

II-206 – BIORREFINARIA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM A PRODUÇÃO DE BIOPRODUTOS NO CONCEITO DE ECONOMIA CIRCULAR

Mauro D. Berni ⁽¹⁾

Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos, Pesquisador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Cora Coralina, 330, UNICAMP, Campinas – SP - MG - CEP: 13083-896 - Brasil - Tel: (19) 3521.1268 - e-mail: mberni@unicamp.br

Paulo C. Manduca ⁽²⁾

Doutor em Sociologia, Pesquisador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Cora Coralina, 330, UNICAMP, Campinas – SP - MG - CEP: 13083-896 - Brasil - Tel: (19) 3521.1268 - e-mail: manduca@unicamp.br

RESUMO

O lodo biológico produzido em estações de tratamento de esgoto (ETE) pode representar mais de 50% dos custos operacionais de uma ETE. Associado a isto, a destinação inadequada desse resíduo em lixões e aterros sanitários controlados são vistos como um problema ambiental que acarreta em prejuízos para o meio ambiente e saúde pública. Nesse sentido, a busca por novas tecnologias de valorização deste resíduo deve ser priorizada. Em contraste a isto no Brasil, países europeus exigem que os lodos sejam utilizados para produção de energia ou submetidos a processos para a obtenção de bioprodutos de maior valor agregado. Estudiosos do assunto indicam que as ETEs, devem ser vistas como potenciais biorrefinarias incorporando os conceitos da economia circular no saneamento, modeladas para recuperação de bioprodutos de alto valor agregado. O objetivo deste trabalho foi o de propor uma metodologia “enxuta”, internalizando os conceitos de biorrefinaria e de economia circular, visando determinar o potencial técnico da recuperação de bioprodutos de alto valor agregado (biogás, fertilizantes e água de reuso) para uma ETE de município de médio porte no Estado de São Paulo.

PALAVRAS-CHAVE: Biorrefinaria, Economia Circular, Saneamento, Bioprodutos, Potencial Técnico.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o manuseio e descarte do lodo proveniente das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é considerado um problema ambiental, pois conforme NASCIMENTO (2022) apud NIZAMI et al. (2017), na maioria dos países em desenvolvimento, o lodo biológico residual é descartado em lixões ou aterros sanitários controlados, sem qualquer controle ou regulamentação. Em contraste a isso, países europeus exigem que estes compostos sejam utilizados para produção de energia ou submetidos a processos para a obtenção de bioprodutos de maior valor agregado. A partir de iniciativas como essas, conforme discorre GIACOMO e ROMANO (2022), as ETEs podem ser vistas como potenciais biorrefinarias incorporando os conceitos da economia circular no saneamento, modeladas para recuperação de bioprodutos de alto valor agregado.

Não obstante, a aprovação do Novo Marco Legal do Saneamento (NMLS) pelo Governo Federal em 2020, cuja meta é alcançar a universalização até 2033, garantindo que 99% da população tenha acesso à água potável e 90% ao tratamento e a coleta de esgoto, bem como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010, que tem como objetivo principal o gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil, serem importantes instrumentos regulatórios na busca da universalização do serviço de saneamento no Brasil, a expansão dos serviços de saneamento, deve ser acompanhada por um aumento do nível de eficiência operacional na prestação do serviço com custos decrescentes.

Neste contexto, as biorrefinarias em saneamento incorporando os conceitos da economia circular, será imprescindível para a competitividade do setor de saneamento e garantir perenidade em uma nova cadeia de valor

OBJETIVO

O lodo de esgoto de ETEs é uma biomassa residual a ser utilizada para produzir novos recursos renováveis, que podem entrar na própria cadeia produtiva ou como matéria-prima em outros setores econômicos. O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia “enxuta”, internalizando os conceitos de biorrefinaria e de economia circular, visando determinar o potencial técnico da recuperação de bioprodutos de alto valor agregado (biogás, fertilizantes e água de reúso) de uma ETE de município de médio porte no Estado de São Paulo.

METODOLOGIA

O estudo e avaliação dos potenciais técnicos da biorrefinaria, anexa, a ETE, tem como base, banco de dados de uma ETE localizada em município de médio porte do Estado de São Paulo, para a qual foi realizado estudo de viabilidade técnico econômico, visando a instalação de um sistema híbrido de geração de energia, utilizando o software Homer. Os resultados do referido estudo, estão publicados em Journal of Environmental Management, Volume 305, 1 March 2022, 114389, em artigo intitulado “*Design and techno-economic analysis of a hybrid system for energy supply in a wastewater treatment plant: A decentralized energy strategy*”.

