



## **257 - Produção de biogás através da co-digestão anaeróbia de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário: análise bibliométrica**

**Luisa Maria Horta Maia** <sup>(1)</sup>

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PROEC da Universidade Federal de Sergipe – UFS.

**Dayane Oliveira Santos Melo** <sup>(2)</sup>

Graduanda em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe – UFS.

**Giovana Nunes Wesz** <sup>(3)</sup>

Graduanda em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe – UFS.

**Daniel Moureira Fontes Lima** <sup>(4)</sup>

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela escola de Engenharia de São Carlos. Professor Efetivo na área de Saneamento e Meio Ambiente do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe – UFS.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: . Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49.100-000 - Brasil -  
Tel: +55 (79) 3194-6700 - e-mail: [luisahortamaia@hotmail.com](mailto:luisahortamaia@hotmail.com).

### **RESUMO**

A necessidade de pesquisa sobre o uso do biogás produzido através do tratamento de efluentes vem crescendo, assim como a necessidade do tratamento dos efluentes da geração de resíduos sólidos, em especial o lixiviado de aterro sanitário. O presente trabalho busca identificar, agrupar, descrever estatisticamente e analisar as publicações científicas brasileiras sobre Produção de biogás através da co-digestão anaeróbia de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário. Através da metodologia ProKnow-C foi conduzida a filtragem e seleção dos artigos encontrados nas bases de dados, montando um portfólio com 4 trabalhos avaliados como alinhados ao tema biogás através da co-digestão anaeróbia de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário. Espera-se que esse trabalho possa servir como suporte a elaboração de referencial teórico de futuros trabalhos científicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** bibliometria, lixiviado de aterro, biogás, esgoto sanitário.

### **INTRODUÇÃO**

O Plano Nacional de Saneamento Básico, traça metas em relação ao abastecimento de água tratada, coleta e tratamento de esgoto, além da gestão de resíduos sólidos. Quanto a coleta de esgoto, as metas para o Brasil foram 76% de domicílios urbanos e rurais servidos por rede coletora ou fossa séptica para os excretas ou esgotos sanitários, sendo que 69% desse esgoto coletado seria devidamente tratado. A longo prazo, a meta iria para 92% de coleta e desses, 93% deve contar com tratamento (PLANSAB, 2013).

Segundo informações do SNIS de 2019, no Brasil, 83,5% da população é abastecida com água tratada, pouco mais da metade da população conta com coleta de esgoto, e somente 46% do esgoto coletado é tratado antes de ser despejado nos corpos hídricos.

Para que as metas do PLANSAB sejam cumpridas ainda falta muito investimento em saneamento básico no País. Visto que a coleta e tratamento do esgoto estão mais atrasados do que o abastecimento de água tratada, várias novas estações de tratamento de esgoto (ETE) deverão ser construídas nos próximos anos.

Ao mesmo tempo em que as metas de saneamento básico ainda estão longe se serem atingidas, as cidades brasileiras enfrentam questões relativas à destinação e disposição dos resíduos gerados (ABLP, 2010), destinando seus resíduos em desacordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que define que uma destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos inclui a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação, aproveitamento energético e disposição final, observando normas operacionais específicas (BRASIL, 2010).

No Brasil, o aterro sanitário é visto como a melhor maneira de disposição desses resíduos (ABLP, 2010). O aterro sanitário é uma obra de engenharia projetada sob critérios técnicos, cujo objetivo é garantir a disposição dos resíduos sólidos urbanos sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente. Considera-se como uma das técnicas mais eficientes e seguras de destinação dos resíduos sólidos, pois permite um controle eficiente e seguro do processo e, em geral, apresenta menor custo-benefício (ELK, 2007).

O aterro se comporta como um reator dinâmico, cujas reações químicas e biológicas emitem biogás, efluentes líquidos, o lixiviado, e resíduos mineralizados (húmus) a partir da decomposição da matéria orgânica (ELK, 2007). O lixiviado de aterro sanitário é um líquido escuro originário de três fontes diferentes: da umidade natural do resíduo (aumentada no período chuvoso); da água de constituição da matéria orgânica, que escorre durante o processo de decomposição; e das bactérias existentes nos resíduos, que expelem enzimas que dissolvem a matéria orgânica com formação de líquido (SERAFIM *et al.*, 2003).

