



## ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DA DESTINAÇÃO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA, DIGESTÃO ANAERÓBIA E ATERROS SANITÁRIOS

Ádrian Juchem Stockmanns<sup>1</sup> ([adrian\\_juchem@hotmail.com](mailto:adrian_juchem@hotmail.com)), Marcelo Oliveira Caetano<sup>1</sup> ([mocaetano@unisinis.br](mailto:mocaetano@unisinis.br)), Luciana Paulo Gomes<sup>1</sup> ([lugomes@unisinis.br](mailto:lugomes@unisinis.br))

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS)

### RESUMO

A digestão anaeróbia de resíduos a partir de reatores é uma boa alternativa para uma futura substituição dos aterros sanitários no Brasil, algo que já é muito comum em países europeus. Com base nisso é possível à utilização de mais de um resíduo para a alimentação dos reatores, o que proporciona então a co-digestão, algo que potencializa a produção de biogás. Vários resíduos já foram testados, e a partir disso esse artigo visa à utilização da ferramenta de Análise (Avaliação) de Ciclo de vida para confrontar tópicos importantes tanto na geração dos resíduos utilizados como no impacto ambiental gerado por eles. Para efeito de comparação, outros sistemas de disposição e tratamento foram citados como a digestão anaeróbia feita a partir de reatores e os próprios aterros sanitários. A metodologia empregada neste trabalho é baseada em uma pesquisa teórica sobre o assunto proposto baseado nas etapas da Análise de Ciclo de Vida, que são nomeadas como Escopo, Avaliação do Impacto, Análise do Inventário e Interpretação de Dados. Após a análise do ciclo de vida, chegamos a conclusão que tanto a digestão anaeróbia como a co-digestão anaeróbia apresentam inúmeras vantagens em comparação com outros destinos para a fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos, como por exemplo, os aterros sanitários que necessitam de uma ampla área para armazenagem e também um longo período para ocorrer a estabilização da matéria. Mas ainda estamos no início desse processo de transição, ao contrario de alguns países europeus. Na relação co-digestão x digestão, a primeira leva vantagem devido a o maior valor energético gerado. **Palavras-chave:** Resíduos Sólidos Urbanos, Digestão Anaeróbia, Aterro Sanitário.

## ANALYSIS OF CYCLE OF LIFE ALLOCATION OF ORGANIC FRACTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE: ANAEROBIC CO-DIGESTION, ANAEROBIC DIGESTION AND SANITARY LANDFILL

### ABSTRACT

The anaerobic digestion of waste from reactors is a good alternative for future replacement of landfills in Brazil, which is already very common in European countries. On this basis it is possible to use more than one residue to feed the reactors, which then provides the co-digestion, something that enhances the production of biogas. Various waste have been tested, and from that this article aims to use life cycle analysis tool to confront important issues in both the generation of waste used as the environmental impact generated by them. For comparison, other disposal and treatment systems have been cited as anaerobic digestion taken from reactors and landfills themselves. The methodology used in this work is based on a theoretical research on the subject proposed based on the stages of life cycle analysis, which are named as Scope, Impact Assessment, Inventory Data Analysis and Interpretation. After the life-cycle assessment, we came to the conclusion that both anaerobic digestion and co-digestion anaerobic has many advantages compared with other destinations for the organic fraction of municipal solid waste, such as landfills that require a large area for storage and also a long time to occur stabilization of matter. But we are still at the beginning



of this transition process, unlike some European countries. In relation co-digestion x digestion, the first has an advantage due to higher energy value generated.

**Keywords:** Municipal Solid Waste, Anaerobic Digestion, Sanitary Landfill.

## 1. INTRODUÇÃO

Passados vários anos de quando a natureza ainda era capaz da autodepuração dos resíduos gerados pelos seres humanos, estamos presenciando um sério problema com sua destinação. A quantidade de metais pesados contidos principalmente na matéria orgânica tem despertado a atenção dos responsáveis pela gestão dos países assim como entidades ligadas ao meio ambiente (GONÇALVEZ, 2005 in CARNEIRO, 2009).

Atualmente existe aqui no Brasil um questionamento muito grande sobre a disposição da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários (AT), algo que na Europa segundo DE BAERE, 2006, in GONZÁLEZ et al. 2010, já não é mais tema de discussão para o futuro, pois alternativas já foram implantadas com sucesso como a digestão anaeróbia ao longo da última década. Fato que pode ser explicado devido principalmente a fatores como:

- A limitação da disposição de resíduos biodegradáveis imposta pela legislação europeia;
- Classificação mais intensa dos resíduos;
- Geração energética a partir do tratamento anaeróbio da fração orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU).

