



283 - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMO INSTALAÇÃO DE RECUPERAÇÃO DE RECURSOS

Rosane Ebert Miki⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Santa Maria – RS em 1988. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP/São Paulo em 1992. Engenheira da Sabesp desde 1994. Coordenadora de Pesquisa e Desenvolvimento, de 1997 a 1999. Gerente de Operação e Manutenção de ETEs de 1999 a 2006. Atualmente, Engenheira do Deptº de Prospecção Tecnológica e Propriedade Intelectual-TXP, da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação-TX.

Marcelo Kenji Miki⁽²⁾

Engenheiro Civil, e Mestre pela Escola Politécnica da USP. Gerente de Departamento na SABESP da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação/TX. Coordenador Adjunto da Câmara Temática de Tratamento de Esgoto da ABES.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros – São Paulo - SP - Brasil – CEP: 05429-000.

Tel.: +55 (11) 33889543 - Fax: +55(11) 33888695 - e-mail: rebert@sabesp.com.br

RESUMO

No passado a abordagem das políticas ambientais era focada na questão de controle no “final do tubo”, ou ainda, no controle das emissões de fontes de poluição. No entanto, em função da exaustão dos recursos naturais e da necessidade de redução de emissões, esta abordagem evoluiu para análise do ciclo de vida e o foco passou a ser a recuperação de recursos, com o uso do biogás, produção de biossólidos e água de reuso. Surgem assim, denominações para as ETEs como instalação de recuperação de recursos e ETEs sustentáveis. O setor de saneamento, em parte, sempre procurou praticar o reuso, a disposição agrícola de lodo, a preservação dos recursos hídricos, aproveitamento da energia disponível no biogás, ainda que de forma isolada, etc. Assim, certas abordagens não são necessariamente novas para o setor e muito do que se prega na economia circular já tem ocorrido.

PALAVRAS-CHAVE: esgoto, recuperação de recursos, economia circular

INTRODUÇÃO

A economia circular é baseada no princípio de manutenção do valor dos produtos, materiais e recursos pelo maior tempo possível, minimizando o descarte e o uso de novos recursos (adaptado de EC, 2017). Assim, ao final da vida útil, um produto pode ser reaproveitado para criar novo valor (CAPODAGLIO, 2017). As principais razões para a implementação de uma economia circular na Europa incluem: limitada disponibilidade de matérias-primas, a dependência da economia europeia à importação de matérias-primas (preços elevados, volatilidade do mercado, a situação política incerta em países selecionados) e diminuição da competitividade da economia europeia na economia global.

As ETEs podem ser uma parte importante da sustentabilidade circular devido à integração da produção de energia e recuperação de recursos durante a produção de água limpa (RASHIDI, H, 2015; MO, W. AND ZHANG, 2013), onde produtos, materiais (e matérias-primas) devem ser utilizados o maior tempo possível e os resíduos ser tratados como matérias-primas secundárias que podem ser recicladas e reusadas. Esta concepção, distingue-se de uma economia linear, com base no sistema de, 'tomar-fazer-usar-dispor', no qual resíduo é geralmente a última fase do ciclo de vida do produto. Atualmente, os principais catalisadores para o desenvolvimento da indústria de águas residuais são necessidades globais de nutrientes e de água e energia, a ser recuperada do esgoto.

No setor de saneamento básico, nos últimos anos, vem ocorrendo um movimento que é a abordagem de se considerar a Estação de Tratamento de Esgoto como fonte de Recursos, realçando a Sustentabilidade. Assim, no Editorial da WE&T de Nov de 2017, a publicação da WEF descreveu em julho de 2012, o anúncio da mudança de terminologia de “wastewater treatment plant” (estação de tratamento de esgoto) para “water



resource recovery facility” (WRRF) (instalação de recuperação de energia) e em 2014 a adoção oficial. Pouco menos de 5 anos após a implantação desta nova nomenclatura, muitos atores do setor da cadeia de saneamento apoiaram a ideia e adotaram ações concretas, como por exemplo:

- Muitas instalações incorporaram suas denominações de forma a incluir a recuperação de recursos ou água limpa.
- Autossustentáveis (Energia Neutra) ou com Energia Positiva tornaram-se realidade ao redor do mundo.
- Produção de água em estações para recarga de aquíferos ou estações de tratamento avançada

De modo semelhante, na Dinamarca, as ETES são vistas como uma fonte de recuperação de recursos naturais, destacando-se o projeto denominado VARGA (VAnd Ressource Genindvindings Anlæg), traduzindo Estação de recuperação de recursos naturais. Neste projeto está sendo avaliado e testado como a aplicação do conceito de economia circular pode auxiliar as ETES a se tornarem produtoras de energia e recuperar nutrientes dos esgotos e do lodo para uso na produção agrícola, incorporando o uso de outros resíduos domésticos biodegradáveis e a adoção de inovações tecnológicas (BIOFOS, 2018).

No Brasil, com o mesmo conceito, vem-se popularizando o termo ETES Sustentáveis, que é o nome dado ao INCT- Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia, pertencente ao Programa Federal do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/CNPq. Este INCT concorreu com outras centenas de propostas, tendo o privilégio de ser escolhida e representar o setor de conhecimento saneamento básico. A instituição líder do INCT ETES Sustentáveis é a UFMG, sob coordenação do Professor Carlos Chernicharo.

Neste trabalho, serão apresentados os conceitos da economia circular aplicados ao saneamento, interfaces com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), algumas experiências/iniciativas de instalações de recuperação de recursos, ilustrando com experiências/iniciativas da Sabesp.

OBJETIVO

Através de conceitos de economia circular e sua importância no ciclo do saneamento, estabelecendo uma relação entre tratamento de esgotos e recuperação de recursos, como água, nutrientes e energia, apresentam-se conceitos, princípios com base em experiências e iniciativas internacionais e nacionais, que vem sendo realizadas ao longo dos anos para recuperação de recursos do esgoto, ainda, que às vezes de forma isolada e menos abrangente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e setor de saneamento

Em setembro de 2015, líderes mundiais reuniram-se na Sede da ONU/Organização da Nações Unidas em Nova York para estabelecer plano de ação para erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que as pessoas alcancem a paz e a prosperidade: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, a qual contém o conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Para o setor de saneamento, o Objetivo nº 6: Água Potável e o Saneamento - assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, é o mais impactante. O cumprimento das metas de fornecer saneamento para todos (meta 6.2) e reduzir para metade a proporção de esgotos não tratados (meta 6.3), podem afetar significativamente a demanda de energia, devido à profunda ligação entre energia e disponibilização de água. Segundo Outlook (WEO, 2018), o setor de água que, que inclui a coleta e tratamento de esgoto, é responsável por 4% do consumo total da energia elétrica global, sendo, o tratamento de esgotos, responsável por cerca de um quarto do consumo de energia elétrica deste do setor. Além disso, algumas estimativas colocam que o setor de esgotos contribui com 3% das emissões de gases de efeito de estufa. No entanto, também existem oportunidades significativas para produzir energia, aproveitando a energia incorporada nas águas residuais.

