

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ANÁLISE DE ASPECTOS SOCIAIS INERENTES AO GERENCIAMENTO DE LODO E DE BIOGÁS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EMPREGANDO REATOR UASB

* Karina Guedes Cubas do Amaral¹
Miguel Mansur Aisse¹
Gustavo Rafael Collere Possetti^{2,3}
Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa²
Julio Cezar Rietow¹

ANALYSIS OF SOCIAL ASPECTS INHERENT TO THE MANAGEMENT OF SLUDGE AND BIOGAS IN A WASTEWATER TREATMENT PLANT USING UASB REACTOR

Recibido el 22 de mayo de 2018; Aceptado el 29 de marzo 2019

Abstract

The sludge and biogas management stages are responsible for important social aspects in a Wastewater Treatment Plant (WWTP), such as the emission of odor and noise, the manipulation of chemicals by the workers and the valuation of the final product to be intended. The objective of this article is to perform an inventory and evaluation of the social aspects associated with the assessment of the social life cycle (LCA-S). The research was performed in a WWTP that use anaerobic UASB reactor. In preparing the social inventory, the following categories of stakeholders were considered: workers, consumers, local community and society. Indicators were developed for each subcategory. For the category workers were presented the results of salaries, occupational noise, hazardous chemicals, gaseous emissions and biological risk. For the consumer's category, nitrogenous, phosphorous and concentration levels of pathogens present in the biological sludge. For the local community stakeholder and society, environmental noise, odor and job generation. The baseline scenario, where the prolonged alkaline stabilization is performed, showed the best indicators regarding the capacity to generate employment and the use of the agronomic potential of the sludge. When using the thermal dryer for the sludge sanitation, using biogas, it obtained improvement in the health and safety aspect of the worker.

Keywords: social aspects, assessment of the social life cycle, management of WWTP by-products.

¹ Departamento de Hidráulica e Saneamento (PPGERHA), Universidade Federal do Paraná, Brasil.

² Gerência de Pesquisa e Inovação, Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, Brasil.

³ Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade, Instituto de Administração e Economia do Mercosul – ISAE, Brasil

Autor correspondente: Departamento de Hidráulica e Saneamento (PPGERHA), Universidade Federal do Paraná. - Jardim das Américas, Curitiba – PR. 80050-540. Brasil. Email: ka_cubas@hotmail.com

Resumo

As etapas de gerenciamento de lodo e do biogás são responsáveis por aspectos sociais importantes em uma estação de tratamento de esgoto (ETE), tais como: a emissão de odor e ruído, a manipulação de produtos químicos pelos trabalhadores e a valorização do produto final a ser destinado. Desse modo, o presente artigo teve como objetivo realizar o inventário e a avaliação dos aspectos sociais associados ao gerenciamento do lodo e do biogás em 4 cenários distintos, utilizando como ferramenta os indicadores de Avaliação de Ciclo de Vida Social (ACV-S). A pesquisa foi realizada em uma ETE que emprega reator anaeróbio tipo UASB. Na elaboração do inventário social foram consideradas as seguintes categorias de partes interessadas: trabalhadores, consumidores, comunidade local e sociedade. Para cada subcategoria foram elaborados indicadores. Para a categoria trabalhadores foram apresentados: resultados de salários, ruído ocupacional, produtos químicos perigosos, emissões gasosas e risco biológico. Para a categoria consumidores, os indicadores considerados foram: teores de nitrogênio, fósforo e concentração de patógenos presentes no lodo biológico. Para a parte interessada comunidade local e sociedade, os indicadores relacionados foram: ruído ambiental, odor e geração de emprego. O cenário base, que contempla a estabilização alcalina prolongada (EAP) do lodo, apresentou os melhores indicadores com relação à capacidade de geração de emprego e ao aproveitamento do potencial agrônômico do lodo. Ao utilizar o secador térmico para a higienização do lodo, com o uso do biogás, obteve-se melhoria no aspecto de saúde e segurança do trabalhador.

Palavras chave: aspectos sociais, avaliação do ciclo de vida social, gerenciamento dos subprodutos de ETE.

Introdução

Os processos anaeróbios de tratamento de esgoto doméstico, em especial aqueles baseados em reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), estão sendo muito utilizados nos países da América Latina e Caribe. Especificamente no Brasil, essa tecnologia é a terceira mais empregada em termos de número de estações de tratamento de esgotos (ETEs) (Noyola *et al.*, 2012; Chernicharo *et al.*, 2018). Isso se deve, principalmente, pelos recursos financeiros necessários para a construção e operação de reatores UASB serem menos onerosos que aqueles exigidos por sistemas com natureza aeróbia (von Sperling & Chernicharo, 2005). Além disso, esses reatores são responsáveis pela produção de biogás, o qual pode ser utilizado para fins energéticos dentro do próprio sistema de tratamento de esgoto (Salomon & Lora, 2009; Rosa *et al.* 2016).

O biogás produzido em reatores UASB é composto majoritariamente por metano, nitrogênio e dióxido de carbono. Em menores concentrações é também composto por sulfeto de hidrogênio, oxigênio, hidrogênio, monóxido de carbono, amônia e siloxanos (Silveira *et al.*, 2015; Cabral *et al.*, 2016; Cabral *et al.*, 2017). Em grande parte dos países da América Latina e Caribe, o biogás é coletado e conduzido até queimadores do tipo aberto, onde então o metano é parcialmente destruído. Isso se deve, principalmente, pelo metano ser um dos principais gases indutores do efeito estufa, com potencial de aquecimento global 34 vezes superior àquele do dióxido de carbono (IPCC, 2014). Entretanto, tal prática faz com que a energia química presente no biogás seja desperdiçada. Desse modo, ainda que de maneira incipiente, testes e estudos envolvendo o

aproveitamento energético do biogás estão sendo realizados, sobretudo no que diz respeito ao aproveitamento térmico e elétrico (Hakawati *et al.*, 2017; Possetti *et al.*, 2018).

Também produzido durante a etapa biológica de tratamento do esgoto, o lodo é caracterizado por apresentar quantidades significativas de matéria orgânica, nutrientes e água. Sendo assim, o tratamento e a destinação final do lodo têm se caracterizado como um dos principais problemas a serem resolvidos dentro do campo da engenharia sanitária e ambiental (Garrido-Baserba *et al.*, 2015).

Atualmente, o aterro sanitário é a alternativa mais empregada para o destino final do lodo na América Latina e Caribe. Porém, países como o Brasil, notadamente o estado do Paraná, tem realizado com sucesso o reuso agrícola desse material (Bittencourt *et al.*, 2014). Para essa destinação, é comum a realização do desaguamento do lodo em leitos de secagem ou em equipamentos mecânicos, como centrífugas, seguido do processo de estabilização alcalina prolongada (EAP) para higienização do material. No entanto, cabe destacar que tal prática demanda áreas significativas, incorporação de produtos químicos, como a cal virgem (CaO), por exemplo, bem como tempos longos para a cura do material (tipicamente superior a 60 dias) (Andreoli, Von Sperling, Fernandes, 2014). Desse modo, processos como a secagem térmica a partir do aproveitamento energético do biogás, bem como a combustão do lodo, estão sendo estudados visando a melhora do gerenciamento desse material em uma ETE (Possetti *et al.*, 2018).

