

VI-081 - AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NO GERENCIAMENTO DO LODO E BIOGÁS, EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS, UTILIZANDO A TÉCNICA DE ACV

Karina Guedes Cubas do Amaral⁽¹⁾

Química Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Especialista em Sistema de Gestão Ambiental pela FAE. Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela UTFPR. Doutora em Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela UFPR.

Miguel Mansur Aisse⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela UFPR. Mestre em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos –USP. Doutor em Engenharia Civil - Engenharia Hidráulica pela Universidade de São Paulo. Professor da Universidade Federal do Paraná, junto ao Programa de Pós-Graduação – PPGERHA.

Gustavo Rafael Collere Possetti⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre e doutor em Ciências pela UTFPR. Gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV).

Endereço⁽¹⁾: Jardim das Américas - CEP: 81531990 - Curitiba, PR - Brasil - Caixa-postal: 19011. Telefone: (41) 33613144. E-mail: ka_cubas@hotmail.com

Endereço⁽²⁾: Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas 115- Tarumã – CEP: 82800130 - Curitiba, PR – Brasil - Telefone: (41) 3777-7264

RESUMO

Reatores de manta de lodo anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), usados no tratamento de esgoto, geram dois subprodutos que podem ser utilizados: lodo e biogás. Atualmente, no Brasil a maior parte desse lodo resultante é descartada em aterros sanitários, enquanto o biogás é comumente conduzido para queimadores abertos de baixa eficiência. O objetivo do presente estudo foi realizar a avaliação da sustentabilidade de quatro diferentes cenários de tratamento e destinação final do lodo biológico e biogás, numa Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de porte médio, localizada no Sul do Brasil. A avaliação dos impactos ambientais foi realizada através da avaliação do ciclo de vida, utilizando-se como método de avaliação o ReCiPe 2016. Para a avaliação social foram utilizados os indicadores da avaliação de ciclo de vida social, adaptados e desenvolvidos para ETEs. A avaliação econômica foi realizada através da análise dos custos do ciclo de vida. Para a avaliação global da sustentabilidade, foi utilizado o método *Dashboard of sustainability*. Com relação à avaliação global da sustentabilidade, o cenário 1, onde é utilizado o biogás para a secagem do lodo e esse destinado na agricultura, obteve a maior pontuação (melhor cenário) no DoS e o cenário base apresentou a menor pontuação (pior cenário).

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação da sustentabilidade, avaliação do ciclo de vida, subprodutos do tratamento anaeróbio

INTRODUÇÃO

O crescimento da população na América Latina e Caribe superou a capacidade dos governos nacionais e locais em atender a demanda de abastecimento de água e saneamento básico (NOYOLA *et al.*, 2012). Novas estações e a ampliação da capacidade e nível de tratamento das existentes devem ser projetadas para atender a necessidade dos esgotos sanitários gerados. Como consequência desta ampliação tem-se o aumento da geração do lodo biológico e biogás.

Os sistemas de tratamento possuem a função de minimizar os impactos ambientais do lançamento de efluentes no meio ambiente, mas eles próprios apresentam-se como um elemento impactante, nas três dimensões da sustentabilidade ao longo do seu ciclo de vida (SANCHES, 2009). A adoção de critérios de sustentabilidade na

escolha da melhor tecnologia de tratamento e destinação do lodo deve ser levada em consideração (HERNANDEZ-PADILLA et al., 2017). Um sistema sustentável de gerenciamento de resíduos deve ser ambientalmente eficaz, economicamente acessível e socialmente aceitável (NOYOLA, et al., 2013). Além disso, deve ser seguro para os trabalhadores e para a comunidade envolvida, com atenção particular para a possibilidade de afetar os stakeholders envolvidos (PADILLA-RIVERA et al., 2016).