Ainda de acordo com os mesmos autores a utilização de um co-substrato (co-digestão) surgiu como uma alternativa que valoriza a utilização de outros substratos, além de apresentar um maior valor energético gerado. Outro ponto positivo é o fato desse sistema é poder aproveitar instalações já existentes, por exemplo, reatores usados na digestão anaeróbia convencional.

Aterro sanitário é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como uma técnica para a disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo diminuindo o impacto ao meio ambiente e sem causar maiores danos a saúde e a segurança pública (NBR 8419/92 in MORAIS, 2005).

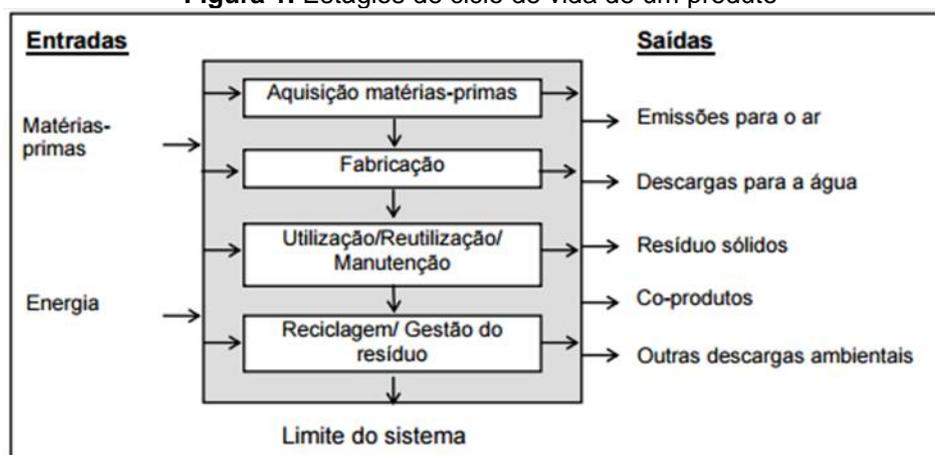
Para CASTILHOS JR., 2006, digestão anaeróbia é um processo biológico aonde há a degradação de resíduos através da ação de bactérias, proporcionando a produção de gases, como o gás metano por exemplo. Este processo todo ocorre na ausência de oxigênio e ocorre também em aterros sanitários, mas com um tempo de estabilização muito maior do que em reatores.

Segundo RODRIGUES, 2005, a diferença entre a digestão e a co-digestão é a utilização de um segundo substrato, com o objetivo aumentar o rendimento no processo, através do aumento de nível de estabilidade do reator. Vários fatores podem contribuir para isso como a suplementação de nutrientes, e o equilíbrio das cargas orgânicas por exemplo.

USEPA, 2001 apud FERREIRA, 2004, descreve Avaliação ou Análise do Ciclo de Vida (ACV) como um agrupamento de informações sobre entradas e saídas de um processo durante todo o ciclo de vida de fabricação e destinação de um produto. Indicando também os impactos ambientais possíveis. Abaixo na figura 1 um exemplo em forma de fluxograma de possíveis estágios na fabricação de um produto apresentado pelo autor.



Figura 1. Estágios de ciclo de vida de um produto



USEPA, 2001 in FERREIRA, 2004

Ainda de acordo com o mesmo autor, os impactos ambientais possíveis são estipulados a partir da compilação de dados baseados nas extrações e emissões que ocorrem durante a fabricação do produto até sua destinação final, ou seja, do “berço ao túmulo”.

A ACV (Avaliação ou Análise do Ciclo de Vida) é regulamentada no Brasil pela NBR ISO 14040 de novembro de 2001, e define a ACV como: “Compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”.

Ainda segundo a mesma NBR, as fases da ACV são divididas em Escopo, Avaliação do Impacto, Análise do inventário e Interpretação de dados.

## 2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo fazer uma relação entre a digestão anaeróbia (em reatores) da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos com outros sistemas de disposição final como Aterros Sanitários e de tratamento como a Co-digestão anaeróbia também feita através de reatores, tendo como base a Análise de Ciclo de Vida (ACV), uma ferramenta de gestão ambiental baseada na NBR ISO 14040 (ABNT, 2001).