Além, do Objetivo 6, dois outros três objetivos contribuem, de forma mais significativa, para implantar economia circular e desenvolver o setor de saneamento:

- Objetivo 17 - Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável, que estabelece uma série de metas e deixa explícito a mobilização de recursos financeiros para o estabelecimento de Parcerias Internacionais. Aliada a esta mobilidade de recursos financeiros, entende-se, que nosso setor carece de bons projeto, bem como de mecanismos de acesso a entidades relevantes de âmbito internacional devidamente capacitadas.
- Objetivo 7 - Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos, pode causar um certo conflito com ODS 6, se não forem tomadas medidas para evitar, minimizar e mitigar impactos. Por exemplo, o aumento do acesso a serviços modernos de energia (7.1), pode ter um certo impacto negativo com disponibilizar água com qualidade (6.3), uso sustentável de água (6.4) e ecossistemas. Da mesma forma, impactos negativos em recursos hídricos podem ser biocombustíveis, com algumas formas de energias renováveis (7.2), como hidroelétrica ou que utilizam muita água em seu processo produtivo. Porém, a adoção de tecnologias que utilizam processos anaeróbios e produzem biogás, que é uma fonte de energia renovável com pegada negativa de carbono, contribuem de forma positiva para disponibilização de energia limpa, seja na forma de eletricidade, calor ou combustível. Além disto, a melhoria da eficiência energética (7.3), com melhor controle e otimização dos processos produtivos, pode levar a redução do consumo de energia.
- Objetivo 9 - Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação, tem como componente a Inovação como indutor do Desenvolvimento Sustentável, que pode contribuir para incorporação soluções inovadores e com menor impacto ambiental. Neste sentido, destacamos a meta 9.5, fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento.

Em suma, nosso setor de saneamento vem recebendo o devido apoio em termos financeiros e de parcerias, seja de órgão de fomento/financiamento nacionais ou internacionais. É de nossa responsabilidade colaborar para construirmos projetos sustentáveis, que otimizem os insumos e priorizem a recuperação de recursos e incorporem Inovação Tecnológica.

O Contexto da economia circular no saneamento e evolução da abordagem ambiental

No passado a abordagem das Políticas Ambientais era focada na questão de controle no “final do tubo”, ou ainda, no controle das emissões de fontes de poluição. Desta forma, para as ETÉs, eram estabelecidos os padrões de lançamento e manutenção do corpo receptor. Esta abordagem evoluiu ao longo dos anos até encontrar na Análise do Ciclo de Vida seu estágio mais avançado, muito em função da exaustão dos recursos naturais e da necessidade de redução de emissões. Neste contexto, vem surgindo um movimento denominado de Economia Circular, onde do ponto de vista teórico, não mais existiria os resíduos e sim sua transformação e inserção como matéria prima de um novo ciclo de fabricação. Este movimento está evoluindo do questionamento do O QUE para o COMO será feita esta economia circular.

Na figura 1, fluxograma de um modelo de Economia Circular, onde o próprio conceito de resíduo deixa de existir, conforme EMF, McKinsey (2013) apud De Angelis (2018), que se contrapõe a Economia Linear, controle no “final do tubo”, ou ainda, no controle das emissões de fontes de poluição, conforme colocado anteriormente.

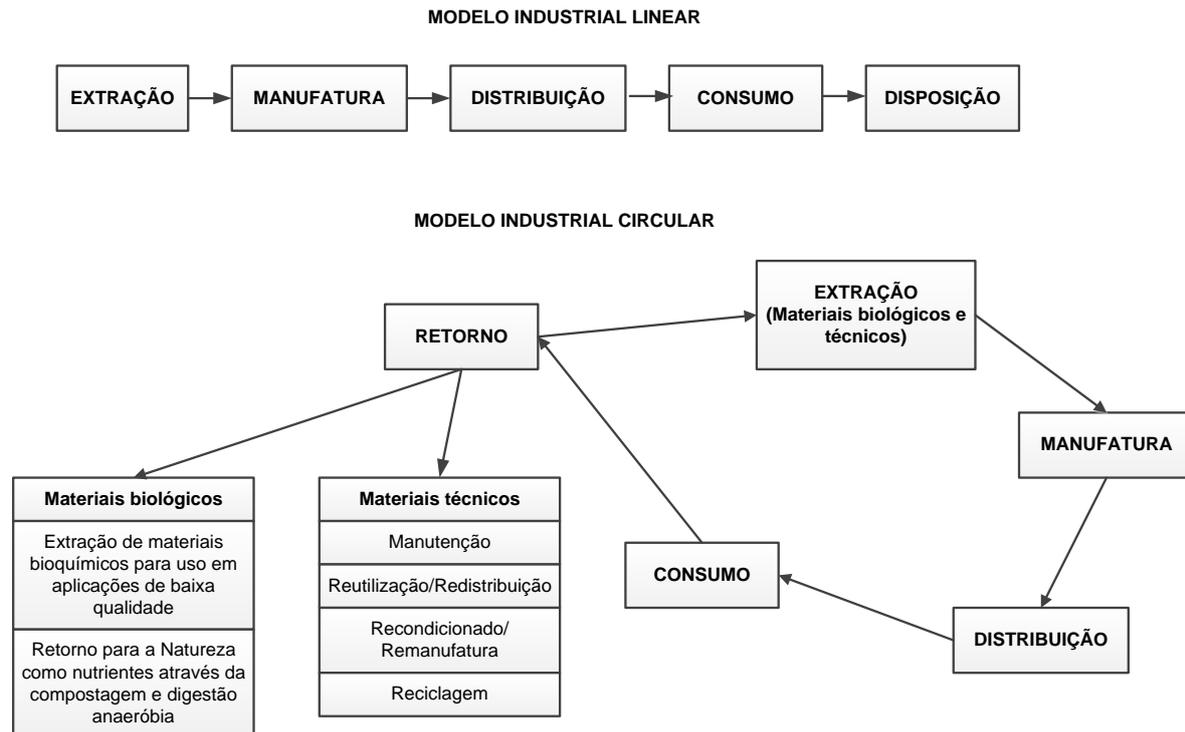


Figura 1 - Modelo Industrial Linear versus Modelo Circular.

Fonte: EMF, MC KINSEY (2012) apud DE ANGELIS, R. (2018)

O tratamento de esgotos é uma parte essencial da gestão da água em um modelo de economia circular. Apesar da evolução e esforços, o tratamento de esgotos enfrenta muitos desafios ao redor do mundo, e sua insuficiência é considerada um dos principais problemas relacionados com a água (ARDAKIAN ET AL., 2015). O nível médio de tratamento de águas residuais se aproxima de 70 % em países de alta renda, enquanto é de 38 % por cento em países de renda média alta e 28 % em países de renda média baixa (JORGE ET AL., 2015). Menos de 5 por cento da água é reutilizado em todo o mundo (VEOLIA, 2015).