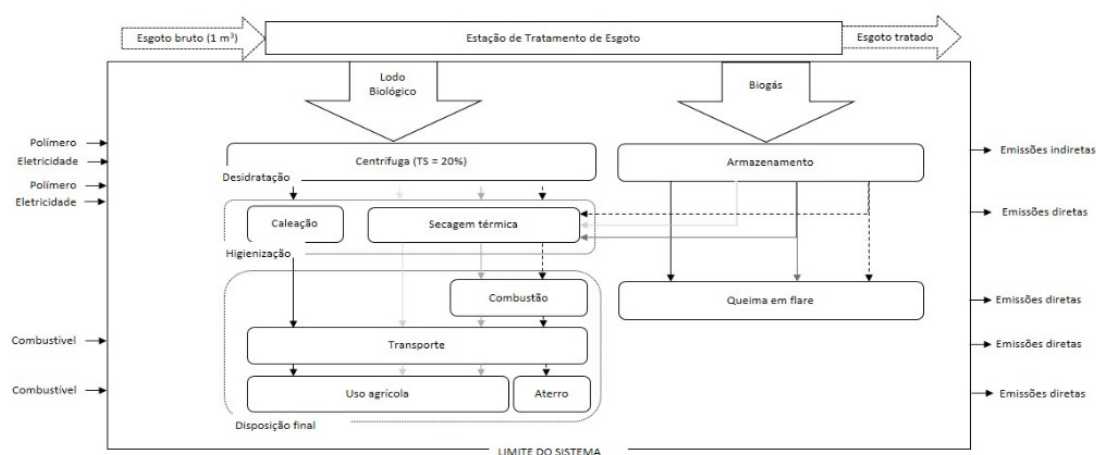
A tecnologia de reatores de manta de lodo de fluxo ascendente (UASB/RALF) é a segunda mais empregada em termos de número de instalações de ETEs no Brasil (NOYOLA et al., 2012; BRASIL, 2017) e representa 94,6% das estações existentes no Estado do Paraná, Sul do Brasil (ROSS et al., 2014). A tecnologia apresenta como característica a geração de lodo biológico estabilizado e geração de biogás rico em metano, sendo este último ainda pouco aproveitado para fins energéticos no Brasil. Atualmente, na maioria das ETEs brasileiras, o biogás é queimado em flare e emitido para a atmosfera.

Estudos preliminares realizados apontam que o tratamento e gerenciamento do lodo biológico e biogás possuem uma contribuição significativa no cálculo do impacto ambiental. Neste sentido, Amaral et al. (2016) realizaram a Avaliação do Ciclo de Vida ambiental (ACV-ambiental) de uma ETE de porte médio, localizada no Sul do Brasil e dotada de reatores UASBs, comprovando que os processos de tratamento e destinação do lodo e queima de biogás em flare aberto representam juntos 44% da contribuição para a categoria de mudanças climáticas, 36% da contribuição para a categoria de depleção da camada de ozônio, 55% para toxicidade humana e 86% para a categoria de acidificação terrestre.

Este estudo visa a avaliação da sustentabilidade de diferentes rotas de destinação do lodo biológico e biogás, provenientes de ETEs anaeróbias, dando suporte na seleção de tecnologias a serem empregadas em futuras instalações de tratamento de esgotos sanitários e adequação das existentes.

METODOLOGIA

A unidade funcional do estudo é o gerenciamento dos subprodutos, lodo biológico e biogás, gerados ao tratar 1 m³ de efluente doméstico, englobando as fases de tratamento e destino final. Os fluxos de referência são de 0,052 Nm³ de biogás captado no topo do reator UASB e 2,51 kg de lodo biológico, obtidos de reator anaeróbio UASB (ST = 2,6%). Foi considerado também, o metano dissolvido no efluente tratado (8,5 mg/L). Os fluxos foram obtidos por meio de levantamento realizado na ETE estudada (entre 2015 e 2017), que pode tratar até 420 L/s, e sistema piloto de secagem de lodo que processou 100 kg/h de lodo úmido, durante 62 horas. O limite do sistema, destacando o estudo de caso e cenários propostos, é apresentado na Figura 01.