## 3. METODOLOGIA

A partir da literatura estudada, principalmente na NBR ISO 14040 (ABNT, 2001), a ACV é composta por um aglomerado de informações de toda vida útil do objeto a ser estudado, no caso os modelos de tratamento para RSU, Co-digestão anaeróbia e digestão anaeróbia através de reatores, além de aterros sanitários. A partir disso, para termos uma ACV completa são necessárias as seguintes etapas:

- Escopo;
- Avaliação do impacto;
- Análise do inventário;
- Interpretação de dados.

A partir destas etapas podemos citar dados necessários para a implantação dessa ferramenta no contexto desejado através de uma pesquisa teórica sobre contendo resultados na área.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Escopo

Essa etapa é baseada na definição dos objetivos e limites do estudo a ser feito, assim como sua abrangência.

Como já explicado na introdução deste artigo, o objetivo definido é uma análise de ciclo de vida a partir de três alternativas de tratamento de resíduos, no caso, a co-digestão e digestão anaeróbia através de reatores e os aterros sanitários.

Seguindo a linha do tema escolhido, a razão pode ser explicada pela diminuição dos impactos ambientais que podem ocorrer durante os processos.

O trabalho é limitado a uma análise de algumas etapas do ciclo de vida da co-digestão anaeróbia a partir de reatores em comparação a digestão anaeróbia convencional também feita em reatores, e a disposição de resíduos em aterros sanitários. Abrangendo os possíveis potenciais impactantes de cada etapa dos processos estudados, e confrontando eles entre si através de um referencial baseado em estudos de outros autores na área.

### 4.2. Análise do inventário

Essa fase da ACV se baseia no levantamento de dados tendo como base os consumos e a emissões de cada etapa dos processos estudados.

A primeira análise que deve ser feita é sobre a geração dos resíduos utilizados para a digestão e co-digestão anaeróbia, e também destinados aos aterros sanitários, nesse caso a fração orgânica do resíduo sólido urbano (FORSU).

Dentro da ACV, o resíduo sólido urbano (RSU) não pode ser classificado como um resíduo produzido, mas sim gerado, em escala inesgotável pelos seres humanos, e a degradação de sua fração orgânica pode causar sérios problemas ao meio ambiente. A partir disso a destinação de FORSU pode se dar de várias formas ou procedimentos como, por exemplo, a disposição ou tratamento em aterros sanitários, à incineração, e digestão ou co-digestão anaeróbia, a compostagem etc. (PICANÇU, 2004).

No presente estudo é necessário destacar as possíveis diferenças entre a co-digestão anaeróbia, a digestão anaeróbia e os aterros sanitários como por exemplo:

- Tempo de tratamento;
- Custo do tratamento;
- Quantificação da energia gerada;
- Quantificação da energia gasta durante o tratamento;

Como esse artigo se limita a destacar os dados necessários para experiências futuras, não são apresentados resultados quantitativos.

### 4.3. Avaliação do impacto

A partir dos estudos feitos durante a disciplina, essa etapa serve para destacar os impactos ambientais de cada processo.