O lixiviado de aterro sanitário representa um dos principais fatores de riscos ambientais, tanto por suas altas concentrações de matéria orgânica quanto pela quantidade considerável de metais pesados. De acordo com Cheibub, Campos e Fonseca (2014) a cor em lixiviados de aterros sanitários está relacionada à concentração de substâncias orgânicas em decomposição, estima-se que o percolado de aterro sanitário apresenta Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO equivalente a 200 vezes a do esgoto doméstico (BORTOLAZZO, 2010). As diversas alternativas para o tratamento do chorume podem ser classificadas em três grandes grupos: tratamento por meio de equipamentos e unidades instaladas no próprio aterro, tratamento conjunto com esgotos sanitários em Estações de Tratamento de Esgotos – ETE situadas fora do aterro, e a combinação das duas possibilidades anteriores. O tratamento dos líquidos lixiviados, via de regra, envolve processos físico-químicos e/ou biológico (LIBÂNIO, 2002).

Durante a etapa anaeróbia do tratamento de esgoto a fração orgânica do substrato é degradada de forma a produzir o biogás, que é composto principalmente por gás metano e dióxido de carbono, sendo assim uma importante fonte energética.

Nas últimas décadas, a codigestão do esgoto com outras fontes ricas em matéria orgânica tem sido mais estudada, pois de acordo com Von Sperling (2005), o esgoto sanitário é composto de 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos. Visto que uma das formas de tratamento do lixiviado de aterro sanitário se dá em estações de tratamento de esgoto, torna-se importante a avaliação do potencial energético dessa codigestão.

A bibliometria como tópico da Ciência da Informação significa a aplicação de métodos matemáticos e estatísticos em um estudo que busque quantificar os processos que conduzem determinados aspectos da comunicação escrita, comumente através da análise de citações e resumos de periódicos (PRITCHARD *et al.*, 1969).

Nesse sentido, ao analisar variáveis como autor, título e ano de publicação de trabalhos mais citados, e ao considerar que documentos importantes são mais referenciados e os sem importância, ignorados ao longo do tempo, é possível afirmar que a bibliometria mostra-se uma ferramenta útil para identificar diversos padrões na produção científica: autores mais produtivos, instituições mais produtivas, composição da frente de pesquisa de determinada área, idade média e obsolescência da literatura (ARAÚJO, 2006; BRAGA, 1973; FORESTI, 1990).

Soares, Picolli e Casagrande (2018) mostram que para diferenciar de maneira efetiva uma pesquisa bibliométrica das demais formas de revisões literárias, a exemplo da revisão bibliográfica, artigo de revisão e ensaio teórico, cabe observar a presença de suas duas principais características: o processo sistemático de medição presente na sua metodologia e a análise rigorosamente quantitativa nos seus resultados.

Okubo (1997, p. 20, tradução do autor) diz ainda que “a análise deve incorporar também o maior volume possível de dados, de modo que permita a compensação estatística para qualquer enviesamento que possa afetar uma pequena entidade tomada separadamente”.

Para incorporar tais dados, toma-se em conta a utilização de maneira complementar das bases de dados disponíveis, por apresentarem divergências principalmente em suas coberturas temáticas e temporais, assim estabelecendo uma exploração necessariamente ampla dos conteúdos presentes nelas (LOPES et al., 2012)

## **Objetivos**

### **Objetivo geral**

Analisar publicações científicas sobre a produção de biogás através da co-digestão anaeróbia de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário, a fim de descrever o quadro de publicações sobre o tema.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar artigos alinhados com o tema da co-digestão anaeróbia de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário, em especial com a produção de biogás;
- Montar portfólio bibliográfico;
- Analisar as características das publicações;
- Descrever estatisticamente os mais destacados artigos, autores, periódicos e palavras-chave utilizadas.

### **Metodologia**

A metodologia adotada para elaboração do presente trabalho foi o processo de revisão bibliométrica conhecido como ProKnow-C (Knowledge Development Process - Construtivist), conforme apresentado por Ensslin et al. (2014), constituído pelas etapas descritas a seguir.

- Busca nos bancos de dados;
- Exclusão de artigos repetidos;
- Verificação do alinhamento com o tema;
- Verificação de reconhecimento científico;

### **Investigação preliminar**

#### **Definição das palavras chaves**

As palavras-chave foram estipuladas de acordo com o tema: “produção de biogás através da co-digestão anaeróbia de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário”, sendo elas:

- “Tratamento de esgoto” – “wastewater treatment”
- “Lixiviado de aterro sanitário”- “landfill leachate”
- “Biogás”- “biogás”
- “Co-digestão” – “co-digestion”
- 

Nas bases internacionais utilizou-se a tradução dos termos pesquisados, porém percebeu-se de utilizar “wastewater treatment” e “landfill leachate” separadamente fazia com que os resultados apresentados fossem fora do tema pesquisado, uma vez que utilizou-se as duas palavras-chave como um único termos, “wastewater and landfill leachate”, os resultados foram melhorados.