Legenda: Cenário base —> Lodo sendo desaguado na centrífuga, submetido à EAP e destinado na agricultura. O biogás é queimado em flare aberto. Cenário 1 —> Biogás é utilizado como fonte de calor para a secagem do lodo biológico em secador rotativo. O lodo seco é destinado na agricultura. Cenário 2 —> É realizada a combustão do lodo para a utilização do calor na secagem do lodo desaguado. As cinzas são destinadas na agricultura. Cenário 3> Semelhante ao cenário 2, sendo as cinzas dispostas no aterro sanitário.

Figura 01: Cenários considerados com relação ao tratamento e destinação do lodo biológico e biogás.

O cenário base corresponde ao estudo de caso da ETE estudada, o lodo estabilizado é desaguado em uma centrífuga e posteriormente submetido à EAP, com cal virgem. O lodo higienizado é encaminhado para a destinação agrícola e o biogás gerado pelos reatores é destruído em queimadores abertos com baixa eficiência. O cenário 1 corresponde à rota onde o biogás gerado é utilizado como fonte de combustível, para a secagem e higienização do lodo em secador rotativo. O lodo seco e higienizado é encaminhado para a agricultura. O cenário 2 corresponde à rota onde é realizada a combustão do lodo, para utilização do calor na secagem do lodo desaguado. O poder calorífico não é suficiente, sendo utilizado um percentual do biogás gerado. As cinzas são destinadas para a agricultura. O cenário 3 é semelhante ao cenário 2, sendo a destinação final das cinzas o aterro sanitário.

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho baseou-se na ACV e avaliações associadas (CCV, ACV-S e ASCV).

Área de estudo

A ETE sob investigação se situa no Sul do Brasil e possui capacidade para tratar 440 L/s de esgoto doméstico, atendendo uma população de até 235.000 habitantes. O tratamento preliminar do esgoto é dotado de duas grades mecanizadas com espaçamento de 3 mm e um desarenador tipo Dorr - Oliver. Para a etapa de tratamento biológico do esgoto, a ETE possui seis reatores tipo UASB (tratamento secundário) e duas lagoas facultativas aeradas (pós-tratamento). O lodo biológico produzido nos reatores UASB e na lagoa aerada é periodicamente descartado, sendo adensado (adensador por gravidade) e, posteriormente, desaguado em uma centrífuga. Após, o lodo é submetido ao processo de estabilização alcalina prolongada, na denominada UGL (Unidade de Gestão de Lodo) e destinado na agricultura. O biogás, gerado pelos reatores UASB, é queimado em *flare* aberto, com uma eficiência de aproximadamente 50% (KAMINSKI, 2017).

Avaliação ambiental

Para a elaboração do inventário ambiental, foi elaborado o fluxo de massa referente aos anos de 2015 e 2016. O mapeamento dos fluxos de energia foi realizado pelo levantamento das potências dos equipamentos e horas de funcionamento. As emissões referentes ao transporte dos produtos consumidos no tratamento do lodo e da destinação do lodo até a área agrícola foram reportadas em função da unidade tkm, que considera a quantidade transportada (em toneladas) e a distância percorrida, ida e volta (em quilômetros). Utilizou-se as distâncias dos fabricantes dos produtos químicos até a ETE e, com relação ao destino agrícola, utilizou-se a média das distâncias das áreas agrícolas receptoras, dos últimos 4 anos. As emissões referentes à aplicação da cal virgem para higienização (perdas de N e C, expressas em NH₃ e CO₂) foram calculadas pelos teores de N e C no lodo antes da aplicação da cal, sendo adotado o valor de 2,81% para o N (ANDREOLI *et al.*, 2014; AISSE, FERNANDES, SILVA, 2001) e 15% para o C (ROSS *et al.*, 2014). As emissões referentes à aplicação na agricultura seguiram os modelos apresentados por Nemecek e Schnetzer (2011). Os detalhes da avaliação ambiental e seus resultados estão apresentados no artigo: *Use of life cycle assessment to evaluate environmental impacts associated with the management of sludge and biogás* (AMARAL *et al.*, 2018a).