Muitos acreditam que a próxima geração de infraestrutura de água e de águas residuais deverá estar cada vez mais "ligada" à economia circular. Os avanços na tecnologia de tratamento de esgotos estão possibilitando uma recuperação mais eficiente e efetiva da energia, de nutrientes, na forma de produtos e de outros recursos. No entanto, a governança de tais práticas ainda suscita muitas questões. As tecnologias que «fecham o ciclo» para o tratamento de esgoto e estabelecem conexão com outros setores (energia e agricultura), reúnem também uma série de políticas e regulamentos. As interações entre estas diferentes esferas de política criam inúmeras lacunas e sobreposições nos requisitos regulatórios, que têm um impacto marcante na viabilidade geral da utilização dessas tecnologias (adaptado de FLORES, 2018). Em última análise, os mecanismos de governança determinam como e onde os principais intervenientes podem concretizar o valor das abordagens da economia circular, ou seja, recuperar recursos e usar e/ou ofertar para o mercado e assim criar valor.

O Setor de Saneamento, em parte, sempre procurou caminhar de práticas como reuso, disposição agrícola de lodo no solo, preservação dos recursos hídricos, aproveitamento da energia disponível no biogás, ainda que de forma isolada, etc. Assim, no Setor de Saneamento, certas abordagens não são necessariamente novas e muito do que se prega na Economia Circular já tem ocorrido, como por exemplo, quando se faz o uso benéfico de lodo no solo, produção e utilização de água de reuso, uso de biogás para geração de elétrica, calor e energia ou biometano. No entanto, não há um uso sistemático desta prática em todas as ETEs, por razões diversas: necessidade de viabilidade do investimento para geração destes produtos; regulamentação para comercialização dos produtos gerados; necessidade de incorporação de inovação e em alguns casos, tecnologias não disponíveis no mercado nacional.

Com os incentivos decorrentes deste movimento de sustentabilidade, certos setores da economia querem trazer soluções mais individuais para o saneamento, de modo a tentar acelerar a universalização. Entende-se que as ETEs tradicionais podem e devem contribuir neste novo cenário de soluções tecnológicas.

Como outros setores diversos da Economia começaram a aderir a estes ideais e princípios, o Setor de Saneamento pode contribuir tanto como indutor, como inserir-se nesta matriz econômica de forma a possibilitar o retorno dos materiais biológicos no ciclo produtivo.

RESULTADOS

Considerações sobre algumas experiências da Sabesp de reaproveitamento da energia do lodo e biogás

Com relação ao tratamento de lodos, no caso de tratamento em digestores anaeróbios, o uso de técnicas de lise celular, antes do digestor ou de digestores anaeróbios de super alta taxa, a exemplo dos utilizados na Alemanha, obtém-se maior redução de sólidos, maior produção de biogás, menor volume de lodo gerado e como consequência, ganhos energéticos, de forma a contribuir para o balanço positivo de energia. Após, a digestão, para obtenção de um produto, seja para uso agrícola ou insumo processo industrial, os caminhos tecnológicos, em geral são compostagem, secagem térmica, incineração e/ou pirólise, cuja escolha, deve considerar atendimento a regulamentos e exigências ambientais, bem como balanço energético, que acaba sendo um dos fatores determinantes na escolha. Assim, em termos de energia, o tratamento de esgotos mudaria sua característica de uso intensivo de energia para baixo uso de energia, com adoção de tecnologia sustentáveis, capazes de encontrar balanço positivo e recuperação de energia.

A ETE Franca da Sabesp (SP), durante 12 anos (1999 a 2011) produziu e disponibilizou biossólidos classe B, o Sabesfértil para aplicação em culturas de café e parou de fazê-lo, em função de mudanças de legislação, que se tornou mais exigente, inviabilizando o uso do biossólido produzido. Atualmente, nesta ETE, está em desenvolvimento a avaliação de um sistema de secagem de lodo por meio de irradiação solar, composto produzido será analisado e em função dos resultados solicitado seu registro como produto no MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

Em outro projeto, implantado na ETE Lageado, em Botucatu, com capacidade para processar até 25 toneladas de lodo de esgoto por dia, a Sabesp obteve em 2018 a aprovação do Ministério da Agricultura para produção e comercialização do produto resultante da transformação do lodo de estações em fertilizante orgânico, o Sabesfértil. Este fertilizante orgânico pode ser aplicado em diversos cultivos, como cana-de-açúcar, café, maçã, laranja, milho, soja. Só há restrições para cultivos em áreas inundadas, pastagens e plantas cuja parte comestível tenha contato direto com o solo – como hortaliças, tubérculos e raízes. Os estudos do Sabesfértil começaram em 2014, em parceria com a Unesp e a Fapesp. Todo o processo de produção passou por análises e estudos técnicos e o produto final está enquadrado nos padrões exigidos pelos órgãos reguladores (SABESP, 2018).

Na região metropolitana de São Paulo, a Sabesp implantou, na ETE Barueri, um projeto piloto de tratamento térmico do lodo utilizando a tecnologia do plasma na ETE, que converte o lodo em resíduo vítreo com grande potencial para reaproveitamento na construção civil, dentre outros usos. A conversão é feita a partir da exposição do lodo a altas temperaturas (em torno de 1500 °C), reduzindo o volume de resíduos a ser transportado e disposto em aterros. Também em Barueri, deve ser licitado em 2019 o projeto intitulado Waste to Energy, que tem por objetivo promover o tratamento térmico e destinação ambientalmente adequada do lodo, associada a geração de energia elétrica a partir do biogás produzido na estação, tornando a parcialmente sustentável. No caso do biometano, beneficia ainda a redução das emissões de gases de efeito estufa provenientes dos combustíveis convencionais (SABESP, 2018).

Com relação ao uso do biogás, a Sabesp opera há um sistema de beneficiamento de biogás, com produção de biometano para uso veicular, como resultado de parceria com o Instituto Fraunhofer, da Alemanha. A ETE com capacidade de tratar 470 L/s de esgoto, produz em média cerca de 3.000 Nm³/dia. O sistema de beneficiamento com capacidade de tratar 2.880 Nm³/dia e produzir até 1.700 Nm³/dia de biometano, abasteceu ao longo do ano uma frota de 18 veículos adaptados. Nesta fase de testes, foram consumidos 31.000 m³ de biometano, que equivale a substituir 33.000 m³ de álcool. Além da frota cativa, paralelamente, o biometano foi utilizado em ônibus e em veículo de passeio, próprios para rodar com gás. Na fase inicial de pesquisa, que compreende um período de dois anos, pretende-se usar em torno de 10-15% do potencial de produção de 1.500 Nm³/dia. Pelos resultados apurados de composição do biometano, com base nos monitoramentos em linha e



resultados preliminares de caracterização em laboratório, estes estão de acordo com o regulamento da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis – ANP (EBERT MIKI et al.,2019). No projeto estão produção de combustível a partir de biogás que antes era queimada (recuperação de recurso), incorporação de tecnologia para produção do biometano e substituição de combustível, contribuindo para redução de emissões, práticas estas de projeto de economia circular e de instalações de recuperação de recursos.