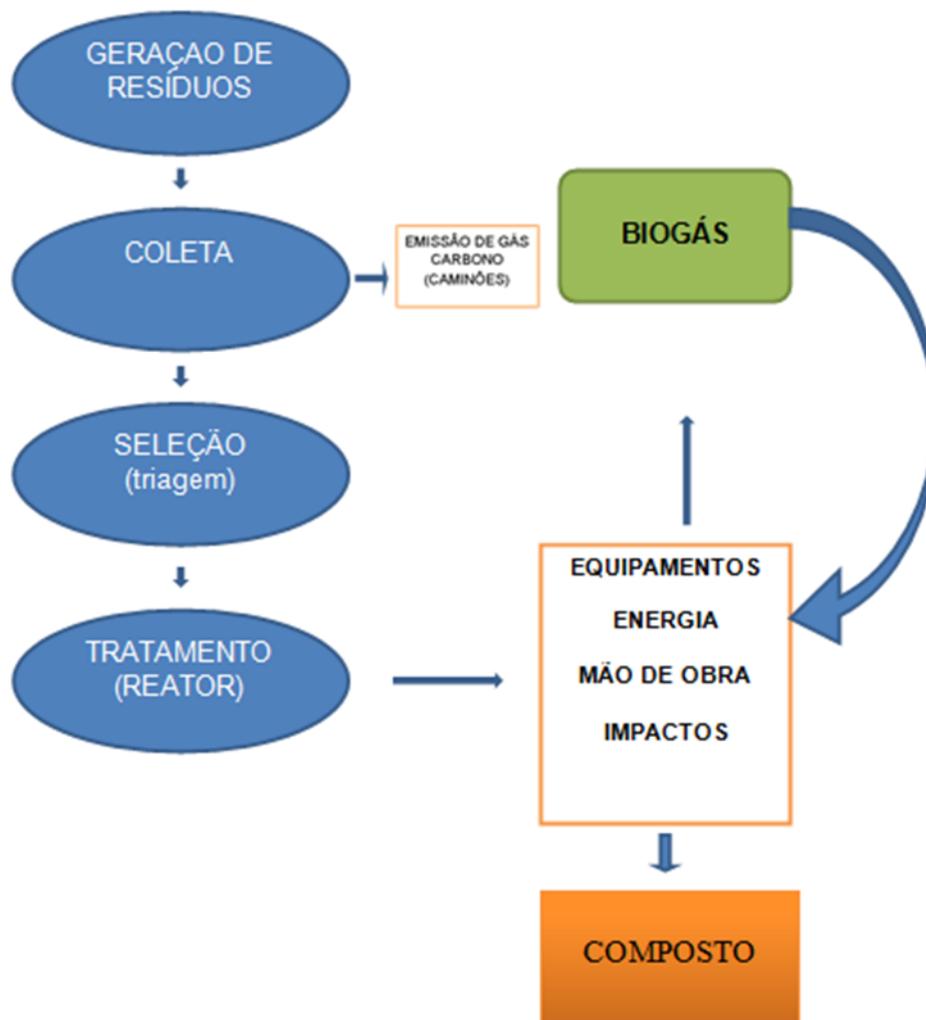
No presente caso a alternativa de tratamento através co-digestão e da digestão convencional, por exemplo, surge como uma possibilidade de reduzir o impacto ambiental gerado pelos AS.

Na digestão anaeróbia, como na co-digestão, os resíduos utilizados no processo podem causar grandes impactos ao meio ambiente, poluindo solo e lençóis freáticos, por exemplo, como os próprios resíduos biodegradáveis e também o lodo utilizado no processo. O Metano produzido em ambos os processos um dos principais causadores do efeito estufa, responsável pelo aquecimento global.

A seguir, na Figura 2, o fluxograma de ciclo de vida do tratamento de digestão anaeróbia em reatores, a partir da geração de resíduos:



Figura 2. Fluxograma de ciclo de vida do tratamento de digestão anaeróbia em reatores



Elaborado pelos autores, 2016

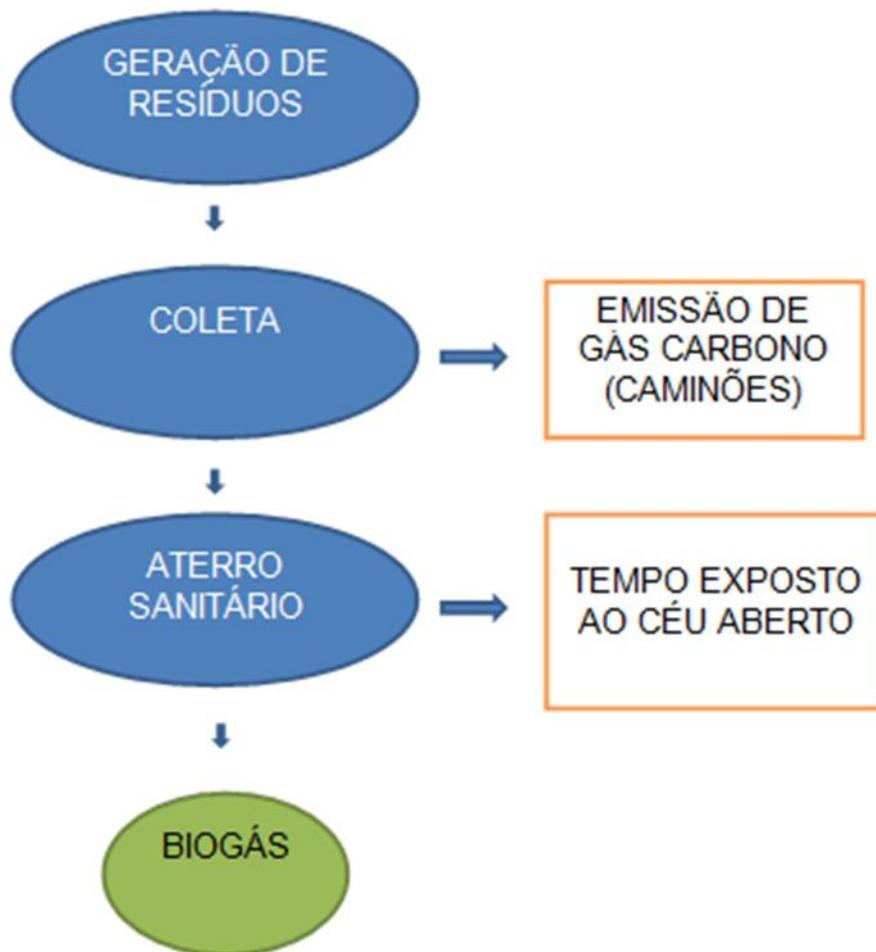
O sistema gera a própria energia gasta no processo, o que o torna independente de outra fonte de energia.