Avaliação social

Para a elaboração do inventário social foram consideradas as seguintes categorias de stakeholders: trabalhadores, consumidores e comunidade local e sociedade (UNEP/SETAC, 2009). Para cada subcategoria foram elaborados indicadores, selecionados de acordo com o sugerido pela UNEP e SETAC (2013) e estudo realizado por Padilla-Rivera *et al.* (2016). Os detalhes da avaliação social e seus resultados estão apresentados em AMARAL *et al.* (2018b).

Análise dos custos do ciclo de vida - ACCV

O inventário econômico foi elaborado pelo método de análise dos custos do ciclo de vida – ACCV. O método é baseado na Avaliação do Ciclo de Vida, mas considera os custos econômicos no lugar dos impactos ambientais. Foram levantados os custos referentes ao consumo de energia, produtos químicos, pessoal, aquisição dos equipamentos e manutenção, aplicados à ETE descrita no cenário base e propostos. Os detalhes da análise econômica e seus resultados estão apresentados em AMARAL *et al.* (2018c)

Avaliação das três dimensões da sustentabilidade

A próxima etapa do trabalho foi converter os dados obtidos em um único indicador de sustentabilidade. Para a integração das 3 dimensões utilizou-se o indicador de sustentabilidade *Dashboard of Sustainability* (DoS), introduzido por Traverso e Finkbeiner (2009) (UNEP, 2011). O modelo pondera todos os indicadores para uma mesma escala, representando os mesmos em forma matemática ou gráfica. A partir disso é determinada uma pontuação entre 0 e 1000 pontos, sendo zero pontos para o pior caso possível e 1000 pontos para o melhor. Baseado nesta determinação calcula-se os casos intermediários utilizando uma interpolação linear entre estas duas delimitações determinadas, conforme apresentado na equação.

$$(escore\ DoS)_i = 1000 \times \frac{[(valor)_i - (valor)_0]}{[(valor)_{1000} - (valor)_0]}$$

Em que:

(escore DoS) = o escore DoS atribuído para o indicador em um contexto i;

(valor)_i = valor do indicador para o contexto i (intermediário);

(valor)₀ = o indicador de pior valor entre todos os contextos;

(valor)₁₀₀₀ = o indicador de melhor valor entre todos os contextos.

Este indicador trabalha com uma escala de 7 a 9 cores que correspondem aos diferentes níveis de sustentabilidade (Ver Figura 02).







| Escala de Cores | Grau de Sustentabilidade | Intervalo de pontos |
|---|--------------------------|---------------------|
|  | Excelente | 889 - 1000 |
|  | Muito bom | 778 - 888 |
|  | Bom | 667 - 777 |
|  | Razoável | 556 - 666 |
|  | Médio | 445 - 555 |
|  | Ruim | 334 - 444 |
|  | Muito ruim | 223 - 333 |
|  | Atenção severa | 111 - 222 |
|  | Estado crítico | 0 - 110 |
|  | Sem dados | |

Figura 02: Escala de cores utilizadas no software DoS

Para este trabalho, utilizou-se as dimensões ambientais, sociais e econômicas, totalizando 23 indicadores, sendo 8 ambientais, 10 sociais e 5 econômicos (Tabela 01).