Nesse contexto, pode-se afirmar que as etapas de gerenciamento de lodo e do biogás em uma ETE são responsáveis por aspectos sociais relevantes, sobretudo no que diz respeito a emissão de odor e ruído, a manipulação de produtos químicos pelos trabalhadores e a valorização do produto final a ser destinado. Considerando tais informações ainda incipientes no setor de saneamento, denota-se a necessidade de um mecanismo de gestão para a identificação, avaliação e controle dos principais aspectos sociais inerentes ao tratamento do esgoto, bem como do lodo e do biogás produzidos nas plantas de tratamento (Brasil, 2002). Para tanto, a técnica de Avaliação de Ciclo de Vida Social (ACV-S), considerada uma metodologia recente na comunidade científica e ainda pouco utilizada para estudos em ETEs, tem sido empregada para avaliar os aspectos sociais e socioeconômicos dos produtos e seus potenciais impactos ao longo do ciclo de vida, englobando a extração, processamento de matérias-primas, produção, distribuição, uso, reutilização, manutenção, reciclagem e disposição final (UNEP & SETAC, 2009).

Para a realização da ACV-S, é necessário primeiramente definir quem serão as partes interessadas no estudo, também chamadas de *stakeholders*. Para auxiliar nessa etapa, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e a Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental (SETAC), desenvolveram um guia estabelecendo cinco categorias básicas de *stakeholders*: trabalhadores, consumidores, comunidade local, sociedade e cadeia de valor. Para cada um desses *stakeholders* devem ser estabelecidas subcategorias de impacto, como, por exemplo, saúde e segurança do

trabalhador e do consumidor, qualidade do produto estudado, faixa salarial, qualidade de vida, entre outras. Adicionalmente, para cada subcategoria também devem ser determinados os indicadores de impacto, como, por exemplo, valores de salários pagos aos trabalhadores, níveis de ruído, emissões gasosas, riscos biológicos, entre outros (UNEP & SETAC, 2013).

Após a etapa de levantamento dos *stakeholders*, da definição das subcategorias e dos indicadores de impacto, são então realizados os inventários sociais. Compilados os resultados, realiza-se a escolha do método de avaliação dos impactos sociais. Atualmente, existem mais de 20 métodos que podem ser aplicados na ACV-S, sendo eles divididos geralmente em do tipo I (baseado em pontos de referência de desempenho) e do tipo II (relação de causa e efeito). Como exemplo, destaca-se o método *Subcategory Assessment Method* (SAM), elaborado com base no guia metodológico da UNEP e SETAC (2013). O SAM permite avaliar o desempenho social das empresas envolvidas em todos os estágios do ciclo de vida do produto. A fim de produzir um método consistente para todas as subcategorias, o SAM estabelece uma linha de base para avaliar o perfil da organização, chamado requisito básico (RB). A escala varia de “1” a “4” (sendo “1” a pior e “4” a melhor avaliação) (Ramirez *et al.*, 2014).

Nos estudos realizados por Padilla-Rivera *et al.* (2016) foi utilizada a metodologia SAM adaptada para avaliar os aspectos sociais entre duas ETEs implantadas em cidades diferentes do México, sendo uma caracterizada pelo elevado índice urbano e industrial e a outra por estar inserida em um meio rural. Após o levantamento dos *stakeholders* e dos indicadores específicos para as ETEs, os autores concluíram que a ETE em meio urbano apresentou um melhor desempenho global dos aspectos sociais avaliados. Anabestani e Zareie (2017), por sua vez, avaliaram os impactos sociais do tratamento de esgoto no Irã. Os autores utilizaram subcategorias de impacto como ruído, saúde e segurança. Já Iftekhar *et al.* (2018) realizaram a avaliação das preferências da comunidade para o uso alternativo do entorno de uma ETE. O levantamento foi realizado na comunidade do entorno à ETE por meio de questionários.

Dada a relevância da utilização de ferramentas de tomada de decisão em ETEs, bem como os poucos estudos de ACV-S na temática abordada, o presente artigo teve como objetivo realizar a avaliação dos aspectos sociais da fase operacional do tratamento e destinação final do lodo e biogás em uma planta em escala plena dotada de reatores UASB. Este trabalho apresenta os resultados da avaliação dos aspectos sociais da tese de Amaral (2018), a qual realizou a avaliação da sustentabilidade (ambiental, social e econômica) de diferentes cenários de tratamento e destinação final do lodo biológico e biogás, oriundos de ETE, de grande porte, que empregam reatores anaeróbios do tipo UASB.

Metodologia

a) Descrição dos cenários do estudo

Para a avaliação dos aspectos sociais foram determinados quatro cenários, sendo um real e três hipotéticos, conforme ilustrado na Figura 1.