Biogás - oportunidades de aumento de produção e aproveitamentos com melhorias de processo

O biogás é um subproduto de processos de tratamento como o UASB e a digestão anaeróbia de lodo em ETEs convencionais de Lodos Ativados.

O UASB é um dos tipos de tratamento mais difundido no Brasil, sob grande influência da Academia que trouxe os ensinamentos pesquisador Holandês Lettinga e encontrou nas condições tropicais de nosso país um contexto favorável de temperatura. Do ponto de vista teórico o grande atrativo do UASB é menor geração relativa de lodo que outros processos e a não necessidade de injeção de energia. Do ponto de vista prático, os UASBs implantados muitas vezes carecem de bons projetos de concepção de engenharia estando sujeitos a baixa captura do biogás produzido ou ainda, a perda deste biogás através do próprio efluente, onde estaria supersaturado. Outra suposição que poderia justificar a excessiva perda de biogás no efluente poderia ser atribuída não a uma supersaturação, mas sim a microbolhas aderidas nos sólidos carregados do efluente do UASB.

Diferente do que ocorre num digestor anaeróbio de lodo, onde há uma demanda explícita de energia de aquecimento para a faixa ótima de 35°C, no UASB não há uma demanda de calor que poderia ser eventualmente aproveitado.

Na evolução tecnológica do digestor anaeróbio de lodo, o biogás era originalmente utilizado para ser utilizado em caldeira para aquecimento do lodo e o restante do biogás encaminhado para queima em flare. A evolução tecnológica ocorreu através dos motores de cogeração movidos a partir de Biogás devidamente tratados com remoção de umidade, siloxanos e H₂S, produzindo eletricidade e calor em excesso, removidos através do arrefecimento do motor ou da exaustão de gases, podendo ser aproveitados em parte para o aquecimento do lodo no digestor. Outra rota tecnológica para o uso do biogás é a geração de biometano, através dos processos de purificação de remoção de umidade, siloxanos, H₂S e CO₂, podendo ser injetado na rede de gás natural, utilização em veículos, etc. Com relação a estas possibilidades de uso do biogás, esta vai depender das necessidades locais, viabilidade técnico-econômica e ambiental, assim como do acesso às melhores tecnologias e as condições regulatórias para comercialização produtos: energia elétrica, calor e biometano.

Em termos de aproveitamento, da energia do biogás, as tecnologias atuais para produção e compressão do biometano consomem em torno de 20% da energia contida no biogás, sendo em torno de 80% desta energia transformada em biometano. Nos sistemas de cogeração em torno de 35-40% da energia do biogás é convertida em eletricidade e a outra parcela de energia é obtida na forma de calor, e a menos que seja aproveitada, é dissipada ou perdida. Os sistemas de cogeração conseguem suprir em torno de 40% da energia contida no biogás como energia para rede, o que representa em torno da metade da energia do biometano, que pode ser injetada na rede de gás natural ou utilizada como combustível veicular. Assim sendo, o uso de biogás na forma de biometano pode ser uma alternativa competitiva ao uso de biogás em sistemas de cogeração de calor e energia. O biometano apresenta a vantagem, que pode ser armazenado, transportado e ser usado de forma flexível para suprir a demanda de energia. É considerado uma energia sustentável despachável, que pode complementar outras formas de energia sustentável, mais sujeitas a flutuações como o caso da eólica e solar. (BUDZIANOWSKI ET. AL, 2017). O biometano se apresenta como solução competitiva, podendo contribuir para descarbonização dos sistemas de aquecimento e setor de transporte, para crescimento de áreas rurais e desenvolvimento da energia circular (GROPE, 2017).

Temas centrais das instalações de recuperação: o caso do fósforo

De forma a exemplificar a questão de recuperação de recursos, tem-se o caso do fósforo (P), conforme relatado por KUANGXIN (2017), através de sua dissertação de doutorado, onde a seguir são citados trechos de seu estudo.

O fósforo é um recurso limitado e não substituível para todos os processos de vida. A maior e mais fácil fonte de extração de fósforo é através da mineração e concentração de fósforo a partir de rochas de numerosos depósitos no mundo. A maior parte das rochas fosfatadas é utilizada para fertilizantes agrícolas (80%), sendo o restante utilizado para aditivos de alimentação de animais (5%) e aplicações industriais (15%), incluindo detergentes e tratamento de metais. O uso eficiente de fosfato é muito baixo. Somente 20% do fósforo utilizado na agricultura atinge o alimento que consumimos, sendo o restante perdido em etapas ineficientes do ciclo do fósforo.

De acordo com dados estatísticos da U.S Geological Survey (USGS, 2017), as reservas de rocha de fósforo são de 68 bilhões de toneladas por ano. Caso o consumo mundial de P em 261 milhões de toneladas em 2016 (44,5 toneladas de P_2O_5) continue, o minério de P explorável economicamente esgota-se em 260 anos.

Desde 1986, a aplicação de lodo de esgoto no solo na União Europeia é legislada pela Diretiva nº 86/278/EEC. Na Europa, aproximadamente 51% do lodo produzido é aplicado no solo, com destaque para Luxemburgo, França, Espanha Itália e Reino Unido. Na Holanda a aplicação de lodo de esgoto foi banida, sendo adotada a incineração ou exportação desde 1995. Na Grécia, Malta e Romênia a opção dominante é o aterro sanitário.

A aplicação agrícola de lodo no solo ainda é uma opção significativa para alguns países por um determinado período. A proporção de uso agrícola de lodo nos EUA sempre foi significativa, totalizando entre 60-66% em 2015. Na China a aplicação de lodo na agricultura tem uma longa história. Atualmente mais de 80% da disposição de lodo na China é feita de forma inapropriada. Na Austrália, aproximadamente 55% do lodo de esgoto é aplicado no solo, 30% é estocado ou disposto em aterro sanitário e 15% é utilizado em compostagem. ETEs com recuperação de P implantadas em escala encontram-se localizadas na Europa, América do Norte e Ásia. A maior justificativa para estas localizações refere-se a falta de reservas de fosfato nestas regiões. Na Europa, aproximadamente 90% do fosfato é importado. No Japão não há jazidas economicamente viáveis de serem exploradas. De modo a proporcionar a segurança alimentar, os países desenvolvidos sem ou com baixas reservas de P tornaram-se líderes na recuperação de P.