Tabela 01: Indicadores considerados nesse estudo para a avaliação da sustentabilidade.

| Ambientais | Sociais | Econômicos |
|------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Mudança climática | Salários pagos aos trabalhadores | Custo etapa desaguamento (Centrífuga) |
| Depleção de ozônio estratosférico | Nível de ruído (Trabalhadores) | Custo sistema de higienização |
| Formação de ozônio | Utilização de produto químico perigoso | Custo destinação do lodo |
| Acidificação terrestre | Emissão de odor (H ₂ S e NH ₃) (Trabalhadores) | Custo destinação do biogás |
| Eutrofização aquática | Riscos biológicos (bactérias, fungos, vírus) | Custo manutenção |
| Ecotoxicidade terrestre | Teor de N e P no lodo | |
| Ecotoxicidade água doce | Valores de patógenos presentes no lodo | |
| Toxicidade humana, não cancerígena | Nível de ruído (Comunidade e Sociedade) | |
| | Emissão de odor (Comunidade e Sociedade) | |
| | Capacidade de geração de emprego | |

RESULTADOS DISCUSSÕES

Os resultados dos indicadores (ambientais, sociais e econômicos) são demonstrados na Figura 03. O detalhamento dos resultados das avaliações ambientais, sociais e econômicas são apresentados em artigos específicos (Amaral et al., 2018a; Amaral et al., 2018b; Amaral et al., 2018c).

A seta demonstra a posição do índice de sustentabilidade na escala de cores. É demonstrado também o grau de sustentabilidade de cada dimensão, através da escala de cor.

O índice de sustentabilidade para o cenário base apresentou-se com 375 pontos (ruim na escala Dos). A pior dimensão foi a ambiental com as categorias de mudanças climáticas, ecotoxicidade terrestre, depleção do ozônio estratosférico, ecotoxicidade água doce e toxicidade humana não carcinogênica, apresentando-se como “muito ruim” na escala. Na dimensão econômica, os indicadores que apresentaram na pior escala foram: manutenção e destinação do lodo e biogás. Na dimensão social foi o risco biológico no manuseio do lodo.

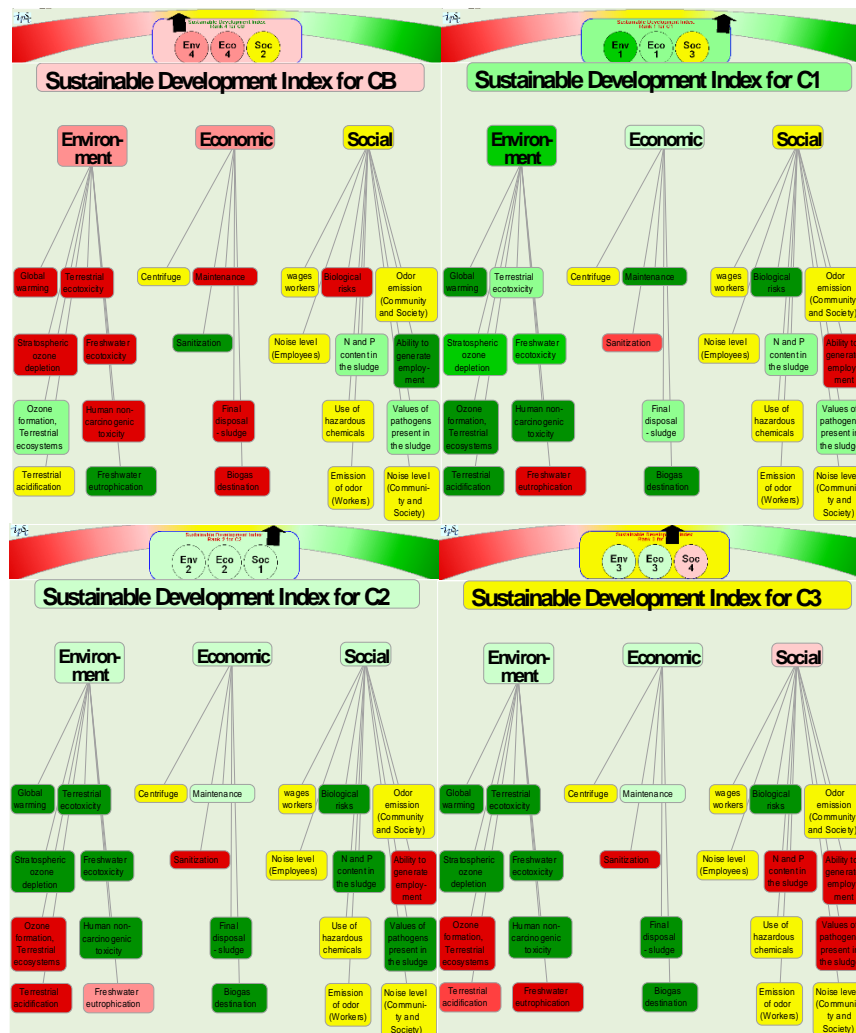
O índice de sustentabilidade para o cenário 1 foi de 678 pontos (“bom” na escala DoS). Nenhuma das 3 dimensões apresentou-se como “ruim” na escala. A dimensão social apresentou 550 pontos (“média” na escala), sendo o pior indicador, a capacidade de geração de empregos. Na dimensão econômica, o pior indicador foi a etapa de higienização e na dimensão ambiental foi a categoria de eutrofização de água doce.