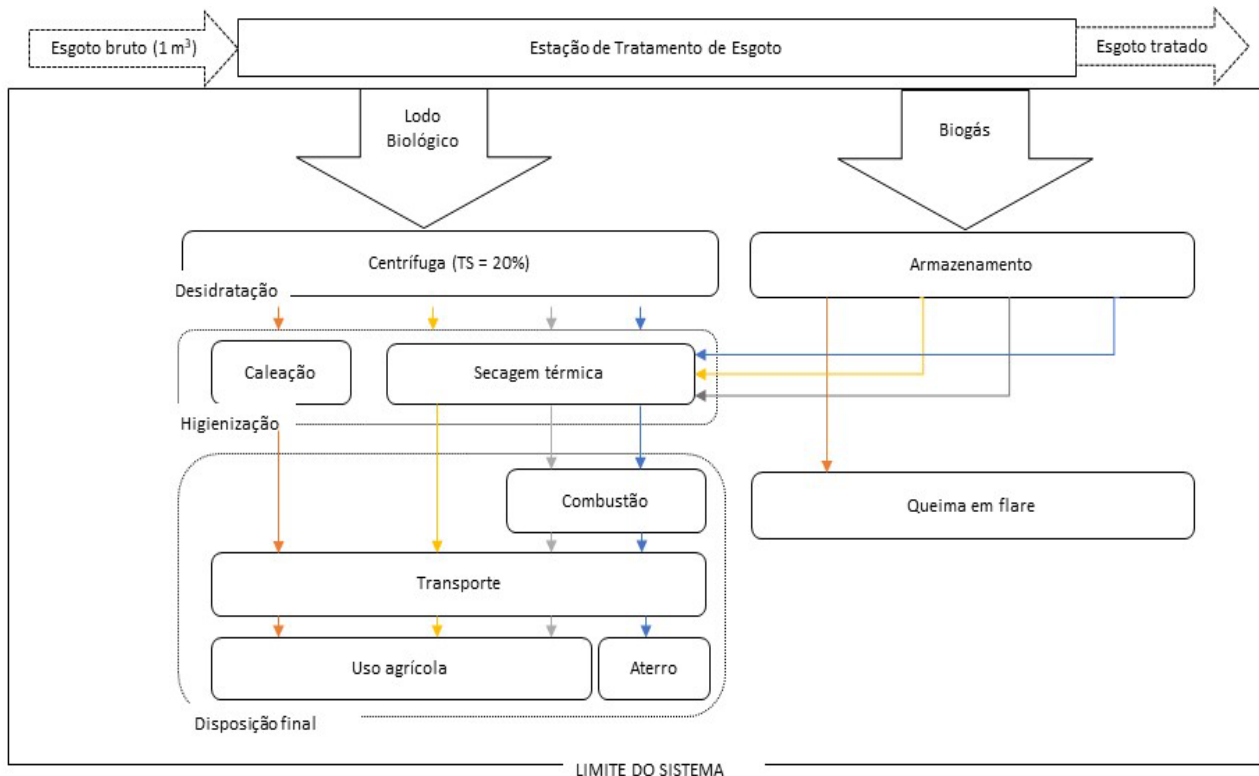


Figura 1. Cenários considerados neste estudo com relação ao tratamento e destinação do lodo biológico e biogás
Legenda : Cenário base (→) Lodo desaguado na centrífuga, submetido à EAP e destinado na agricultura. O biogás é queimado em flare aberto. Cenário 1 (→) Biogás é utilizado como fonte de calor para a secagem do lodo biológico em secador rotativo e o excedente do biogás é queimado em flare aberto. O lodo seco é destinado na agricultura. O. Cenário 2 (→) É realizada a combustão do lodo para a utilização do calor na secagem do lodo desaguado e as cinzas são destinadas na agricultura. Cenário 3 (→) Semelhante ao cenário 2, sendo as cinzas destinadas no aterro sanitário.

O cenário base (CB) correspondente ao estudo de caso de uma ETE em escala plena, sendo que o biogás é parcialmente destruído em queimador aberto e o lodo destinado para a agricultura. A ETE está situada no Estado do Paraná (Brasil), local cujo índice de desenvolvimento humano (IDH) é de 0,749 (IDH, 2010), sendo o quinto estado no *ranking* do Brasil com rendimento nominal mensal domiciliar *per capita* de R\$ 1.472,00.

A ETE estudada possui o sistema de tratamento composto por gradeamento mecanizado de 15 mm, desarenador, calha *Parshall*, seis reatores do tipo UASB e duas lagoas, uma aerada e outra de sedimentação que realizam o pós-tratamento do efluente. A capacidade de tratamento da ETE é de 440 L.s⁻¹ de esgoto doméstico, atendendo uma população de até 235.000 habitantes. Para minimizar as questões de maus odores a ETE adota diversas medidas de controle, dentre elas a

aplicação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) no efluente dos reatores anaeróbios e barreiras vegetais.

Atualmente, o lodo proveniente dos reatores e das lagoas é adensado e em seguida encaminhado para o desaguamento em centrífuga com utilização de polímero e higienização com cal. Após essas etapas, o lodo é submetido ao processo de estabilização alcalina prolongada (EAP) e posteriormente é destinado à agricultura. Já o biogás produzido pelos reatores anaeróbios é captado por meio de uma tubulação e encaminhado até *flares* abertos, onde, então, é realizada a destruição parcial do gás CH_4 .

Apoiado nessas informações, estabeleceram-se cenários referentes ao estudo dos aspectos sociais do gerenciamento do lodo e biogás produzidos na ETE. O cenário 1 (C1) corresponde à rota na qual o biogás gerado é utilizado como fonte de calor (combustível) para a secagem do lodo em secador rotativo que posteriormente é encaminhado para a agricultura. Já o cenário 2 (C2) corresponde à rota na qual é realizada a combustão do lodo seco para utilização do calor (ar quente) na secagem do lodo desaguado e destinação das cinzas para a agricultura, contudo, o poder calorífico não é suficiente sendo necessária a utilização de um percentual do biogás gerado para a combustão. Por fim, o cenário 3 (C3) é semelhante ao cenário 2, entretanto a destinação final das cinzas é para o aterro sanitário licenciado.

b) Avaliação dos aspectos sociais

A etapa de avaliação dos aspectos foi realizada com a adaptação da metodologia proposta por Ramirez *et al.* (2014) e Padilla-Rivera *et al.* (2016) (Figura 2).

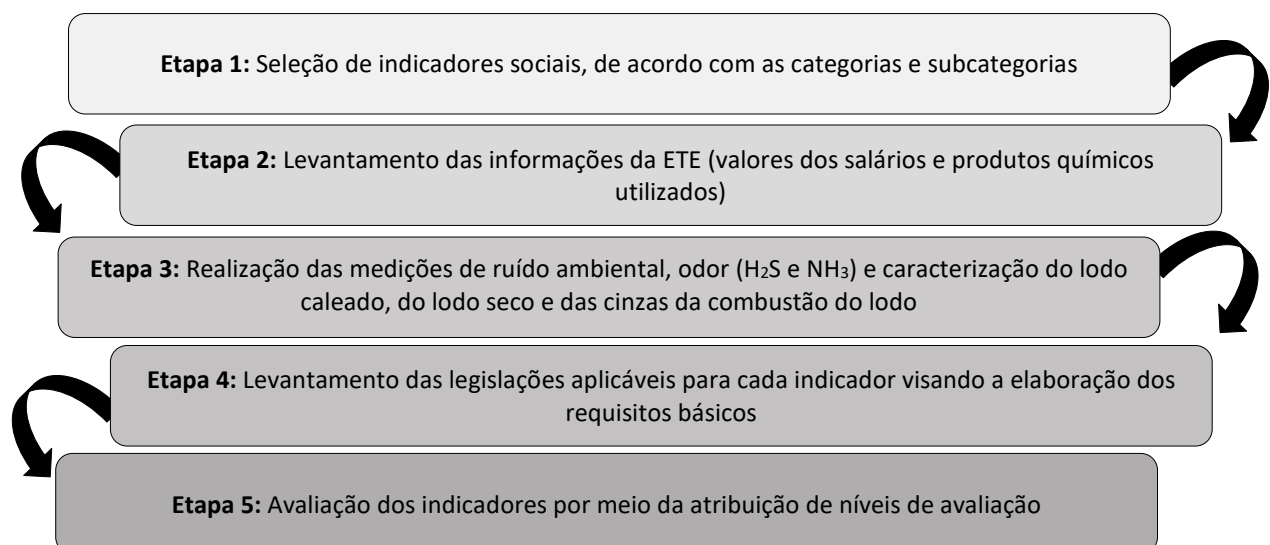


Figura 2. Etapas da pesquisa realizada

Primeiramente, selecionaram-se indicadores para a elaboração dos inventários sociais, utilizando requisitos básicos da legislação aplicável a cada aspecto. Após o levantamento dos indicadores, realizou-se o levantamento de informações junto à ETE. Adicionalmente, realizaram-se medições de ruído ambiental, ocupacional e de odor. Para este último, executou-se a medição de sulfeto de hidrogênio (H₂S) e amônia (NH₃).