Além disso, a metodologia adotada contempla a pesquisa aos arquivos públicos e análise dos documentos e revisão bibliográfica sobre o tema saneamento básico, meio ambiente, tecnologias de geração de energia e o aproveitamento energético de lodos e o processamento de bioprodutos em biorrefinarias. Segue-se o desenho da biorrefinaria e cálculo dos potenciais técnicos de recuperação de bioprodutos e bioenergia, a saber:

- i) PTE: potencial técnico para geração de biogás e eletricidade;
- ii) PTF: potencial técnico de produção de digerido (fertilizante); e
- iii) PTA: potencial técnico para produção de água bruta para reúso.

O conhecimento dos potenciais técnicos é um dos pilares fundamentais para que sejam identificadas e direcionadas as ações apropriadas para que os mesmos possam ser efetivamente aproveitados. Este conhecimento, em conjunto com um portfólio adequado de políticas e o monitoramento de processos produtivos, compõe a abordagem sistêmica necessária para a valorização do resíduo “lodo”. O potencial teórico não considera aspectos tecnológicos, enquanto o potencial técnico leva em conta as restrições tecnológicas e os marcos regulatórios a serem considerados.

A quantidade de lodo gerado por ano na ETEbase é calculado pela equação (1).

$$Q_{\text{lodo}} (\text{ton}) = \frac{[\text{produção lodo} (\frac{\text{kg}}{\text{hab dia}}) \cdot \text{população} (\text{hab}) \cdot 360 (\text{dia})]}{1000} \quad (1)$$

O potencial técnico de energia de lodo da ETEbase (PTE) é calculado para as alternativas i) incineração direta – equação (2) e ii) produção de biogás equações (3) e (4).

$$PTE_{\text{incineração}} (\text{MJ}) = Q_{\text{lodo}} (\text{ton}) * PCI_{\text{lodo}} (\frac{\text{MJ}}{\text{ton}}) \quad (2)$$

$$Q_{\text{biogas}} (\text{m}^3) = Q_{\text{lodo}} (\text{ton}) * 9.86 \frac{\text{m}^3}{\text{ton}} \quad (3)$$

$$PTE_{\text{biogas}} (\text{MJ}) = Q_{\text{biogas}} (\text{m}^3) * PCI_{\text{biogas}} (\frac{\text{MJ}}{\text{N m}^3}) \quad (4)$$

Nos cálculos do PTF e PTA, utilizam-se informações tabuladas em estudo de tratamento de esgotos de VON SPERLING (2001), quando ao afluente de um sistema de tratamento anaeróbico com reator UASB, a saber: i)

lodo resultante de centrifugação apresenta um teor de sólidos médio de 25%; e ii) extração de água para reúso de 75% equações (5) e (6).

$$PTF \text{ (ton)} = Q_{\text{lodo}} \text{ (ton)} * 0,25 \quad (5)$$

$$PTA \text{ (ton)} = Q_{\text{lodo}} \text{ (ton)} * 0,75 \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste estudo de caso demonstram que os potenciais técnicos PTE, PTF e PTA, devem ser considerados como referências preliminares para a tomada de decisão na elaboração de projetos “learn” para o uso de lodo de ETEs. Os excedentes, em relação ao consumo próprio, da eletricidade gerada podem ser vendidos à rede pública e bioprodutos absorvidos pela economia regional. Os potenciais técnicos PTE, PTF e PTA são métricas que serão ferramentas de dimensionamento de ETE nesta nova conjuntura brasileira. Estes potenciais servirão com benchmarking para as atuais e futuras ETE.

A quantidade e qualidade do lodo produzido por uma ETE depende da vazão de esgoto tratado, das características do esgoto, do tipo de tratamento e da operação da ETE. O tratamento de esgotos gera lodos cujo aproveitamento permitem a recuperação de materiais gasosos, líquidos e sólidos.

Os resultados e discussões apresentados a seguir, mostram os potenciais técnicos PTE, PTF e PTA, que devem ser considerados como benchmarkings preliminares para a tomada de decisão na elaboração de projetos “learn” de aproveitamento de lodos em ETEs, através de sistemas híbridos.