Em 2014, o Comitê Europeu estabeleceu a rocha de fósforo na lista das 20 matérias-primas críticas, economicamente importantes e sujeitos a alto risco de abastecimento. De acordo com estudos do fósforo em países da Europa, o lodo de ETE (fora o estrume) é a segunda fonte mais relevante de P passível de ser recuperada. Cerca de 90% de fosfato utilizado na Europa vem de Marrocos, Tunísia e Rússia. Estima-se que de 20-30% da demanda de fosfato na Europa pode ser satisfeita através da abordagem da economia circular.

Alguns países europeus implementaram regulações nacionais de modo a promover a recuperação do fósforo a partir do esgoto e outras fontes. Em janeiro de 2016, na Suíça estabelece-se um prazo de transição de 10 anos para fazer a recuperação do fósforo.

Um ano depois, em janeiro de 2017, a Alemanha, também obrigou a recuperação de fósforo em ETEs a partir da capacidade de atendimento de 50 mil pessoas equivalentes, que representa aproximadamente 500 ETEs. Esta obrigação será para o lodo que possuir mais que 2% de P em matéria seca, ou para recuperação a partir das cinzas do lodo. Estas 500 maiores ETEs da Alemanha representam 2/3 do total de P removido e transferido para o lodo. Plantas com atendimento superior a 100.000 pessoas equivalentes terão um prazo de 12 anos para se adequarem. Plantas entre 50 e 100 mil pessoas equivalentes terão um período de 15 anos de transição. Caso o lodo tenha uma concentração de P inferior a 2%, pode ser co-incinerado. A aplicação de lodo só será permitida para ETEs com atendimento inferior a 50 mil pessoas equivalentes. Atualmente dois terços do lodo na Alemanha é incinerado, com quantidades similares indo para mono-incineração como para co-incineração e 23,7% do lodo, ainda sendo aplicado no solo, com tendência ao declínio devido ao novo regulamento alemão. Algumas ETEs de grande porte estão planejando construir novas usinas de mono-incineração, como Berlin Wassmannsdorf. As cinzas de lodo contêm aproximadamente 13% do P aplicado na agricultura da Alemanha.

Nos passos da Suíça e Alemanha, a Áustria também obrigou a recuperação de P. Em 2017 estabeleceu o banimento da aplicação direta no solo ou compostagem a partir de lodo de ETE com capacidade superior a 20 mil pessoas equivalentes num período de transição de 10 anos. De forma alternativa, estas ETEs deverão recuperar P do lodo de modo a ficar abaixo de 20 g P/kg de sólidos ou encaminhados para mono-incineração de lodo. O P fica sujeito à recuperação a partir das cinzas. Esta regulação irá abranger 90% de todo o fósforo contido no lodo da Áustria.

A Holanda é um dos países pioneiros na recuperação de fósforo em aplicações de escala plena em ETEs. A disposição agrícola de lodo está banida na Holanda desde 1995. A consequência desta situação é que 100% do lodo é submetida a incineração na Holanda. No setor de saneamento, o P será parcialmente recuperado como estruvita em ETEs (AMSTEDAM WEST, AMERSFOORT, LAND VAN CUIK, APELDOOR, etc), mas de forma mais relevante será recuperado das cinzas da mono-incineração de lodo de modo a ser um substituto da rocha de P.

Considerações: reuso potável direto e a preocupação com água e uso de benéfico de lodo

Em função da preocupação com escassez hídrica, o reuso potável direto, apresenta-se como uma alternativa, dado que um dos recursos derivados de uma ETE é a própria produção de água para consumo. De acordo com a IWA, no reuso potável direto a água produzida é tratada de acordo com os padrões de potabilidade e então diluída no sistema de abastecimento público. Os avanços tecnológicos tornam isto uma possibilidade, no entanto, há significativas barreiras referentes à regulamentação e a aceitação pública. Normalmente, o reuso potável direta demanda menos energia que a dessalinização e como exemplo, podemos citar Cingapura, Windhoek e Texas. Outra opção, que tem maior aceitação pelo consumidor, é o reuso potável indireto onde um meio natural é utilizado como uma zona de amortecimento.

Com relação ao uso do lodo para uso agrícola, por exemplo, a mudanças na legislação brasileira pertinente, ocorridas em 2006, com a publicação da resolução Conama RC nº 375/2006, desestimulou o uso agrícola do lodo de esgoto, com exigências como: licenciamento das áreas de aplicação e monitoramento pelo monitoramento, como por exemplo, no caso das substâncias orgânicas para as quais não há limites. Além disto, mesmo com experiências positivas de aplicação do lodo classe B (atender limite de coliformes termotolerantes), este foi banido para uso agrícola, cinco anos após entrar em vigor a RC nº 375/2006. Na Sabesp, conforme citado anteriormente, o biossólido denominado Sabesfértil foi distribuído durante 12 anos para aplicação no solo. Hoje somente a Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná) faz o uso agrícola com a RC 375/2006, com uso de lodo classe A (atender limite para coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, concentração de Salmonella, vírus entéricos e cistos viáveis de protozoários) em culturas de café e áreas frutíferas no Paraná e a Caesb (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal), faz uso de lodo classe B em programas de recuperação de áreas degradadas.

Em termos de diretrizes e regulamentos, para uso benéfico do lodo de esgoto, têm-se:

- Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010: Art. 3º, Inciso XIV - reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes;
- Instruções normativas do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento): enfoque em produto em contraposição à resíduo;
- Agenda 2030/ONU: ODS;
- Economia Circular;
- Solicitação de revisão da resolução Conama Nº 375/06 que estabelece critérios e procedimentos para uso agrícola de lodo de esgoto.

ETEs Sustentáveis e experiência do INCT

Segundo Mota (2018), as ETEs convencionais, ETEs do presente, se bem construídas e operadas com remoção de matéria orgânica, nutrientes, patógenos, cumprindo o papel primordial no controle de qualidade do corpo receptor, podem ser representadas pelo fluxograma da figura 2. Observa-se que neste cenário, a ausência da percepção de retorno financeiro com a ETE: paga-se pela disposição final do lodo, ou quando a ETE trata chorume do aterro, há uma compensação de contas; o biogás é ainda desperdiçado (queimado) na maioria das ETEs e o líquido tratado é disposto em um curso d'água, sendo usada apenas uma parcela para água de utilidades na ETE e uma parcela ofertada como reuso, onde há demanda e caso a oferta desta mostrar-se viável economicamente.

Em seguida, na figura 3, o fluxograma no novo conceito de ETE Indústria, com reaproveitamento dos recursos do esgoto.



Figura 2 – Fluxograma das ETEs do presente. Fonte: MOTA, 2018.