Na coleta também há emissões de gases a partir do resíduo transportado até o gás carbônico que sai das surdinas dos caminhões, outro importante responsável pelo efeito estufa.

Já nos aterros sanitários o processo é mais simplificado como indicado na Figura 3 a seguir:



Figura 3. Fluxograma de ciclo de vida do tratamento de digestão anaeróbia em aterros sanitários



Elaborado pelos autores, 2016

O grande tempo em que os resíduos ficam expostos ao céu aberto faz com que se tenha uma emissão constante de gás metano. Mesmo que tapado com uma camada de solo, os captadores conseguem armazenar no máximo 60% do metano que sai do aterro, a resto consegue atravessar o solo e parte para atmosfera (SILVA, 2013).

#### 4.4. Interpretação de dados

Aqui os dados recolhidos durante todo processo devem ser analisados comparando os processos estudados. Na sequência algumas literaturas apresentam certas características de cada tipo de destinação dada aos resíduos.

##### 4.4.1. Digestão Anaeróbia x Aterro Sanitário

Inicialmente, para efeito de comparação será feita uma análise das etapas da digestão anaeróbia com a disposição dos resíduos em aterros sanitários (AS).

Financeiramente, AS é uma forma mais viável para a disposição de FORSU, mas existem fatores negativos em relação a digestão como por exemplo:

- grande volume de áreas necessárias;



- tempo para a estabilização da matéria orgânica;
- desperdício do biogás gerado.

Na Europa, o problema com a procura de áreas para AS fez com que se inicia muito antes do que no Brasil a procura por novas técnicas de tratamento da FORSU. Devido a isso e o grandeza do território brasileiro, estamos muito atrasados em comparação com países como a Bélgica e a Alemanha por exemplo. Mas em Portugal o governo segue uma linha contrária a isso com a construção de novos AS. Segundo RUSSO, 2005, a degradação da FORSU em AS tem sua velocidade relacionada a quantidade de água disponível, e o biogás deve ser recolhido na sua quantidade máxima possível para valorização energética e principalmente para diminuir impactos ambientais. A partir do estudo feito pelo autor constatou a possibilidade de se chegar a um tempo de estabilização de mais de 60 anos, muito devida a FORSU contida nos AS. Algo que infringe a legislação europeia e até a do próprio país (Portugal).

Tendo como parâmetro a valorização energética, RUSSO, 2005, obteve valores de 25% de aproveitamento do rendimento máximo de biogás possível no AS, estabelecendo uma relação entre sua geração e a quantidade de matéria orgânica contida no aterro. Um valor muito bom quando se trata de AS.

Em um estudo feito por REIS, 2005, aonde foi utilizado um reator para a digestão anaeróbia, foi constatado um rendimento de 66% de biogás do total, um valor muito superior do que foi constatado por RUSSO, 2005. O tempo de operação do reator foi de menos de 2 anos, um tempo muito inferior ao do AS.

Além das questões como a quantidade de área necessária e a perda de biogás, KEARNEY et al., 1993 apud CARNEIRO, 2009, cita que a digestão anaeróbia em reatores se destaca por algumas outras vantagens em relação ao modelo convencional de aterros sanitários como:

- Potencial de poluição menor;
- Grau elevado de conversão da matéria orgânica em produto final (redução do volume);
- Baixa produção de sólidos biológicos;
- Redução de odores.