Elaboração dos inventários sociais

Tabela 1. Subcategorias e indicadores considerados para elaboração dos inventários sociais

TRABALHADORES		Requisito básico/Legislação aplicável
Faixa salarial	Valores dos salários pagos aos trabalhadores	SAI (2008) No. VIII Remuneração Lei PR 18.766/2016 - Salário Mínimo
Saúde e segurança	Nível de ruído ocupacional Utilização de produto químico perigoso Emissões gasosas consideradas prejudiciais aos trabalhadores (CH ₄ e H ₂ S) / Emissão de odor (H ₂ S e NH ₃) Riscos biológicos (bactérias, fungos, vírus)	SAI (2008) No. III Saúde e segurança NR 15 NIOSH
CONSUMIDORES		
Qualidade do lodo tratado	Teor de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) / Atendimento aos parâmetros estabelecidos pela legislação	CONAMA 375/2006 SEMA 21/2009
Saúde e segurança	Valores de patógenos presentes no lodo	
COMUNIDADE LOCAL E SOCIEDADE		IFC (2007), AA100 Stakeholder Engagement Standard, United Nations Global Compact, Principle 1
Condições de vida segura e saudável	Nível de ruído ambiental	CONAMA 01/1990 NBR 10.151/2000 Lei 10625/2002
	Emissão de odor	SEMA 16/2014
Contribuição para o desenvolvimento econômico	Tecnologia utilizada Capacidade de geração de emprego	IFC (2007), AA100 Stakeholder Engagement Standard

Para a elaboração do inventário social foram consideradas as seguintes categorias de *stakeholders*: trabalhadores, consumidores, comunidade local e sociedade (UNEP, 2009). Para cada subcategoria foram elaborados indicadores (Tabela 1), selecionados de acordo com o sugerido pela UNEP e SETAC (2013) e estudo realizado por Padilla-Rivera *et al.* (2016). As subcategorias e indicadores foram selecionados levando em conta os principais aspectos aplicados às ETEs.

A fim de produzir um método consistente para todas as subcategorias, estabeleceu-se uma linha de base para avaliar o perfil da organização, chamado requisito básico (RB). Como exemplo, na subcategoria “salário justo”, a metodologia estabelece o salário mínimo como RB. Os requisitos básicos foram definidos de maneira semelhante ao adotado por Ramirez *et al.* (2014)

c) Levantamento de dados

Para o desenvolvimento da avaliação foram obtidos os dados históricos relativos aos parâmetros referentes à qualidade do lodo tratado abrangendo os anos de 2011, 2012 e 2013. Quanto aos salários pagos aos trabalhadores, considerou-se o ano base de 2016.

A técnica de mapeamento utilizada, para a apresentação dos resultados do indicador de odor, foi a de gradeamento, sendo que a ETE e seu entorno foram divididos em retângulos e suas arestas foram tomadas como ponto de amostragem. Executaram-se medições em 21 pontos em 3 campanhas, às 14 horas, utilizando-se o aparelho detector de H₂S, JEROME, modelo 631-X, com limite de detecção de 0 a 50 ppm. Simultaneamente, realizou-se a medição contínua por 72 horas de H₂S nos reatores UASBs para a verificação do horário de pico da concentração do gás na ETE. Para esta etapa foi utilizado o aparelho detector de gás sulfídrico GASTEC Corporation versão 5.06.000, Modelo GHS-8AT, com limite de detecção de 0 a 3000 ppm, com medição a cada 5 segundos e armazenamento da média das concentrações a cada 5 minutos.

A medição de NH₃ foi realizada concomitantemente com a medição de H₂S, sendo que nesse período estava sendo realizada a caleação do lodo biológico na UGL (Unidade de Gestão do Lodo), para o monitoramento utilizou-se um detector portátil de gases no meio atmosférico, marca BW Technologies, Alert Micro 5.

Depois da coleta dos dados foi utilizado o *software* ArcGis 10.1 para reproduzir as curvas de concentração do gás. Os valores de direção e velocidade do vento foram obtidos junto ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) para os 3 dias que foram realizadas as medições (01 – 03/02/2017) e a velocidade média do vento foi de 0,39 m/s, sendo a direção predominante a leste.

Para a determinação do ruído na ETE utilizou-se como base o preconizado na Lei Municipal de Curitiba 10.625, que dispõe sobre ruídos urbanos que prevê a realização de uma medição em cada turno de trabalho: diurno (07h01 às 19h00), vespertino (19h01 às 22h00) e noturno (22h01 às 07h00) (Curitiba, 2002). Desse modo, a medição foi realizada utilizando-se um decibímetro modelo ICEL DL-4200 e cada medição teve duração de 5 minutos nos pontos escolhidos e considerou-se a média dos valores. De acordo com a Lei 9.800 (Curitiba, 2000), que dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba, a ETE se localiza no Setor de transição – ST, que é definida como áreas limítrofes à zoneamentos conflitantes, onde se pretende amenizar os impactos de uso e ocupação do solo (Curitiba, 2000). Portanto, neste zoneamento são permitidos habitação coletiva e institucional, comércio e indústrias.

Os valores de ruídos ocupacionais foram fornecidos pela companhia de saneamento da ETE estudada com relação ao cenário base. Para os demais cenários, foram realizadas medições no sistema piloto do secador rotativo instalado em outra ETE também localizada no município de Curitiba.

Avaliação dos impactos sociais

Para a realização da avaliação dos impactos sociais foi utilizada uma adaptação das metodologias descritas por Ramirez *et al.* (2014), Zortea (2015) e Padilla-Rivera *et al.* (2016), considerando quatro elementos essenciais: a organização como um processo unitário, definição de um requisito base, atribuição de níveis de avaliação e atribuição de um caráter semi-quantitativo para o método, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2. Conversão dos dados sociais qualitativos em semi-quantitativos

Nível de evidência	Sem dados disponíveis	Fora do comprometimento e sob riscos físicos,- psicológicos, de segurança ou de direitos humanos	Não cumprimento ao requisito básico	Cumprimento ao requisito básico	Excelente desempenho, além do requisito básico
Escore atribuído	0	1	2	3	4

FONTE: Adaptado de RAMIREZ *et al.* (2014) e PADILLA-RIVERA *et al.* (2016)

Resultados

De acordo com os dados levantados foi possível realizar a avaliação dos indicadores sociais, demonstrados na Tabela 03.

Tabela 3. Resultado dos indicadores sociais referentes aos cenários estudados

		TRABALHADORES	CB	C1	C2	C3
Faixa salarial	Salários pagos aos trabalhadores		4	4	4	4
Saúde e segurança	Nível de ruído		3	3	3	3
	Utilização de produto químico perigoso		3	3	3	3
	Emissão de odor (H ₂ S e NH ₃)		3	3	3	3
	Riscos biológicos (bactérias, fungos, vírus)		2	3	3	3
		CONSUMIDORES				
Qualidade do lodo tratado	Teor de N e P		3	3	4	0
Saúde e segurança	Valores de patógenos presentes no lodo		3	3	4	0
		COMUNIDADE LOCAL E SOCIEDADE				
Condições de vida segura e saudável	Nível de ruído		2	2	2	2
	Emissão de odor		3	3	3	3
Contribuição para o desenvolvimento econômico	Capacidade de geração de emprego		4	3	3	3

Trabalhadores

Faixa salarial

O requisito básico para a subcategoria faixa salarial é o salário mínimo regional (R\$ 1.234,20) praticado para o grupo correspondente ao cargo de operador de ETE (8623-05 – sendo grupo 8 na categoria brasileira de ocupações). O desempenho para essa subcategoria no CB foi caracterizado como excelente (4), visto que o salário dos operadores da ETE do estudo (R\$ 1.620,26) está acima do mínimo regional e dentro do mínimo requerido para sobrevivência familiar, de acordo com WICARE (2016). Para os cenários C1, C2 e C3, que utilizam o secador térmico rotativo, o desempenho também foi caracterizado como excelente (4), devido a maior exigência de qualificação da mão de obra.