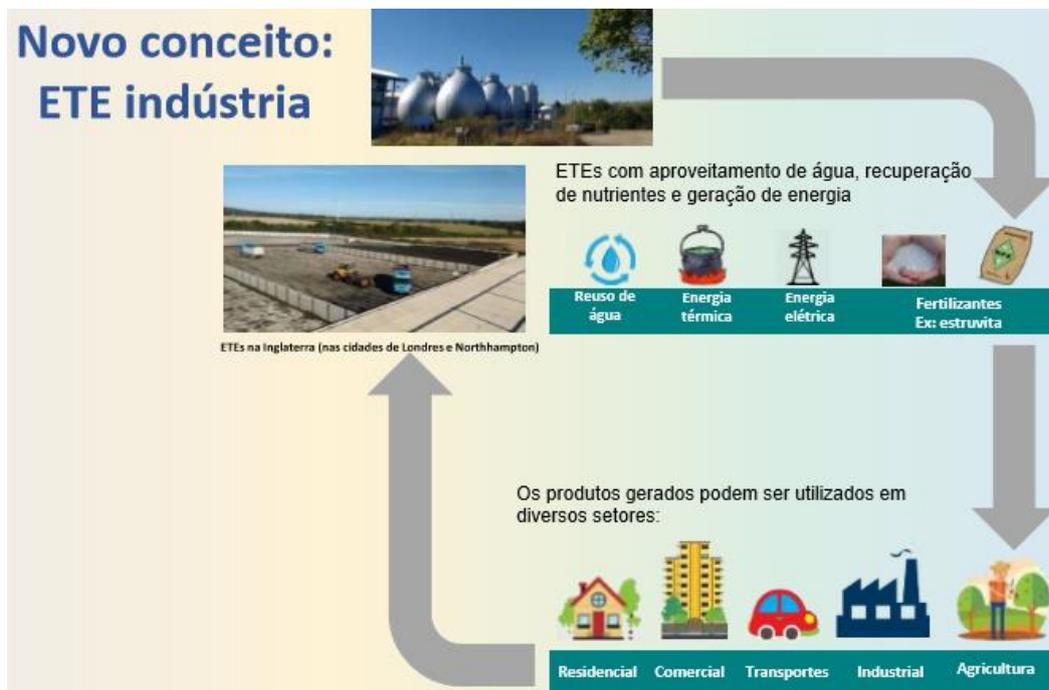


Figura 3 - Conceito de ETE Indústria. Fonte: MOTA, 2018.

O aproveitamento de subprodutos pode ser um elemento motivador para o incremento da infraestrutura nacional de coleta e tratamento de esgoto. No entanto, para chegar a esta nova configuração há necessidade de buscar em primeiro lugar otimizar a ETE atual, de forma que possa operar dentro das condições projetadas e partir para melhorias que a tornem mais eficientes, agregando inovações que conduzem à redução de insumos e de impactos ambientais (corpo receptor, aterros, emissões). O próximo passo, a viabilidade do aproveitamento de subprodutos está associada a diversos fatores, como depleção de recursos naturais, a necessidade de novas alternativas para disposição adequada dos lodos, disponibilidade de equipamentos mais eficientes e melhor tecnologia, a questão ambiental e necessidade de redução de efeitos de gases estufa, a percepção social do valor da água e da preservação do ambiente, a regulamentação dos produtos resultantes das ETEs e os incentivos, que são bastante comuns e considerados primordiais em países desenvolvidos para impulsionar a introdução de produtos renováveis na cadeia de consumo.

Na figura 4 a seguir, estão ilustradas 5 linhas para planejamento de estações de tratamento de esgoto e identificação de soluções apropriadas para a implantação de infraestruturas sustentáveis de saneamento, que incluem desde o gerenciamento do sistema de coleta e transporte de esgoto, passando pelo gerenciamento das emissões gasosas e seu aproveitamento, gerenciamento e valorização de lodos, remoção de microcontaminantes, recuperação de nutrientes e reúso do efluente líquido, bem como dos aspectos legais e de capacitação (MOTA, 2017).

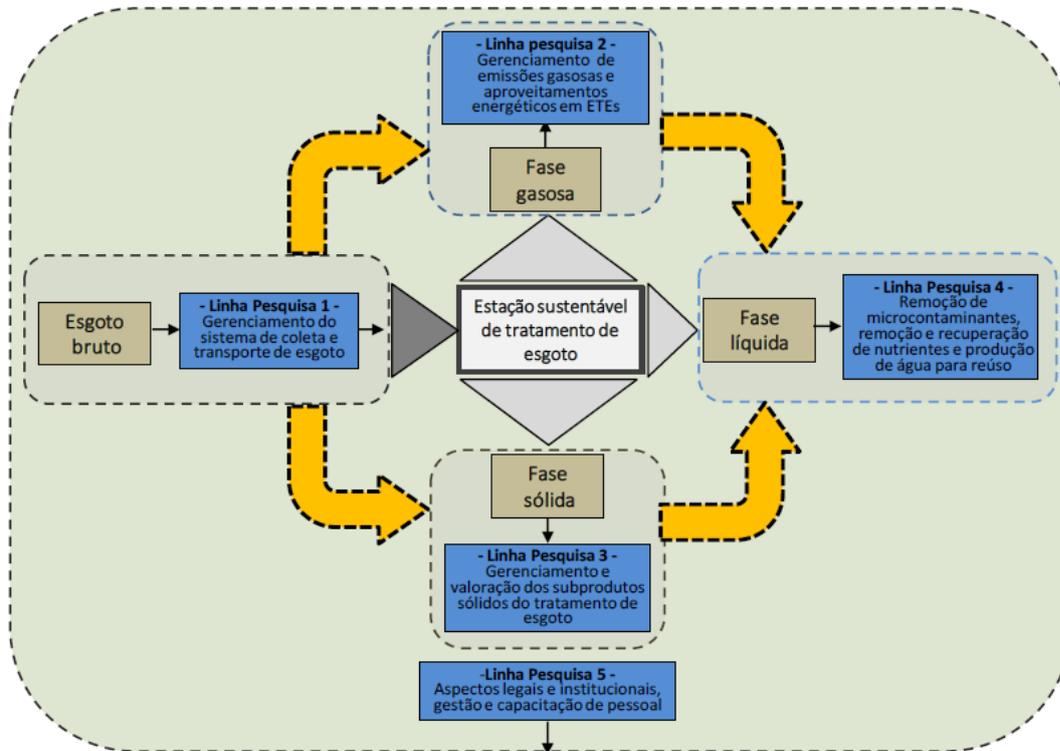


Figura 4 – Proposta de 5 linhas de pesquisa para planejamento de estações de tratamento de esgoto. Fonte: Mota, C., 2017.