Para o estudo de caso, tem-se como premissa informações do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município onde está localizada a ETEbase. De acordo com o PMSB, estima-se que 80% do volume de água consumido pela população é posteriormente coletado sob forma de esgoto doméstico. Para um consumo per capita de água de 188 l/hab.d, têm-se a geração diária de esgotos per capita 150 l/hab.d.

A produção anual de lodo da ETEbase com a tecnologia de lodo ativado com aeração prolongada (LAAP) (Qlodo), considera-se o valor médio obtido em balanço de massa teórico de uma produção de lodo de 0,29 kg/hab.dia, base seca, (VON APERLING, 2001) com o atendimento de 65% da população que possui coleta e tratamento (58.500 habitantes), através da equação (1).

A produção de lodo efluente da ETEbase no ano de 2018 foi de 6.192 toneladas.

O aproveitamento energético do biogás derivado de ETEs é uma prática adotada por vários países. O biogás pode ser destinado à queima direta para gerar energia térmica (incineração) ou pode ser convertido em energia elétrica em motores de combustão externa, turbinas a gás e microturbinas. Essa utilização do biogás, além de evitar a emissão do gás metano à atmosfera, representa uma nova alternativa na matriz energética do país. A redução dos gases de exaustão também acaba com o forte odor oriundo da digestão anaeróbia do lodo (CETESB, 2016).

O PTE da alternativa incineração do lodo é calculado conforme a equação (2), considerando o PCI do lodo de 2 MJ/kg, desidratado em filtro prensa com umidade final de 58,7% (ROSA et al., 2016; LOBATO, 2011).

O PTE com incineração do lodo da ETEbase é de 12,4 MJ

Para o cálculo do PTE do biogás, considera-se potencial energético observado por QUEIROZ et al. (2018) em estudo de biodigestores UASB na CEDAE, Estação de Tratamento de Esgoto da Penha, RJ, da ordem de 9,86 m³ de biogás por tonelada de substrato. Através das equações (3) e (4), calcula-se respectivamente, a produção de biogás (m³) e o PTEbiogás (MJ).

O PTE com biogás do lodo da ETEbase é de 1.312.640 MJ.

Das alternativas de aproveitamento do lodo da ETEbase, verifica-se que o PTE do biogás indica uma opção mais promissora e, portanto, ser a escolhida para aprofundamento de estudos do potencial econômico. Com o aproveitamento energético do biogás obtido a partir do lodo da ETEbase, os benefícios esperados para a ETEbase relacionam-se com a redução de despesas com energia elétrica; redução da produção de lodo global; acréscimo na eficiência do tratamento de esgoto; redução de emissões de GEE e o aumento da sustentabilidade energética global.

Nos cálculos do PTF e PTA, utiliza-se informações tabuladas em estudo de tratamento de esgotos de VON SPERLING (2001), quando ao aflente de um sistema de tratamento anaeróbio com reator UASB, a saber: i) lodo resultante de centrifugação apresenta um teor de sólidos médio de 25%; e ii) extração de água para reuso de 75%. O eventual decaimento do total de lodo da ETEbase de 6.192 toneladas por ano foi desprezado para calcular o PTF e PTA (Equações 5 e 6).

O PTF biossólido na forma de fertilizante é de 1.532 toneladas por ano.

O biossólido resultante após digestão anaeróbia pode ter dois caminhos. O primeiro, ineficiente, será enviar para aterro sanitário controlado. O segundo é o seu aproveitamento enquanto fertilizante. Para tanto, faz-se necessário um tratamento, visando corrigir características negativas patogênicas, ainda existente e produzir um material sólido, estável, que não seja nocivo à saúde e possa ser manuseado facilmente e com baixo custo. Os métodos utilizados para estabilizar os biossólidos gerados podem ser processos físicos, físico químicos e biológicos (JORDÃO E PESSÔA, 2014). Com a finalização da caracterização laboratorial do biossólido fertilizante, serão avaliadas as possibilidades de deslocamento de fertilizante fóssil da agricultura do entorno da ETE. Resultados serão disponibilizados em próximo trabalho.

O PTA do reuso de água PTA obtido através da equação (6) é de aproximadamente 4.644 toneladas por ano

O reuso de água não é um conceito novo e vem sendo praticado em todo o mundo em função da presença de oxigênio. O maior consumo de água e a menor disponibilidade hídrica têm feito do reuso um tema de grande importância. Tem sido crescente a consciência do uso racional da água, necessidade de redução de perdas, desperdícios e do reuso de efluentes tratados.