### **Banco de dados**

Inicialmente, foram selecionadas bases de dados nacionais e internacionais, através do portal de periódicos da CAPES, sendo elas Science direct, Scopus, Web of Science, ProQuest e SciELO. Apesar da grande popularidade no que tange à montagem de arsenal teórico baseado em revistas de ciência e tecnologia, ao se pesquisar diretamente do portal de periódicos da capes e no google acadêmico, outros trabalhos científicos foram identificados, por isso decidiu-se utilizá-los também como base.

## Análise Bibliométrica

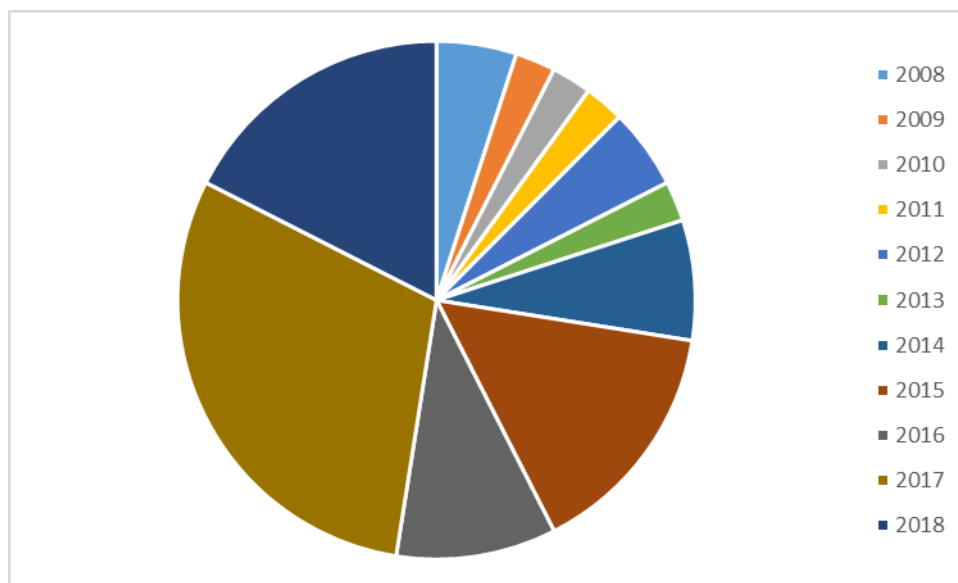
Estabelecido o portfólio definitivo de artigos, a etapa seguinte consiste na análise dos dados numéricos do material selecionado. No presente trabalho, busca-se a avaliação quanto à relevância de periódicos, autores e instituições, palavras-chave mais utilizadas e reconhecimento científico. Para obtenção de tais resultados, adota-se os seguintes indicadores bibliométricos exibidos por Okubo (1997):

- Número de artigos, através da medição da produção científica presente no portfólio, agrupada por autor, instituição de origem, periódico e ano de publicação;
- Número de citações, através da medição de citações recebidas pelos artigos agrupados por autor e instituição de origem;
- Co-publicações, através da medição da frequência de cooperação entre autores em pesquisas conjuntas;
- Concomitância de termos, através da medição da frequência em que palavras-chave compostas estão presentes no acervo.

## Resultados e discussão

Através na busca nas bases: Science direct, Scopus, Web of Science, ProQuest, SciELO, google acadêmico e periódicos da capes foram encontrados 48 trabalhos que continham as palavras-chave definidas, sendo 8 deles repetidos, ou seja, o mesmo trabalho foi encontrado em mais de uma base de busca.

Os 40 trabalhos encontrados foram publicados entre os anos de 2008 e 2018 na proporção apresentada na figura 1.



**Figura 1: Proporção de trabalhos publicados por ano.**

Observa-se que a maior parte dos trabalhos encontrados foram publicados entre 2015 e 2018 sugerindo que o interesse pelo estudo do tema está em fase de crescimento.

Durante a fase de leitura e análise das publicações notou-se que apenas 14 delas falavam sobre algum tipo de tratamento do lixiviado de aterro sanitário, no geral em codigestão com algum outro substrato, conforme mostra a tabela 1.