Na dimensão ambiental, os melhores indicadores apresentaram-se nas categorias de mudanças climáticas, formação de ozônio, toxicidade humana e acidificação terrestre. Na dimensão econômica, os melhores resultados referem-se ao custo de manutenção e destinação do biogás. Na dimensão social o indicador de risco biológico apresentou-se como o melhor indicador.

O cenário 2 apresentou índice de sustentabilidade de 629 pontos (razoável na escala DoS). Nas 3 dimensões o nível de sustentabilidade apresentou-se na mesma escala. Na dimensão ambiental os indicadores com os menores índices foram: formação de ozônio, ecossistema terrestre e acidificação terrestre. Na dimensão econômica a etapa com o menor índice foi a higienização e na social o indicador de capacidade de geração de emprego.

O cenário 3 apresentou índice de sustentabilidade de 547 pontos. A dimensão com a menor pontuação é a social (400 pontos), em que os indicadores de teor de N e P no lodo, capacidade de geração de emprego e valores dos patógenos presentes no lodo foram os indicadores com escala “ruim” no DoS. Na dimensão ambiental, os piores indicadores foram a formação de ozônio, ecossistema terrestre, acidificação terrestre e eutrofização água doce. Na dimensão econômica, a etapa de higienização apresentou a menor pontuação. Os melhores indicadores para a dimensão ambiental foram as categorias de mudanças climáticas, ecotoxicidade

terrestre, depleção do ozônio estratosférico, ecotoxicidade água doce e toxicidade humana. Na dimensão social os melhores indicadores foram o custo de destinação do lodo e biogás. Na dimensão social o indicador com a melhor pontuação foi o risco no manuseio do lodo.



*NOTA: CB = Cenário base (lodo sendo higienizado através de EAP e destinado na agricultura, biogás é destruído em queimadores de baixa eficiência). C1 = Cenário 1 (lodo sendo higienizado em secador rotativo, utilizando o biogás, e destinado na agricultura). C2 = Cenário 2 (lodo sendo higienizado em secador rotativo, através do calor do próprio lodo, e as cinzas destinadas na agricultura. C3 = Cenário 3 (semelhante ao cenário 2 mas as cinzas são destinadas em aterro).

Figura 03: Resultados dos indicadores de sustentabilidade para os cenários *.

CONCLUSÕES

O cenário 1, onde é utilizado o biogás para a secagem do lodo e esse destinado na agricultura, obteve a maior pontuação (melhor cenário) no DoS. A dimensão que favoreceu esse cenário foi a ambiental, onde os indicadores de acidificação terrestre e formação de ozônio, ecossistema terrestre foram os que apresentaram uma pontuação mais elevada, em comparação com os demais cenários. O cenário 2 apresentou-se em segundo lugar, obtendo um melhor índice na dimensão social, em relação ao cenário 1, em virtude de um maior teor de N e P nas cinzas do lodo biológico. O cenário 3 apresentou-se como uma menor pontuação em comparação aos outros cenários em virtude da dimensão social, devido ao não aproveitamento do potencial agrônomo do lodo biológico. Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se a avaliação de outros cenários de destino do lodo biológico e biogás. Com relação à avaliação social, este trabalho não abrangeu todo o seu ciclo de vida,