Ainda de acordo com CARNEIRO, 2009, a tecnologia da digestão anaeróbia de FORSU também auxilia na diminuição da disposição desses resíduos (biodegradáveis) no AS.

#### 4.4.2. Digestão x Co-digestão

Como já foi dito anteriormente, a co-digestão anaeróbia vem sendo uma forma alternativa que além de servir para valorização de outro substrato, pode maximizar a produção de energia. A partir de uma co-digestão feita entre FORSU e um co-substrato rico em lipídios (gorduras óleos e graxas, retirados de uma usina de tratamento de esgotos), GONZÁLEZ et al. 2010, chegaram a uma produção de biogás 72% maior do que na simples DA da FORSU. O rendimento de metano também apresentou um valor de 46% superior. Isso prova uma das vantagens da co-digestão anaeróbia.

Nos testes feitos pelos autores anteriores, o tempo de operação total foi de 7 meses divididos em 3 períodos, um tempo semelhante a digestão anaeróbia convencional, mas muito menor se compararmos o tempo necessário em um aterro sanitário.

## 5. CONCLUSÃO

A partir da utilização da análise de ciclo de vida feita das alternativas de disposição e tratamento de resíduos, a Co-digestão anaeróbia apresenta uma melhor valorização de energia renovável em relação a Digestão anaeróbia convencional, além disso, a valorização de um co-substrato é outro fator determinante. Mesmo com essas vantagens, a digestão convencional ainda segue sendo uma melhor alternativa em comparação com a disposição da FORSU em aterros sanitários, pois estes necessitam de áreas enormes para estocagem dos resíduos e um tempo de estabilização e operação muito grande. Esses resultados é que impulsionam cada vez mais os investimentos em



novos tratamentos para a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. A ferramenta utilizada (Análise de ciclo de vida) apresenta um grande auxílio na quantificação de benefícios e impactos dos tipos de tratamentos debatidos nesse trabalho, mas pode ser de maior relevância com a utilização de resultados provenientes de experimentos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, nov. 2001.

CARNEIRO, Débora Rute Costa - Viabilidade técnica e econômica de uma unidade centralizada de co-digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, Julho de 2009;

CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges de. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos de água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Rio de Janeiro: Abes, 2006;

DE BAERE, L. Will anaerobic digestion of solid waste survive in the future? Water Sci. Technol. 53 (8), 187–194, 2006;

FERREIRA, José Vicente Rodrigues – Análise de ciclo de vida dos produtos. Instituto Politécnico de Viseu, 2004;

GONÇALVES, M. - Gestão de Resíduos Orgânicos, Agricultura e Ambiente, 2005;

GONZÁLEZ, L. Martín; COLTURATO, L.F.; FONT, X.; VICENT, T. - Anaerobic co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste with FOG waste from a sewage treatment plant: Recovering a wasted methane potential and enhancing the biogas yield. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Spain. 24 de março de 2010;

KEARNEY, T.E., LARKIN, M.J., LEVETT, P.N, 1993. The effect of slurry storage and anaerobic digestion on survival of pathogenic bacteria. Journal of Applied Bacteriology Vol. 74, pp. 86-93;

MORAIS, Josmaria Lopes de - Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005;

PICANÇO, Aurélio Pessôa. Influência da recirculação de percolado em sistemas de batelada de uma fase e híbrido na digestão da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos. São Carlos, s.n, 151 p, 2004);

REIS, Alexsandro dos Santos. Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio. Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012;

RODRIGUES, A. A. L. S. Co-digestão anaeróbia de resíduos de natureza orgânica. 2005. 164 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos) – Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Aveiro – Portugal, 2005.

RUSSO, Mario Augusto Tavares. Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário. Universidade Minho, março de 2005;

# RESÍDUOS SÓLIDOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS



15 a 17  
junho de 2016  
Porto Alegre, RS



Realização:  
  
**INSTITUTO VENTURI**  
para Estudos Ambientais

SILVA, 2013. Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte. Eng Sanit Ambient | v.18 n.2 | abr/jun 2013 | 95-104;

USEPA, 2001. U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. LCAccess - LCA 101. 2001.

Apoio acadêmico

ESCOLA  
POLITÉCNICA  
UNISINOS

 UNISINOS

 Universidade de Brasília

 laxis | Lab. do Ambiente Construído  
Inclusão e Sustentabilidade  
FAU | CDS | FGA | UnB

 BIMTECH  
BIRLA INSTITUTE  
OF MANAGEMENT TECHNOLOGY