grande contradição e falta de complementariedade, provocando dificuldades para aprovar, financiar e construir este tipo de empreendimento.

Faltam também estratégias mais sólidas de incentivo para fomentar este tipo de iniciativa. Em geral, os incentivos são estruturados de forma pontual, descontínua e pouco coerente. Não há uma política pública generalizada de incentivo de formas alternativas de energia. Os incentivos são dados para casos específicos e continuam mesmo quando a forma incentivada já não os necessita mais, o que prejudica outras formas ainda em processo de estruturação e maturação.

Outro gargalo relevante é a falta de qualificação técnica do setor. Há pouca interação entre os setores acadêmico e o produtivo. Faz-se necessário criar mecanismos para melhorar a troca e consolidação de informações no setor, melhorando a formação de pessoal técnico para o mercado.

As possibilidades envolvidas na associação entre os setores de saneamento e produção de energia renovável e limpa são bastante promissoras, mas demandam um posicionamento mais claro, sobretudo na elaboração de políticas públicas, para que efetivamente se tornem viáveis.

5. Conclusões

O estudo realizado serviu como um balizador a respeito das questões básicas envolvidas na temática do aproveitamento de resíduos provenientes do processo de tratamento de efluentes domésticos para a produção de biocombustíveis e geração distribuída de energia elétrica. No entanto, também apontou uma série de questões que demandariam pesquisas mais extensas.

A primeira dessas questões, seguramente diz respeito à quantificação e qualificação das estações de tratamento de esgoto existentes visando sua utilização para fins energéticos. Dada a grande variedade de condições populacionais e sua distribuição no território brasileiro, seria necessário um estudo específico para avaliar a real viabilidade técnica de implantação sistemática desse tipo de modelo.

A segunda questão seria um aprofundamento a respeito dos detalhes tecnológicos envolvidos. Como apontado no estudo, apesar de possuir um longo histórico de utilização, em sua atual conformação esse tipo de sistema apresenta uma significativa complexidade, o que demandaria compreender melhor seus detalhes operacionais.

Uma terceira questão suscitada pelo estudo foi a necessidade de se consolidar pesquisas a respeito das políticas públicas existentes para avaliar seus pontos fortes e fracos, de modo a poder delinear parâmetros mais claros visando ao fomento de ações futuras.

Uma quarta questão observada diz respeito a metodologias para análise de viabilidade técnico-financeira de empreendimentos deste tipo.

Levando-se em conta toda a complexidade que este tipo de aproveitamento pode suscitar, faz necessário conhecer melhor ferramentas e modelos de análise para determinar em que situações este tipo de aproveitamento é vantajoso ou não.

Por fim, também se considera de muita relevância, a análise de casos reais de implantação deste tipo de aproveitamento, visando identificar na prática boas práticas, assim como problemas decorrentes da má aplicação da tecnologia.

6. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT/NBR-10004. Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BLEY Jr., Cícero. **Biogás: a energia invisível**. São Paulo: CIBiogás, 2015.

BRASIL, Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2014**. Brasília: SNSA/Ministério das Cidades, 2016.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Petrobras. **Biocombustíveis. 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado**. Brasília: MME/Petrobras, 2007.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 / Ministério de Minas e Energia**. Brasília: MME/EPE, 2015.

BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. IBGE: Rio de Janeiro, 2002.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília (DF), 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20072010/2009/Lei/L12187.htm> Acesso em: 28/10/2016.

BRASIL. Decreto Federal n. 7390, de 09 de dezembro 2010. Regulamenta os artigos. 6, 11 e 12 da Lei n. 12.187 /2009, que institui a Política Nacional

sobre Mudança do Clima, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PROBIOGÁS. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto.** Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015.

COSTA, David Freire da. **Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás proveniente do tratamento de esgoto.** Dissertação (Mestrado). São Paulo: USP, 2006.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum.** Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

COELHO, Suani Teixeira (org.). **Atlas de Bioenergia do Brasil.** São Paulo: CENBIO / USP / MME, 2008.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Editora Atlas, 2002.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Situação do Saneamento no Brasil.** Disponível em: <www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>. Acessado em: 12/09/2016.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento - 2015.** Disponível em: <www.tratabrasil.org.br/ranking-saneamento>. Acessado em: 12/09/2016.

PENTEADO, Hugo. **Ecoeconomia: uma nova abordagem.** São Paulo: Lazuli Editora, 2008.

ROCHA, André. **Produção de biogás – conheça as vantagens desta fonte de energia alternativa.** Disponível em: <

<http://www.portalogropecuario.com.br/administracao-rural/energia-alternativa/producao-de-biogas-conheca-as-vantagens-desta-fonte-de-energia-alternativa>>. Acessado em 24/10/2016.

ROYA, Bruno; FREITAS, Eduardo; BARROS, Evandro; ANDRADE, Fábio; PRAGANA, Michael; SILVA, Djalma José Alexandre da. **Biogás – uma energia limpa**. Revista Eletrônica Novo Enfoque, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142 – 149.

SANTOS, Aracele Vieira. **Remoção, tratamento e valoração de espuma proveniente de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto doméstico**. Tese (doutorado). Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, 2014.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva**. Novos estudos - CEBRAP, São Paulo, n. 79, Nov.,2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_Arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 25/09/2016.