O projeto de VARGA de economia circular na Dinamarca

Conforme descrito anteriormente, na Dinamarca, por exemplo, uma ETE é vista como uma fábrica de produção de energia, dado que 1% da energia na comunidade europeia é consumida no tratamento de esgoto. Na Companhia de saneamento de Copenhague - Biofos, desde 2014, o balanço de energia é positivo e vendem 50% mais de energia do que compram para operar suas ETEs, contribuindo para uma forte economia circular (BIOFOS, 2017). As diretrizes para implantação e operação das plantas são: eficiência energética; alto grau de instrumentação e automação para controle, otimização dos processos; adoção de tecnologias de secagem térmica e incineração de lodo; maximização da produção de biogás e seu uso como fonte de energia, objetivando balanço positivo de energia.

Como o arcabouço legal dinamarquês segue o conceito de poluidor pagador e são cobrados nos parâmetros DBO (demanda bioquímica de oxigênio), fósforo e nitrogênio, em geral, a qualidade dos efluentes de suas ETEs apresenta valores de concentrações bem menores que os exigidos pela legislação, o que resulta em menores gastos. É interessante comentar que, para atingir essa qualidade do efluente, as plantas já existentes, com tratamento convencional, foram adaptadas, a exemplo do que pode ser feito em várias plantas no Brasil para obtenção melhor aproveitamento dos recursos do esgoto. Todas as grandes ETEs tem digestores anaeróbios de lodo e assim, o foco está em recuperar a energia presente no esgoto, com maior produção de biogás e menor geração de lodo.

Dentro deste contexto, iniciariam em 2017, um projeto de referência de implantação economia circular na Dinamarca, em uma de suas ETEs, a ETE Avedøre. Assim, ao final do projeto, previsto para meados de 2020, a ETE Avedøre passa a ser uma Estação de Recuperação de Recursos do Esgoto - Projeto VARGA (project

“VARGA - VAnd Ressource Genvindings Anlægget”), que servirá de referência para orientar futuras plantas de recuperação de recursos, tendo como foco do projeto:

- Recuperação de Recursos - Economia Circular - desenvolver componentes essenciais da economia circular para produção de energia e utilização de nutrientes presentes em resíduos urbanos e de águas residuais para a produção de alimentos
- Desenvolvimento da Concepção de ETE para Estação de Recuperação de Recursos do Esgoto - desenvolver um conceito para transformar um sistema convencional de tratamento de efluentes para unidade de recuperação de recursos, documentando os aspectos do impacto ambiental do ciclo de vida e os custos financeiros, demo
- Projeto de Demonstração – usar a ETE Avedøre com capacidade de atender uma população de 400.000 hab, como planta de demonstração, com inclusão de novas tecnologias incluídas e testadas em escala e demonstração da sinergia inter setorial de utilização na recursos de água/esgoto e resíduos e retorno de nutrientes setor agrícola.

A seguir, fluxograma de demonstração Projeto VARGA , que envolve vários fornecedores e recursos da Agência ambiental Dinamarquesa, além dos recursos da empresa Biofos.

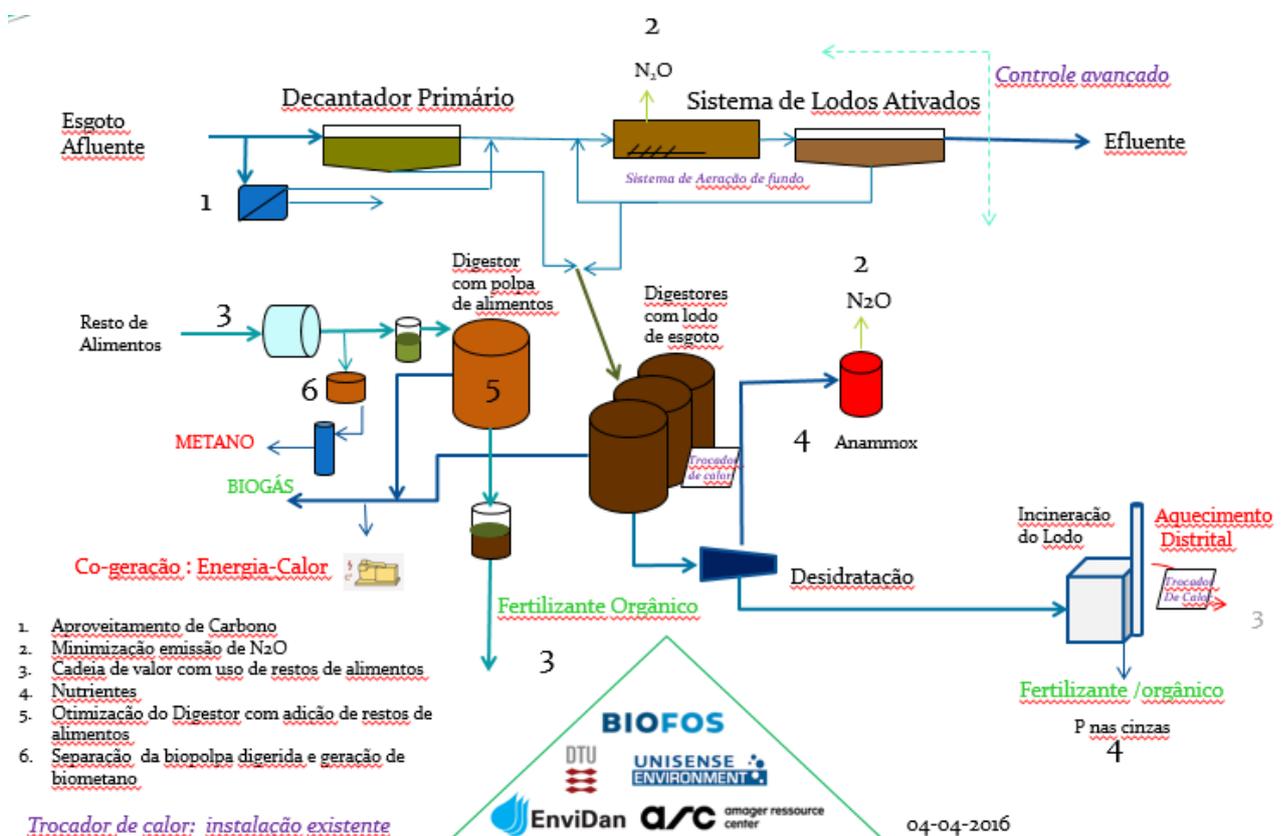


Figura 5 -Unidade de recuperação do recursos (WRRF) - O Projeto VARGA. Fonte: BIOFOS, 2017.

Neste projeto, há introdução de inovações como tecnologias para degradação da parte orgânica dos resíduos, seja doméstico ou de agricultura e incorporá-los para tratamento conjunto nos digestores anaeróbios, visando aumento da produção de biogás. Observa-se que o lodo da digestão da polpa poderá ser usado como biofertilizante, enquanto no caso do lodo de esgoto, somente após incineração, as cinzas ou o fósforo recuperado das cinzas. Outro aspecto, a ser observado é sistema Anamox (oxidação anaeróbica da amônia), onde a parte líquida do desaguamento do lodo é tratada em separada, em função da elevada carga, que impacta o consumo de energia elétrica nos tanques de aeração e qualidade do efluente. O biogás produzido é utilizado tanto para produção de biometano, energia elétrica para consumo da planta e calor que utilizado internamente e fornecido para aquecimento distrital.