fica como sugestão a avaliação das organizações envolvidas na aquisição de produtos e destino final dos resíduos e subprodutos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AISSE, M. M.; FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. Aspectos tecnológicos e de processos In: Reciclagem de biossólidos - transformando problemas em soluções. 2 ed. Curitiba: SANEPAR - Fundo Editorial, v.1, p. 49-119, 2001.
2. AMARAL, K. G. C.; AISSE, M. M.; POSSETTI, G. R. C. Avaliação dos impactos ambientais no tratamento anaeróbio de efluentes domésticos baseado na Análise de Ciclo de Vida: Estudo de caso no Brasil. Anais... XXXV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Colômbia, 2016.
3. AMARAL, K. G. C.; AISSE, M. M.; POSSETTI, G. R. C.; PRADO, M. R. Use of life cycle assessment to evaluate environmental impacts associated with the management of sludge and biogas. Water Science and Technology, v. 77, 2018a.
4. AMARAL, K. G. C.; AISSE, M. M.; POSSETTI, G. R. C.; COSTA, F. J. G.; RIETOW, J.C. Análise de aspectos sociais inerentes ao gerenciamento de lodo e biogás em uma estação de tratamento de esgoto empregando reator UASB. (Submetido AIDIS, 2018b).
5. AMARAL, K. G. C.; AISSE, M. M.; POSSETTI, G. R. C. Análise do custo de ciclo de vida inerente ao tratamento e destinação final do lodo biológico e biogás, provenientes de ETE que emprega reator do tipo UASB. (Submetido DAE, 2018c).
6. ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2014.
7. BRASIL. Agência Nacional de Águas. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental . -- Brasília: ANA, 2017.
8. HERNANDEZ-PADILLA, F.; MARGNI, M.; NOYOLA, A.; GUERECAL-HERNANDEZ, L.; BULLE, C. Assessing wastewater treatment in Latin America and the Caribbean: Enhancing life cycle assessment interpretation by regionalization and impact assessment sensibility. Journal of Cleaner Production 142, 2017.
9. KAMINSKI, G. F. Queima eficiente de biogás gerado em reatores UASB em queimador enclausurado. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2017.
10. PADILLA-RIVERA, A., MORGAN-SAGASTUME, J. M, NOYOLA, A. M, GUERECAL, L. P. Addressing social aspects associated with wastewater treatment facilities. Environmental Impact Assessment Review 57, 2016.
11. NEMECEK, T., SCHNETZER, J. Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems. Zurich. Data v3.0, 2011.
12. NOYOLA, A.; PADILLA-RIVERA A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M. L.; GUERECAL, L. P.; HERNANDEZ-PADILLA, F. Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America. Clean – Soil, Air, Water, 40 (9), 926–932, 2012.
13. NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M.; GÜERECAL, L. P. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. 1ª ed. México: 2013.
14. SANCHES, A. B. Avaliação da Sustentabilidade de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários: Uma proposta metodológica. Tese de doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
15. ROSS, B. Z. L.; MARQUES, C. J.; CARNEIRO, C; COSTA, F. J. O. G.; FROEHNER, S.; AISSE M. M. Avaliação do impacto da incorporação de espuma em lodo de esgoto destinado a uso Agrícola. In: XXXIV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais.... México, 2014.
16. TRAVERSO M.; FINKBEINER M. Life Cycle Sustainability Dashboard. Proceeding of the 4th International Conference on Life Cycle Management, Cape Town, South Africa, 2009.
17. UNEP/SETAC. Towards a Life Cycle Sustainability Assessment. UNEP/SETAC Life-Cycle Initiative, 2011