Saúde e Segurança

Para essa subcategoria, consideraram-se os seguintes indicadores: nível de ruído ocupacional, utilização de produto químico perigoso, emissões gasosas consideradas prejudiciais aos trabalhadores (CH₄, H₂S e NH₃), riscos biológicos (bactérias, fungos, vírus) e emissão de odor.

Para o indicador de nível de ruído ocupacional, o requisito básico é o estabelecido pela norma regulamentadora brasileira nº 15 (NR, 2009), do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), sendo

o valor de 85 dB para uma exposição de 8 horas diária e de 90 dB para uma exposição de 4 horas. De acordo com a dosimetria de ruído realizado no CB com operador da estação apresentou o valor de 74,3 dB e dose de 0,23. Atribuiu-se para este indicador o valor de (3), ou seja, há cumprimento ao requisito. Para os cenários C1, C2 e C3 foram utilizados os valores de medição realizados em um sistema piloto instalado, conforme demonstrados na Tabela 4. Desse modo, os valores de ruído estão de acordo com a NR 15 (NR, 2009), logo o desempenho para esse indicador foi de cumprimento ao requisito com valor (3).

Tabela 4. Valores de ruídos do secador térmico rotativo

Pontos	Valores (média) (dB)
P1 (painel)	64.4
P2 (queimador)	67.7
P3 (rosca alimentação)	59.3
P4 (tambor)	63.1
P5 (saída da rosca)	59.4
P6 (lavador de gases)	58.5
P7 (frente do tambor- 3 m)	60.8
P8 (frente do tambor- 5 m)	59.8
P9 (9 m do secador)	54.3

Com relação ao indicador “utilização de produto químico perigoso”, no CB avaliou-se a cal virgem para o tratamento do lodo biológico. Esse produto não consta na lista de produtos químicos considerados para atividades insalubres na NR-15, mas o *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) considera que o limite de *Immediately Dangerous To Life or Health* (IDLH) é de 25 mg/m³. Considerou-se para este indicador o valor de (3), cumprimento ao requisito básico.

Para os cenários C1, C2 e C3, o produto químico avaliado foi o Nonox, empregado para o controle de odor do processo de secagem. De acordo com a ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ), esse produto não é considerado perigoso e, assim, adotou-se para este indicador o valor de (3), cumprindo o requisito básico para os 3 cenários.

Com relação ao indicador “emissões gasosas consideradas prejudiciais aos trabalhadores (H₂S e NH₃) / Emissão de odor”, para o CB foi realizada a medição de NH₃ (28 pontos) na ETE e de H₂S (21 pontos). De acordo com o monitoramento de gases na ETE e seu entorno foram elaborados mapas de dispersão gasosa (Figuras 3 e 4) que evidenciaram que os valores das concentrações de NH₃ e H₂S estão em conformidade com o estabelecido pela norma regulamentadora brasileira nº 15. Portanto, o valor atribuído para este indicador foi de (3), referente ao cumprimento ao

requisito básico. Para os cenários 1, 2 e 3, que contemplaram a secagem e higienização do lodo, utilizando o secador térmico, não ocorre a emissão de NH_3 . Como os valores de H_2S foram atribuídos com origem nos reatores anaeróbios, o desempenho para esta categoria foi classificado como cumprimento ao requisito (3).

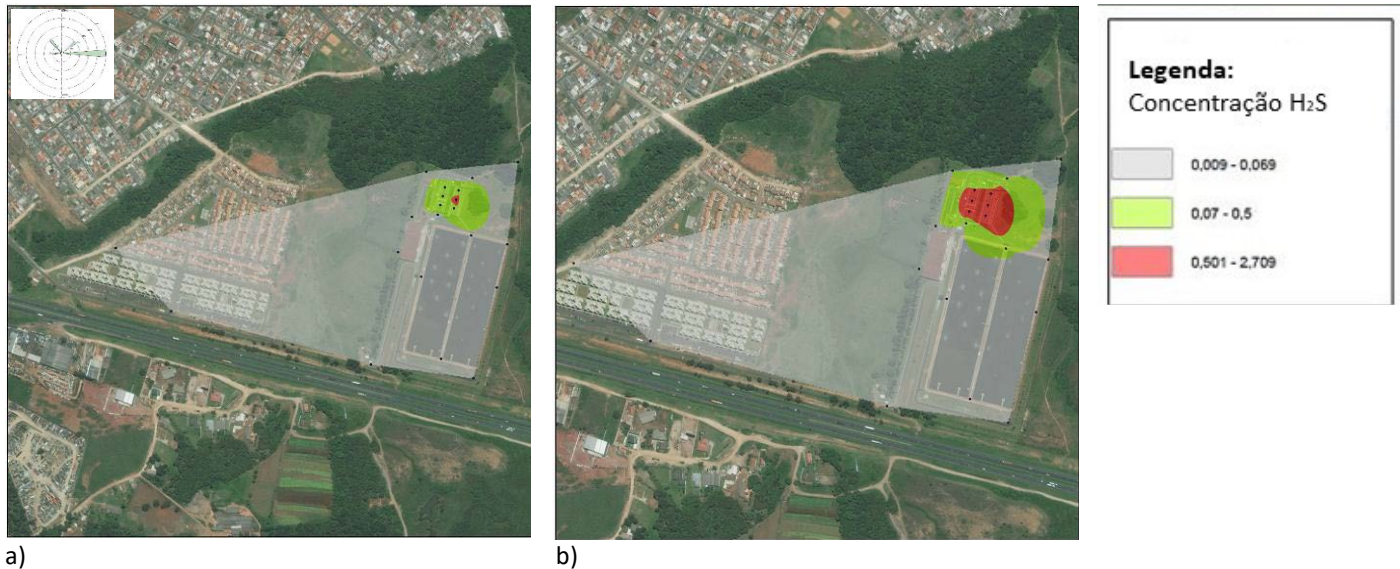


Figura 3. Imagem aérea da ETE estudada com a curva da concentração de H_2S - 14 h (a) e 19 h (b)



Figura 4. Imagem aérea da ETE estudada com a curva da concentração de NH_3 .

Para o indicador “riscos biológicos” (bactérias, fungos, vírus), o cenário base foi classificado como (2) devido à presença de coliformes termotolerantes no lodo biológico, identificados no ano de 2013 e à ausência de ovos de helmintos, *salmonela* e vírus, nos 3 anos considerados. Nos cenários utilizando o secador rotativo (cenário C1, C2 e C3), o trabalhador não manuseia o lodo biológico que determina um desempenho (3) para este indicador.