Foi aprovado pelo Senado Federal Brasileiro o Projeto de Lei (PL) 4.162/2019 cujos objetivos são centralizar a regulação dos serviços de saneamento básico e instituir a obrigatoriedade de licitações e regionalizar a prestação a partir da montagem de blocos de municípios (SENADO FEDERAL, 2020). O PL estende os prazos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305, de 2010) para que as cidades encerrem os lixões a céu aberto. Os novos prazos iriam até 2021 para capitais e regiões metropolitanas e, até 2024 para municípios com até 50 mil habitantes.

No Brasil as principais aplicações de reuso de água tem sido através da irrigação de áreas cultiváveis; aspersão de áreas de parques e campos esportivos; reuso nas atividades do setor de saneamento; uso domiciliar e comercial como água não potável; reuso industrial; recarga artificial de aquíferos; uso público; uso na construção civil e reservação com fins recreacionais.

O resultado do PTA é inicial e no momento, simulações estão sendo executadas para avaliar a superfície vegetal que pode ser irrigada, considerando a variável de contorno evapotranspiração e desconsideração do parâmetro precipitação. Resultados serão disponibilizados em próximo trabalho.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A utilização do conceito de potenciais técnicos para o projeto e/ou retrofit de ETES, ainda é uma prática pouco difundida no Brasil. A superação do enorme déficit que o país tem em coleta e saneamento traz, em sua esteira, um potencial significativo de bioprodutos que podem ser gerados com o substrato do lodo. Nesse caso, existem mecanismos de incentivo que podem garantir que as ETES atuais e futuras sejam consideradas biorrefinarias.

Os esgotos constituem uma fonte importante para a geração de biogás pelo alto teor de matéria orgânica, água de reuso e fertilizante orgânicos. Esta prática ainda é pouco difundida nas ETES do Brasil. A superação do

enorme déficit que o País tem na coleta e tratamento dos esgotos traz, em seu bojo, um potencial significativo de geração de energia elétrica com o biogás que pode ser gerado com este substrato, cabendo mecanismos de fomento que possam assegurar que as atuais e futuras ETEs contemplem a integração de sistemas híbridos sob o conceito de biorrefinaria em ETEs. Estudos continuam a serem executados tendo o presente trabalho, indicativos metodológicos, visando estabelecer *benchmarks* para *retrofits* ou novos projetos de ETEs, aderentes a economia circular através da recuperação de materiais de lodos gerados, mitigando impactos ambientais com a geração de emprego e renda.

AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energética (NIPE), UNICAMP pelas instalações e apoio de infraestrutura computacional. À PRP UNICAMP pelo bolsa do Programa SAE-BAS e Solicitação PRP/UNICAMP 2327/20.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo; Biogás: projetos e pesquisas no Brasil, CETESB responsável técnico João Wagner Silva Alves, São Paulo: SMA, 2016, 184 p.
2. GIACOMO G. D., ROMANO P., Evolution and Prospects in Managing Sewage Sludge Resulting from Municipal Wastewater Purification, *Energies* 2022, 15, 5633. <https://doi.org/10.3390/en15155633>, <https://www.mdpi.com/journal/energies>, 2022.
3. JORDÃO, E.P e PESSÔA, C.A., Tratamento de Esgotos Domésticos. 7ª ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2014, 1087 p.
4. LOBATO, L. C. S., Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico, Orientador: Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, Tese (doutorado), Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2011, 184 p.
5. NASCIMENTO, E. C. P., Recuperação de bioprodutos de lodo granular aeróbio e de consórcio granular algal-bacteriano, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2022, 90 pp.
6. NIZAMI, Abdul-Sattar et al. Waste biorefineries: enabling circular economies in developing countries. *Bioresource technology*, v. 241, p. 1101-1117, 2017.
7. QUEIROZ et al., Caracterização da Produção de Biogás a Partir da Biodigestão de Lodo de Esgoto, VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, RS, 2018, 10 p.
8. ROSA, A. P. et al., Energy potential and alternative usages of biogas and sludge from UASB reactors: case study of the Laboreaux wastewater treatment plant (Itabira), *Eng Sanit Ambient*, v.21, n.2, abr/jun, 315-328, DOI: 10.1590/S1413-4152201612332, 2016.
9. SENADO FEDERAL, 2020, PL 4.162/2019, Marco Regulatório do Saneamento, Disponível: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/04/06/novo-marco-do-saneamento-basico-pode-ser-votado-no-combate-ao-coronavirus>, Acessado: março 2023.
10. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2001, 452 p.