**Tabela 1: Número de publicações sobre digestão com lixiviado de aterro sanitário.**

Lixiviado de aterro sanitário +	Quantidade de publicações
-	3
Lodo de ETE	3



Esgoto Sanitário	5
Resíduos sólidos urbanos	1
Glicerina	1
Glicerol	1

Através desta análise, tem-se que somente 5 dos trabalhos encontrados utilizaram de fato codigestão entre lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário, porém 1 deles utilizava circulação de oxigênio no reator, não se tratando, portanto, de uma digestão anaeróbica.

Das 4 publicações que estudaram sobre a codigestão anaeróbia de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário, duas delas foram no Brasil, uma na Turquia e uma no Japão, na tabela 2 são apresentadas algumas informações sobre esses trabalhos.

**Tabela 2: Informações sobre trabalhos selecionados**

Autores	Publicação	Ano	Número de citações
Miorim	Dissertação – Repositório Unisinos	2017	0
Campos e Pivelli	Revista ambiente e água	2016	1
Kawai M., Nagao N., Kawasaki N., Imai A. e Toda T.	Journal of Environmental Management	2016	12
Gomec, C.Y., Cifci, D.I., Ozturk, I. Kinaci,C.	Fresenius Environmental Bulletin	2008	3

Em sua dissertação, Miorim (2018) estuda o tratamento combinado por processo anaeróbio através de um reator UASB, utilizando esgoto sanitário e lixiviado de aterro sanitário. Inicialmente foram realizados experimentos em escala de bancada e em seguida usou-se um reator UASB com capacidade de 830 litros, operando com um TDH de 12h, inoculado com lodo do UASB da estação de tratamento de esgoto da universidade do Vale do Rio Sinos. Foram utilizadas proporções de lixiviado de 3% e 6% e obteve-se remoções de DQO de 54,7% e 32,3%, respectivamente, observou-se também teores entre 63,2% e 74% de metano no biogás produzido.

Campos e Piveli (2016) avaliam a redução da toxicidade aguda no efluente gerado pelo processo híbrido tratando lixiviado de aterro sanitário com esgoto doméstico. Eles utilizam um reator integrado de lodo ativado com biofilme em leito móvel através de uma unidade piloto composta por dois compartimentos, o primeiro com 270 litros de volume útil e o segundo com 800 litros de volume útil, foram utilizadas proporções de lixiviado de 5%, 10% e 20% em relação à DBO afluente. Mesmo na maior contribuição de lixiviado não ocorreram alterações significativas no comportamento e na eficiência do processo biológico, porém em relação à toxicidade alterou-se a classificação somente de “muito tóxico” para “tóxico”, observando níveis de redução em torno de 70%.

Na publicação que conta com o maior volume de citações, Kawai *et al.* (2016) buscam melhorar a remoção de DQO na digestão anaeróbia de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sintético recalcitrante, os autores utilizam reator de manta de lodo anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) de 5 litros, as proporções utilizadas de lixiviado foram de 0%, 33%, 66% e 100%. Foram obtidas as melhores taxas de remoção de DQO na proporção de 33% de esgoto recalcitrante, mostrando que a remoção de DQO recalcitrante pode ser controlada alterando-se a degradabilidade do substrato.

Gomec *et al.* (2008) investiga a influência das baixas temperaturas em um reator UASB em escala de bancada tratando lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico, para isso os autores verificam a remoção de DQO e calculam a produção de biogás. Os autores utilizaram uma proporção de 1% de lixiviado e o experimento foi conduzido em uma temperatura de 15±3°C, durante a primeira fase, onde o reator foi alimentação somente com esgoto doméstico foram observadas remoções de 14% de DQOtotal, na fase



seguinte foi adicionado o lixiviado e a remoção de DQOtotal aumentou para 60%, a produção de biogás calculada seria de 0,25m<sup>3</sup>QkgDQOrem.dia, porém quase não foi observada a produção de biogás, acreditando-se que as baixas temperaturas influenciam a uma menor produção de biogás.

## Conclusão

A metodologia estruturada do ProKnow-C leva à reflexão sobre determinadas variáveis e limitações comuns a um acervo de publicações, e isto possibilita construir conhecimento sobre o assunto, de tal forma que o pesquisador tenha condições de suportar teoricamente as escolhas mais alinhadas à sua visão de mundo e elaborar o arcabouço teórico de seus trabalhos científicos.

A análise bibliométrica, utilizada para a avaliação do portfólio, se mostra como uma ferramenta fundamental na compreensão do contexto informacional da área pesquisada, possibilitando caracterizar a produção científica acerca do tema escolhido.