Sempre que um processo precisa ser testado, alguma modificação realizada ou nova tecnologia avaliada, a área de P&D&I em conjunto com a equipe da ETE utiliza uma planta de demonstração para simular a situação em

condições normais (atual) e a outra para condições modificadas, de modo a conseguir ter os resultados para situação de teste nas mesmas condições da atual. É uma condição aonde o esgoto bruto, a temperatura, e outras variáveis são as mesmas, oferecendo testes mais realistas e de fato comparáveis. Esta planta de demonstração está instalada em contêiner e é toda automatizada, com custo de aproximadamente R\$ 1,5 milhões por contêiner. A unidade de demonstração pode ser visualizada na figura 6, onde também estão ilustrados projetos que integram o projeto VARGA, como beneficiamento de biogás para produção de biometano e recuperação de CO₂, testes em laboratório para avaliar a biodegradação de resíduos e estudos para recuperação de fósforo das cinzas do lodo incinerador.



Figura 6 - Novos produtos, serviços, tecnologia e métodos. Fonte: (BIOFOS, 2017)

CONCLUSÕES

As ETEs sempre foram vistas de forma negativa como grandes consumidoras de recursos. De forma a alterar este enfoque, grandes esforços estão sendo realizados para demonstrar, que com aproveitamento dos subprodutos gerados na planta, pode-se produzir energia elétrica, calor, biometano, água de reuso, produtos derivados de fósforo, bio sólido, etc e de forma eficiente, viável técnico e economicamente, as ETEs podem tornar-se Instalações Recuperadoras de Recursos, dentro do enfoque da Economia Circular. Como premissa básica deve-se assumir que antes desta geração de recursos, as ETEs atendam aos requisitos preconizados como: metas de efluentes dentro da legislação ambiental e a não geração de odores, bem como alinhamento com regulamentos e normas para uso e/ou comercialização dos produtos gerados.

Há de se reconhecer todo esforço das companhias de saneamento no sentido de universalizar os serviços e as dificuldades orçamentárias e regulatórias, que às vezes impedem ou dificultam a viabilização de projetos de recuperação de recursos. A Sabesp, por exemplo, em seus projetos sempre considera o uso de água de utilidades ao invés de água potável, a oferta de água de reuso, onde viável e vem empreendendo esforços para reaproveitamento de energia a partir do biogás e lodo. Dentre os exemplos, pode destacar-se as iniciativas alinhadas com os princípios de unidades recuperadoras de recursos e inseridas na economia circular, a produção de biometano, em concordância com as exigências ambientais e regulatórias e o composto produzido na ETE Lajeado e aprovado pelo MAPA.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARDAKANIAN, R. LIEBE, J. AND MULLIN BERNHARDT, L. “Report on the achievements during the international decade for action, ‘water for life’ 2005-2015”, available at: www.ais.unwater.org/water-for-life-decadereport/Water-for-Life-DecadeReport_WEB.pdf, 2015.
2. BIOFOS. Apresentações e material institucional fornecido em visita técnica, 2018.
3. BUDZIANOWSKI, W.M.; WYLOCK, C.E.; MARCINIAK, P.A. *Power requirements of biogas upgrading by water scrubbing and biomethane compression: Comparative analysis of various plant configurations. Energy Convers. Manag.* 2017, 141, 2–19.
4. CAPODAGLIO, A. *Integrated, decentralized wastewater management for resource recovery in rural and peri-urban areas. Resources* 2017, 6, 22DE ANGELIS, R. *Business Models in the Circular Economy: Concepts, Examples and Theory. ISBN 978-3-319-75127-6, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-75127-6>, 2018.*
5. EBERT MIKI, ROSANE; REAMI, LUCIANO; CASON, MARCO M. *Produção de biometano de biogás de estação de tratamento de esgoto: implantação do projeto e resultados preliminares, 30º Congresso da ABES, Natal, 2019.*
6. EUROPEAN COMMISSION - EC. *Closing the Loop—An Eu Action Plan for the Circular Economy. Disponível online: http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm (accessado em 21/11/2017).*
7. FLORES, CESAR CASIANO; BRESSERS, HANS; GUTIERREZ, CARINA AND DE BOER, CHERYL, *Towards Circular Economy – A Wastewater Treatment Perspective, The Presa Guadalupe Case. Management Research Review, vol. 41 no. 5, 2018.*
8. GROPE, J. *Concepts of Biomethane Production from Organic Waste and Residues (Institute for Biogas, Waste Management & Energy, Weimar, acessado em 21/09/2017.*
9. KUANGXIN, ZHOU. *Phosphorus recovery from wastewater and sludge: concept for diferente regional conditions. Dissertação de Doutorado, Berlin, 2017.*
10. MIKI, MARCELO KENJI, *Solicitação de revisão da resolução Conama Nº 375/06 que estabelece critérios e procedimentos para uso agrícola de lodo de esgoto. Diálogos de Saneamento, ABES/RS, julho 2018.*
11. MO, W.; ZHANG, Q. *Energy–nutrients–water nexus: Integrated resource recovery in municipal wastewater treatment plants. J. Environ. Manag.* 2013, 127, 255–267.
12. MOTA, CESAR. *O conceito de ETEs Sustentáveis. FORUM UK-BRAZIL INVESTMENT AND INNOVATION IN WATER, 2017.*
13. MOTA, CESAR. *Câmara Temática de Tratamento de Esgoto INCT ETEs Sustentáveis, ABES, 12 julho 2018.*
14. PUSKER REGMI ET AL. *The future of WRRF modelling – outlook and challenges ., Water Sci Technol (2018) 79 (1): 3-14).*
15. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS - LEI Nº 12.305/2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.*
16. RASHIDI, H.; GHAFFARIAN HOSEINI, A.; SULAIMAN, N.M.N.; TOOKEY, J.; HASHIM, N.A. *Application of wastewater treatment in sustainable design of green built environments: A review. Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, 49, 845–856.
17. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 375 de 29/08/2006. *Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.*
18. SABESP, *RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE - SABESP, 2018.*
19. VEOLIA, “Water at the heart of the circular economy”, available at: www.veolia.com/gulfcountries/sites/g/files/dvc171/f/assets/documents/2014/10/Veolia_brochure_www_STOCKHOLM_2014.pdf, 2015
20. WATER ENVIRONMENT FEDERATION, *Activated Sludge and Nutrient Removal, WEF Manual of Practice No. OM-9, 3rd edition, 2018.*