Consumidores

Qualidade do lodo tratado

Com relação ao indicador teor de N e P/atendimento aos parâmetros estabelecidos pela legislação, no cenário base, as análises realizadas nos anos de 2011, 2012 e 2013 e apresentadas por Bittencourt *et al.* (2014), demonstram que a qualidade do lodo está de acordo com estabelecido pela Resolução CONAMA 375 (Brasil, 2006). Já os teores de N e P no lodo biológico foram de 10,2 e 3,6 g/kg, respectivamente, de acordo com análises realizadas em 2014 e 2015.

No C1, as análises realizadas, com o lodo seco proveniente do secador rotativo piloto, evidenciaram que a qualidade do lodo está de acordo com estabelecido pela CONAMA 375 (BRASIL, 2006) e os teores de N e P no lodo biológico foram de 5,93 e 0,97 g/kg, respectivamente.

Desse modo, o desempenho para esse indicador para o CB e C1 foi classificado como aceitável (3).

Para o C2, as análises realizadas em laboratório, com as cinzas proveniente da combustão em mufla, destacaram que a qualidade do lodo anaeróbio está de acordo com estabelecido pela CONAMA 375 (BRASIL, 2006). Os teores de N e P no lodo biológico foram de 34,72 e 20,57 g/kg, respectivamente. O desempenho para esse indicador foi classificado como excelente (4).

O C3 apresentou o desempenho como (0) devido ao não aproveitamento do potencial agrônômico das cinzas.

Saúde e segurança

O indicador “valores de patógenos presentes no lodo” foi classificado como (3) para o CB e C1, uma vez que os valores de coliformes no lodo biológico estão de acordo com o estabelecido pelo CONAMA 375 (Brasil, 2006), ou seja, inferior a 10^3 NMP/gST. O C2 foi classificado como (4), devido à não presença de coliformes nas cinzas do lodo e o C3 foi classificado como (0), devido ao lodo não ser reaproveitado.

Comunidade local e sociedade

Condições de vida segura e saudável

Para esta categoria foram considerados os indicadores de “nível de ruído ambiental” e “emissão de odor”.

O requisito básico para o nível de ruído é o estabelecido pela lei zoneamento n°10.625 do município de Curitiba (Curitiba, 2002), sendo o valor de 60 dB no período diurno, 55 dB para o período vespertino e 50 dB para noturno. Os resultados das médias dos valores medidos para o cenário base são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores da medição de ruídos ambientais

	Diurno	Vespertino	Noturno
Ponto 1 (elevatória)	51.48	54.66	50.63
Ponto 2 (centrífuga)	59.05	61.36	53.32
Ponto 3 (lagoa)	53.08	58.20	57.25
Ponto 4 (rodovia)	62.40	59.75	53.58

O ruído referente ao Ponto 2 é ocasionado pela centrífuga desaguadora de Iodocujo valor do ruído ambiental referente ao Ponto 4 é atribuído como externo à ETE, devido à rodovia. Assim o desempenho para esse indicador foi classificado como não cumprimento (2). Cabe salientar que a área habitacional mais próxima da ETE fica a mais de 300 m e tem influência da pressão sonora acentuada de uma rodovia com grande circulação de veículos.

Para os C1, C2 e C3, conforme demonstrado pela Tabela 4, os valores de ruído ocasionados pelo secador rotativo não são relevantes e os ruídos provenientes do tratamento do lodo biológico são provenientes da centrífuga. O desempenho do indicador para os 3 cenários é de não cumprimento (2). Tal fato evidencia que as diferentes tecnologias utilizadas nos 4 cenários apresentam não cumprimento ao indicador ruído.

Com relação ao odor ambiental, a Figura 3 apresenta as curvas de concentração dos valores de H₂S e a Figura 4 as concentrações e NH₃ para o CB, onde a emissão média de H₂S foi de 0,09 ppm e de NH₃ de 3,4 ppm. Conforme apresentado por Park *et al.* (2014), o H₂S começa a ser perceptível pela população em concentrações acima de 0,0001 ppm, possuindo cheiro desagradável quando suas concentrações são superiores a 0,5 ppm. Quando o H₂S atinge concentrações de 10 ppm pode causar irritações e náuseas. Quando as concentrações ultrapassam 50 ppm podem ocorrer lesões oculares e respiratórias, sendo considerado uma ameaça a vida. Já acima de 700 ppm o H₂S pode ser fatal aos seres humanos. De acordo com Schirmer *et al.* (2007), a percepção do H₂S é acima de 0,00047 ppm. No Manual de Procedimentos para Auditoria no Setor de Saneamento Básico, o limite de detecção é na faixa de 0,0005-0,13 ppm (Brasil, 2002). Com relação à amônia, o seu limite de detecção é de 0,13 ppm e a exposição na concentração de 24 ppm pode causar irritação nasal, a 50 ppm hemeralopia e irritação do sistema

respiratório e a 130 ppm há lacrimação e irritação da garganta. Já na concentração de 1.720 ppm de amônia provoca tosse e acima de 2500 morte por insuficiência respiratória (Niosh, 1992). Todos os valores medidos apresentaram-se acima do valor indicado como possível de percepção, porém abaixo do valor de odor desagradável na vizinhança.

Portanto, de acordo com a literatura os valores medidos de H₂S e NH₃ no CB estão dentro do limite de percepção, mas abaixo do limite de detecção de odor desagradável. Para tanto, foi atribuído o valor de (3), dentro do limite estabelecido. Como o odor proveniente do H₂S é comum aos cenários C1, C2 e C3, foi atribuído o valor (3), ou seja, dentro do limite estabelecido. Entretanto, em outros estudos de aspectos sociais de ETEs, este indicador demonstrou-se relevante (Anabestani e Zareie, 2017; Iftekhar *et al.*, 2018).

Contribuição para o desenvolvimento econômico

Para essa subcategoria, o indicador é relacionado ao número de empregos gerados para o gerenciamento do lodo e biogás. Devido à baixa mecanização do processo de tratamento do lodo biológico e biogás no cenário base, o valor considerado para esta categoria foi (4). Como discutido por Padilla-Rivera *et al.* (2016), o baixo nível de mecanização contribui para o desenvolvimento econômico ao empregar mais mão de obra. Nos cenários 1, 2 e 3, ao utilizar o secador rotativo para a secagem e a higienização do lodo biológico, aumenta-se o nível mecanização, exigindo menor mão de obra, sendo assim, o valor atribuído foi (3).

A Figura 5 sumariza os indicadores tratados neste artigo, na forma de gráfico em rede onde pode-se observar que o pior desempenho foram os indicadores nível de ruído e riscos biológicos no CB, nível de ruído no C1 e C2 e teores de N e P, valores de patógenos presentes no lodo e nível de ruído no C3.

A avaliação dos aspectos sociais da fase operacional do tratamento e destinação final do lodo e biogás da ETE de grande porte apresentou bons resultados com poucos pontos de melhoria. Isso se deve às boas práticas realizadas pela organização, como a implantação de cortina verde, que é caracteriza-se pela implantação orientada de indivíduos de duas ou mais espécies arbóreas e arbustivas adaptadas à região e ao solo/substrato local, distribuídos em linhas paralelas, de forma que as plantas de uma linha não fiquem alinhadas com as plantas da linha adjacente, formando barreiras de isolamento (Carneiro *et al.*, 2009).

Ainda na ETE, são empregadas ferramentas de gestão ambiental e de saúde e segurança do trabalho que é de suma importância para a gestão dos aspectos sociais. A ETE em questão possui procedimentos operacionais padronizados que utilizam como ferramenta de gestão um *check list* para monitorar as condições de funcionamento, dosagem de produto químico, necessidades de manutenções, limpezas, solicitações de serviços, entre outras atividades da ETE. Também são desenvolvidos planos de controle operacional e analítico que visam auxiliar na gestão das

necessidades operacionais e atendimento às legislações. A gestão de odores na ETE é realizada através de monitoramento, captação e tratamento dos gases e controle do efluente dos reatores com aplicação de produto químico. Também são empregadas as barreiras vegetais para controle de odores que são capazes de associar os efeitos de barreira de vento, aromatizador, paisagístico e de isolamento das áreas (Carneiro *et al.*, 2009). Na ETE é executado anualmente o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), o qual levanta os riscos físicos, químicos e biológicos existentes no ambiente de trabalho e define medidas de prevenção. No desenvolvimento das atividades na ETE é obrigatório aos operadores o uso de equipamentos de proteção em todas as atividades que oferecerem riscos de acidentes de trabalho.

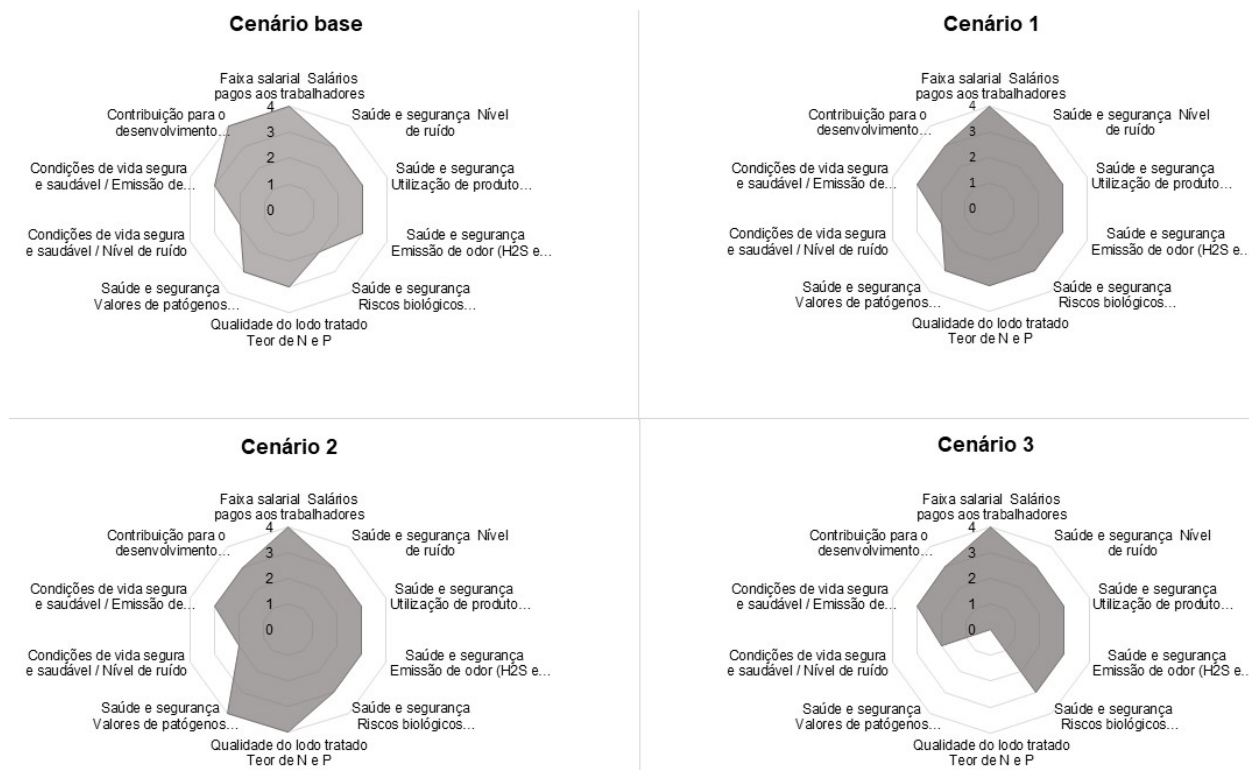


Figura 5. Resultado dos indicadores sociais referentes aos 4 cenários

Conclusões

De acordo com o inventário realizado e a avaliação dos aspectos sociais associados ao gerenciamento do lodo e do biogás da ETE no CB, os parâmetros que devem ser gerenciados para a melhoria da avaliação social são: ruído e a higienização do lodo biológico. As vantagens da tecnologia de tratamento e destinação final do lodo biológico, que obtiveram maior pontuação

no CB foram: o aproveitamento dos nutrientes presentes na agricultura e a geração de emprego. Ao utilizar o secador biológico obteve-se melhoria no aspecto de riscos biológicos aos trabalhadores, porém uma piora no indicador de capacidade de geração de emprego. Portanto, avaliação dos aspectos sociais apresentou bons resultados com poucos pontos de melhoria e tal fato se deve às boas práticas realizadas pela organização.

Com relação à avaliação dos aspectos sociais, é importante como trabalho futuro, a aplicação dos indicadores avaliados em uma perspectiva de ciclo de vida, avaliando a conduta dos fornecedores e destinadores com relação aos aspectos levantados.

Desta forma, conclui-se que este estudo contribuiu para o setor de saneamento, pois avalia os principais aspectos sociais do setor, relacionados ao lodo e biogás, englobando as principais partes interessadas que são a comunidade local, trabalhadores e os destinadores.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio recebido para o desenvolvimento deste trabalho, o apoio operacional daqueles que se envolveram com o presente estudo, em especial os colaboradores da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT – ETES Sustentáveis).

Referências

- Abnt, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000) *NBR-10151 Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento*.
- Amaral, K.G.C. (2018) *Avaliação da sustentabilidade no gerenciamento do lodo e biogás, em estação de tratamento de esgotos, utilizando a técnica de ACV*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 170 pp.
- Anabestani, A., Zareie, A. (2017) Assessment of the Social Impacts of Sewage Treatment Plant on Rural Quality of Life: A Case Study of Parkandabad Peripheral Villages Around Mashhad, *Journal of Sustainable Rural Development*, 1(2), 149 – 160.
- Andreoli, C. V., Von Sperling, M.; Fernandes, F. (2014) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná.
- Bittencourt, S., Serrat, B.M., Aisse, M. M., Gomes, D. (2014) Sewage Sludge Usage in Agriculture: a Case Study of Its Destination in the Curitiba Metropolitan Region, Paraná, Brazil, *Water Air Soil Pollution*, 225(2074). doi: 10.1007/s11270-014-2074-y
- Brasil, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA (2006),. *Resolução nº 375 - Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário*. Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília – DF, de 29 de agosto de 2006.
- Brasil, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA (1990) *Resolução nº. 01 - Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas*,

- inclusive as de propaganda política.* Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília – DF, de 08 de março de 1990.
- Brasil, Ministério do Trabalho e Emprego, Secretaria de Inspeção do Trabalho. Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho (2002) *Manual de Procedimentos para Auditoria no Setor Saneamento Básico.*
- Brasil, Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. (2015) *Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto.* Brasília, DF.
- Cabral, B. G., Chernicharo, C. A. L., Platzer, C. J., Barjenbruch, M., Filho, P. B. (2017) Evaluation of Biogas Production and Energy Recovery Potential in 5 Full-Scale WWTPs with UASB Reactors. *Chemical Engineering and Chemical Process Technology* **3**(3), 1043.
- Cabral, C. B. G., Chernicharo, C. A. L., Hoffmann, H., Neves, P. N. P., Platzer, C., Bressani, T. R., Rosenfeldt, S. (2016) Resultados do projeto de medições de biogás em reatores anaeróbios/Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) – Brasília, DF: Ministério das Cidades.
- Carneiro, C., Scheer, M.B., Cunha, F., Andreoli, C.V. (2009) Manual técnico para implantação de cortinas verdes e outros padrões vegetais em Estações de Tratamento de Esgoto. SANEPAR, Curitiba.
- Chernicharo, C. A. L., Ribeiro, T. B., Pegorini, E. S., Possetti, G. R. C., Miki, M. K., Souza, S. N. (2018) Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 1: Tópicos de Interesse. *Revista DAE*, **66**, 5-16.
- Curitiba, Câmara Municipal de Curitiba (2002) *Lei Municipal 10625 – Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público.* Publicação do Diário Oficial do Município, de 19 de dezembro de 2002.
- Garrido-Baserba, M., Molinos-Senante, M., Abelleira-Pereira, J.M., Fdez-Güelfo, L.A., Poch, M., Hernandez-Sancho, F. (2015) Selecting sewage sludge treatment alternatives in modern wastewater treatment plants using environmental decision support systems, *Journal of Cleaner Production*, **107**, 410-419.
- Hakawatia, R., Smythb, B. M., Mcculloughb, G., Rosa, F., Rooneya, D. (2017) What is the most energy efficient route for biogas utilization: Heat, electricity or transport? *Applied Energy*, **206**, 1076-1087.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)].* IPCC, Geneva, Switzerland.
- IFC, International Finance Corporation (2007) *AA1000 stakeholder engagement standards.* Acessado: 05/12/2016. Disponível em:
<http://www.accountability21.net/uploadedFiles/publications/SES%20Exposure%20Draft%20-%20FullPDF.pdf>
- Iftekhar, M. S., Burton, M., Zhang F., Kininmonth, I., Fogarty, J. (2018) Understanding social preferences for land use in wastewater treatment plant buffer zones, *Landscape and Urban Planning*, **178**, 208–216.
- Niosh, National Institute for Occupational Safety and Health (1992) *Occupational safety and health guideline for ammonia.*
- Noyola, A., Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J. M. L., Guereca, L.P., Hernandez-Padilla, F. (2012) Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America, *Clean – Soil, Air, Water*, **40**(9), 926–932.
- NR, Norma Regulamentadora Ministério do Trabalho e Emprego (2009) *NR-15 - Atividades e Operações Insalubres.*
- Paraná, Assembleia Legislativa do Estado do Paraná (2016) *Lei nº 18.766 – Fixa valores de piso salarial.* Publicação Diário Oficial do Estado, de 02 de maio de 2016.
- Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J. M., Noyola, A. M., Guereca, L. P. (2016) Addressing social aspects associated with wastewater treatment facilities, *Environmental Impact Assessment Review*, **57**, 101 – 113.
- Paraná, Secretaria Estadual do Meio Ambiente (2014) *Resolução nº 16 – Define criterios de qualidade do ar.* Diário Oficial do Estado, 2014.
- Paraná, Secretaria Estadual do Meio Ambiente (2009) *Resolução nº 21 - Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento.* Publicação do Diário Oficial do Estado, 22 de abril de 2009.

- Park, K., Lee, H., Phelan, S., Liyanaarachchi, S., Marleni, N., Navaratna, D., Jegatheesan, V., Shu, L. (2014) Mitigation strategies of hydrogen sulphide emission in sewer networks - A review, *International Biodeterioration & Biodegradation*, **95**, 251-261.
- Possetti, G. R. C., Rietow, J. C., COSTA, F. J. O. G., Wagner, L. G., Lobato, L. C. S., Ribeiro, T. B., Melo, D. F., Reis, J. A., Chernicharo, C. A. L. (2018) Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 5: Biogás e emissões fugitivas de metano. *Revista DAE*, **66**, 73-89.
- Ramirez, P. K. S., Petti, L., Haberland, N. T., Ugaya, C. M. L. (2014) Subcategory assessment method for social life cycle assessment. Part 1: methodological framework, *International Journal Life Cycle Assessment*, **19**:1515–1523.
- Rosa, A. P., Conesa, J. A., Fullana, A., Melo, G.C.B., Borges, J. M., Chernicharo, C.A.L. (2016) Energy potential and alternative usages of biogas and sludge from UASB reactors: case study of the Laboreaux wastewater treatment plant, *Water Science & Technology*, **73**.7. doi: 10.2166/wst.2015.643
- Sai (2008) *Guidance document for social accountability 8000 international*. Acessado 05/12/2016. Disponível em: http://www.sa-intl.org/data/n_0001/resources/live/2008StdEnglishFinal.pdf.
- Salomon, K. R., Lora, E. E. S. (2009) Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, **33**, 1101-1107.
- Schirmer, W. N., Lacey, M. E. Q., Lisboa, H. M., Miranda, G. R. (2007) Características, natureza e métodos de amostragem/análise de gases odorantes emitidos em processos industriais: caso das lagoas de tratamento de efluentes, *Revista de Ciências Ambientais*, **1**(2), 35 - 52.
- Silveira, B., Chernicharo, C. A. L., Cabral, C. B. G., Suedos, C., Platzer, C., Silva, G., Possetti, G. R. C., Hoffmann, H., Moreira, H. C., Adamatti, H. B., Miki, M., Silva, M., Takahashi, R., Miki, R., Rosenfeldt, S., Araújo, V. S. F., Valente, V. B., Villani, W. (2015) Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto/Probiogás, organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) – Brasília, DF: Ministério das Cidades.
- Unep/Setac, Life Cycle Initiative (2009) *Guidelines for social life cycle assessment of products*. United Nations Environment Program, Paris, United Nations Environment Programme. Social and socio-economic LCA guidelines.
- Unep/Setac, Life Cycle Initiative (2013) *Guide to Social LCA: The Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA)*.
- Von Sperling, M., Chernicharo, C. A. L. (2005) Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. *IWA Publishing*, London, 1452 pp.
- Wicare (2016) *Wages and working conditions in social in the world country reports*. Acessado: 06/12/2016. Disponível em: <http://www.wageindicator.org/main/salary/living-wage>
- Zortea, R. B. (2015) *Avaliação da Sustentabilidade do Biodiesel da Soja no Rio Grande do Sul: uma abordagem do ciclo de vida*, Tese de doutorado, Programa de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 238 pp.