O tema da codigestão anaeróbia com esgoto sanitário e lixiviado de aterro sanitário ainda é novo no âmbito da pesquisa, especialmente quando se acrescenta o estudo da produção de biogás através deste processo.

## Referência bibliográfica

1. ABLP. Revista Limpeza Pública. Aterros Sanitários, Publicação trimestral. n. 73, p. 60, 2010.
2. ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. Em questão, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006.
3. BORTOLAZZO, W. M. Estimativa da produção de percolados no aterro sanitário de Nova Iguaçu com a aplicação de modelos computacionais. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
4. BRAGA, G. M. Relações bibliométricas entre a frente de pesquisa (research front) e revisões da literatura: estudo aplicado à ciência da informação. Ciência da Informação, v. 2, n. 1, 1973.
5. BRASIL. 12305. Lei No 12305/2010 - “Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.”. 2010.
6. CAMPOS, F.; PIVELI, R. P. Reduction of acute toxicity of landfill leachate in co-treatment with domestic sewage by integrated fixed-film activated sludge reactor. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 2, p. 316, 15 abr. 2016.
7. CHEIBUB, A. F.; CAMPOS, J. C.; FONSECA, F. V. DA. Removal of COD from a stabilized landfill leachate by physicochemical and advanced oxidative process. Journal of Environmental Science and Health, Part A, v. 49, n. 14, p. 1718–1726, 6 dez. 2014.
8. Diagnóstico anual Água e Esgotos - SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017s>>. Acesso em: 17 abr. 2019.
9. ELK, A. G. H. P. Redução de emissões na disposição final. In: Mecanismo de desenvolvimento aplicado a resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.
10. ENSSLIN, L. et al. Proknow-c, knowledge development process-constructivist. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil, v. 10, n. 4, p. 2015, 2010.
11. FORESTI, N. A. B. Contribuição das revistas brasileiras de biblioteconomia e ciência da informação enquanto fonte de referência para a pesquisa. Ciência da Informação, v. 19, n. 1, 1990.
12. GOMEZ, C. Y.; CIFCI, D. I.; OZTURK, I.; KINACI, C. Combined anaerobic treatment of domestic wastewater and landfill leachate at psychrophilic temperatures. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 17 (11A), p. 1828–1832, 2008.
13. KAWAI, M.; NAGAO, N.; KAWASAKI, N.; IMAI, A.; TODA, T. Improvement of COD removal by controlling the substrate degradability during the anaerobic digestion of recalcitrant wastewater. **Journal of Environmental Management**, v. 181, p. 838–846, out. 2016.



14. LIBANIO, P. A. C. Avaliação da eficácia e aplicabilidade de um sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de chorume. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.
15. LOPES, S. et al. A bibliometria e a avaliação da produção científica: indicadores e ferramentas. In: Actas do congresso Nacional de bibliotecários, arquivistas e documentalistas. [S.l.: s.n.], 2012.
16. MIORIM, M. **Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico por processo anaeróbio em reator UASB**. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2018.
17. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Ministério das Cidades, , 2013. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab\\_Versao\\_Consehos\\_Nacionais\\_020520131.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Consehos_Nacionais_020520131.pdf)>. Acesso em: 26 abr. 2018
18. OKUBO, Y. Bibliometric indicators and analysis of research systems. 1997. Disponível em: <<https://www.oecd-ilibrary.org/content/paper/208277770603>> acesso em: 13 abr. 2019.
19. Plano Nacional de Saneamento Básico. Ministério das Cidades, 2013. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab\\_Versao\\_Consehos\\_Nacionais\\_020520131.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Consehos_Nacionais_020520131.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2019
20. PRITCHARD, A. et al. Statistical bibliography or bibliometrics. Journal of documentation, New York, v. 25, n. 4, p. 348–349, 1969.
21. SERAFIM, A. C.; GUSSAKOV, K. C.; SILVA, F.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; DRAGONI SOBRINHO, G.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamento. III Fórum de estudos contábeis, n. Faculdades Integradas Claretianas, 2003.
22. SOARES, S. V.; PICOLLI, I. R. A.; CASAGRANDE, J. L. Pesquisa bibliográfica, pesquisa bibliométrica, artigo de revisão e ensaio teórico em administração e contabilidade. Administração: Ensino e Pesquisa, Associação Nacional dos Cursos de Graduação em Administração-ANGRAD, v. 19, n. 2, p. 1–19, 2018.
23. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed.